

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 20 № 1 2025

ISSN 1992-1098

e-ISSN 2413-0958

ЮГ РОССИИ:

ЭКОЛОГИЯ, РАЗВИТИЕ

Vol.20 no. 1 2025

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 Абулхасумович, 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)
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)
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)
Огуреева Г.Н., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)
Онипченко В.Г., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, 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 (Syktyvkar, 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)
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)
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)
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*Кучеров С.Е., Вельмовский П.В.*

Старовозрастные деревья сосны — уникальные объекты Бузулукского бора.....6-15

ЗООЛОГИЯ*Барсегян Р.Э., Петросян Р.А., Арутюнова Л.Дж., Акопян К.В., Никогосян М.А., Барсегян Н.Э., Жакмакян Р.Р.А., Тадевосян Н.Н., Дудукчян З.М., Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Варданян М.В.*

Паразитофауна птиц в фермерских хозяйствах горной зоны Армении.....16-23

ЭНТОМОЛОГИЯ*Оюн Н.Ю., Шипулин Г.А.*К вопросу о межвидовой гибридизации инвазивных видов *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus*.....24-35**ЭКОЛОГИЯ***Исмаилов В.Я., Команцев А.А., Бородин В.И., Клименко Д.А.*

Роль энтомофагов в регулировании численности вредителей озимой пшеницы.....36-43

Балахнина И.В., Кремнева О.Ю., Попов И.Б., Нестерова А.Ю., Снесарева Е.Г.

Взаимное влияние муравьев и афидофагов на биологию и экологию тли в яблоневых садах Юга России.....44-56

Агасьева И.С., Петрищев В.С., Петрищева М.В., Настасий А.С., Голобородько Е.О.

Изучение видового состава таксонов энтомофагов-биоиндикаторов и их регуляторной активности в агроценозах центральной и западной зон Краснодарского края.....57-67

ГЕОЭКОЛОГИЯ*Красноярова Б.А., Назаренко А.Е., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н.*

Углеродный баланс в степных и лесостепных агроэкосистемах Алтайского края.....68-79

Королева Е.Г., Петрова И.Ф.

Подходы к сохранению биоразнообразия в управляемом степном агроландшафте.....80-97

Забураева Х.Ш., Забурев Ч.Ш., Седиева М.Б.

Проблемы рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе (геоэкологический аспект).....98-106

Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р.

Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный».....107-116

Ахмедова Л.Ш., Солтанмурадова З.И., Идзиев Г.И., Раджабова Р.Т.

Устойчивое развитие региона на основе оценки антропогенной нагрузки (на примере экосистем Кизилюртовского района и города Кизилюрт).....117-131

Зангеева Н.Р., Батомункуев В.С.

Процессы урбанизации в зоне проекта «Один пояс – один путь».....132-144

Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р.

Оценка воздействия подземного размещения жидких отходов на геологическую среду (на примере истощенных газовых месторождений).....145-159

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ГЕОГРАФИЯ*Гичиев Н.С., Гусейнова Н.О.*

Экологические аспекты экономического роста Российских регионов.....160-178

РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ*Даудова М.Г., Кадыров Р.В., Нуруллина Г.Н., Терехина Ю.В., Богданова В.И.*

Перспективы развития пешего туризма в Республике Татарстан.....179-186

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ*Суворова В.А., Савва А.П.*

Агроэкологическая оценка довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника Краснодарского края.....187-194

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ*Яббарова Р.И.*

Экономика замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами: основные факторы и критерии оценки эффективности.....195-203

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....204

BOTANY*Kuchеров S.E., Velmovskiy P.V.*

Old-age pine trees: Unique objects of the Buzuluksky forest.....6-15

ZOOLOGY*Barseghyan R.E., Petrosyan R.A., Harutyunova L.J., Akopyan K.V., Nikoghosyan M.A., Barseghyan N.E., Jakmakian R.R.A., Tadevosyan N.N., Dudukchyan Z.M., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Vardanyan M.V.*

Parasitic Fauna of Domestic Poultry in the Mountainous Regions of Armenia.....16-23

ENTOMOLOGY*Oyun N.Yu., Shipulin G.A.*On the intraspecific hybridization of two invasive mosquito species *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*.....24-35**ECOLOGY***Ismailov V.Ya., Komantsev A.A., Borodin V.I., Klimenko D.A.*

The role of entomophages in regulating the number of pests of winter wheat.....36-43

*Balakhnina I.V., Kremneva O.Yu., Popov I.B., Nesterova A.Yu., Snegareva E.G.*Mutual influence of ants and aphidophages on the biology and ecology of aphids
in apple orchards in southern Russia.....44-56*Agasyeva I.S., Petrishchev V.S., Petrishcheva M.V., Nastasiy A.S., Goloborodko E.O.*Study of entomophage bioindicator taxa species composition and their regulatory activity
in the central and western zones of Krasnodar Territory agroecosystems.....57-67**GEOECOLOGY***Krasnoyarova B.A., Nazarenko A.E., Plutalova T.G., Sharabarina S.N.*

Carbon balance in steppe and forest-steppe agroecosystems of Altai Territory.....68-79

Koroleva E.G., Petrova I.F.

Approaches to biodiversity conservation in a managed steppe agricultural landscape.....80-97

Zaburaeva Kh.Sh., Zaburaev Ch.Sh., Sedieva M.B.

Problems of recreational nature management in the north-east Caucasus (geoecological aspect).....98-106

Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R.

Assessment of the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon landfill site.....107-116

*Akhmedova L.Sh., Soltanmuradova Z.I., Idziev G.I., Radzhabova R.T.*Sustainable development of a region based on the assessment of anthropogenic load
(through the example of the ecosystems of the Kizilyurt district and the city of Kizilyurt).....117-131*Zangeeva N.R., Batomunkuev V.S.*

Urbanization processes in the area of the One Belt One Road project.....132-144

*Gasumov R.A., Gasumov E.R.*Assessment of the impact of underground disposal of liquid waste on a geological environment
(using the example of depleted gas fields).....145-159**ECONOMIC & SOCIAL GEOGRAPHY***Gichiev N.S., Guseynova N.O.*

Environmental aspects of the economic growth of Russian administrative regions.....160-178

RECREATIONAL GEOGRAPHY*Daudova M.G., Kadyrov R.V., Nurullina G.N., Terekhova Yu.V., Bogdanova V.I.*

Prospects for the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan.....179-186

BIOLOGICAL RESOURCES*Suvorova V.A., Savva A.P.*

Agroecological assessment of pre-emergence herbicides on sunflower crops in Krasnodar territory, Russia.....187-194

GENERAL PROBLEMS*Yabbarova R.I.*Closed-cycle economics in the field of municipal solid waste management:
main factors and criteria for evaluating efficiency.....195-203**CONTACT INFORMATION**.....204

Оригинальная статья / Original article
УДК 630*561.24:502.1
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-1



Старовозрастные деревья сосны — уникальные объекты Бузулукского бора

Сергей Е. Кучеров, Павел В. Вельмовский

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Сергей Е. Кучеров, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт степи Уральского отделения РАН; 460000 Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11.
Тел. +79872464380
Email skucherov@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

Формат цитирования

Кучеров С.Е., Вельмовский П.В. Старовозрастные деревья сосны — уникальные объекты Бузулукского бора // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 6-15.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-1

Получена 22 сентября 2024 г.
Прошла рецензирование 15 ноября 2024 г.
Принята 15 января 2025 г.

Резюме

В годичных слоях деревьев содержится информация об изменчивости климатических факторов, а также о различных негативных событиях (аномальные погодные явления, пожары, дефолиация листогрызущими насекомыми и др.).

В связи с тем, что сведения о климатических условиях и негативных событиях, как правило, охватывают небольшие интервалы времени, изучение годичных слоев древесины деревьев дает возможность получить информацию как о климате и датах негативных явлений, так и степени их воздействия на экосистемы за большие интервалы времени.

Старовозрастные деревья представляют особую ценность, так как позволяют получить сведения об изменчивости условий окружающей среды и негативных событиях за сотни лет. В процессе проводимых нами исследований в лесном массиве Бузулукский бор на территории одноименного национального парка особое внимание уделялось поиску старовозрастных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Сложность в изучении динамики прироста старовозрастных деревьев заключается в том, что у многих из них древесина в центральной части стволов либо выгнила до образования пустот, либо содержит участки гнили, что не позволяет взять образцы, в которых содержатся все слои прироста, начиная от периферии до центра ствола. Для оценки возраста таких деревьев нами была разработана методика, в которой недостающее количество годичных слоев от первого в образцах слоя, находящегося на вычисляемом расстоянии (нулевом радиусе) от центра ствола, оценивалось по количеству годичных слоев, образовавшихся до достижения такого же радиуса у близко расположенных старовозрастных деревьев с здоровой до центра древесиной.

Целью настоящей работы было оценить возраст уникальной сосны «Великанша». Оценка возраста, проведенная по разработанной нами методике, показала, что возраст сосны «Великанша» на 2023 год составил около 320 лет.

Ключевые слова

Бузулукский бор, сосна обыкновенная, старовозрастные деревья, радиальный прирост, оценка возраста.

Old-age pine trees: Unique objects of the Buzuluksky forest

Sergey E. Kuchеров and Pavel V. Velmovskiy

Steppe Institute, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Principal contact

Sergey E. Kuchеров, Doctor of Biological Sciences & Senior Research, Institute of Steppet, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia, 460000

Tel. +79872464380

Email skuchеров@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

How to cite this article

Kuchеров S.E., Velmovskiy P.V. Old-age pine trees: Unique objects of the Buzuluksky forest. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):6-15. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-1

Received 22 September 2024

Revised 15 November 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

Tree-rings contain information about variability of climatic factors and about various negative events (abnormal weather events, fires, defoliation caused by leaf-eating insects, etc.).

Due to the fact that information about climatic conditions and negative events, as a rule, covers short time intervals, the study of tree-rings makes it possible to obtain data on both the climate and the dates of negative phenomena and also the degree of their impact on ecosystems over long time intervals.

Old-age trees are of particular value, since they allow obtaining information about variability of environmental conditions and negative events over hundreds of years. During our research in the Buzuluk Pine Forest in the national park of the same name, special attention was paid to identifying old Scots Pine trees (*Pinus sylvestris* L.).

The difficulty in studying the old tree growth dynamics was that in many of the trees the wood in the central part of the trunks had either decayed with the formation of hollows or contained areas of rot, which resulted in the inability to take samples that contained all tree rings, starting from the periphery to the center of the trunk. To estimate the age of such trees, we developed a technique by which the missing number of tree rings from the first tree ring in the samples, positioned at a calculated distance (zero radius) from the center of the trunk, was estimated by the number of tree rings formed before reaching the same radius in closely located old trees with healthy centre wood.

The purpose of this work was to estimate the age of the unique Velikansha Pine Tree. The age estimation carried out according to our technique showed that the age of Velikansha Pine Tree as of 2023 was about 320 years.

Key Words

Buzuluk Pine Forest, Scots pine, old-age trees, radial growth, age estimation.

ВВЕДЕНИЕ

Крупнейшим в Европе естественным островным лесным массивом является Бузулукский бор – уникальный природный объект степной зоны, расположенный на границе двух областей – Оренбургской (Бузулукский район) и Самарской (Борский, Богатовский и Кинель-Черкасский район). Бузулукский бор является ландшафтным изолятом сосновых (*Pinus sylvestris* L.) и сосново-широколиственных лесов в окружении интенсивно освоенных сельскохозяйственных угодий с высокой степенью антропогенной деградации естественных экосистем [1]. Старовозрастные реликтовые сосняки – главная ценность этого лесного массива, составляя заповедное ядро бора. Они являются эталоном коренных типов естественных лесов и занимают менее 10 % территории [2].

Одной из самых старых и крупных сосен бора является сосна, произрастающей на границе 24 и 29 выделов квартала 218 Борового-Опытного участкового лесничества Национального парка «Бузулукский бор» [3]. Дерево имеет высоту 33 метра с диаметром ствола 146 см на уровне 1,25 метра от поверхности земли. Сохранено по инициативе Я.Н. Даркшевича [4] и в 1968 году получило статус памятника природы, в дальнейшем подтвержденный Распоряжением Главы администрации Оренбургской области от 21.05.1998 г. № 505-р «О памятниках природы Оренбургской области» и утратившая его в 2007 году в связи с организацией Национального парка «Бузулукский бор». В 2014 года дерево включено в Национальный реестр старовозрастных деревьев России с присвоением статуса «Дерево – памятник живой природы» [5].

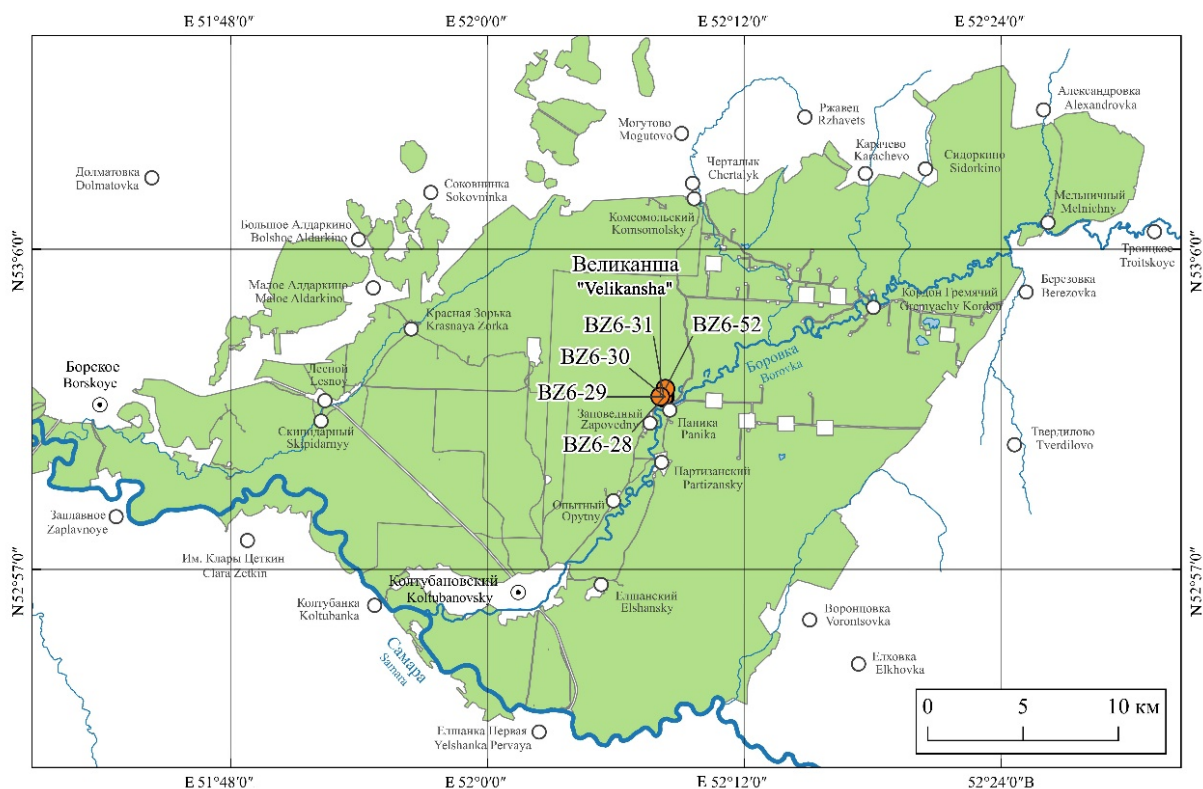
В 2019 году Центром древесных экспертиз было проведено обследование этой сосны [6]. В кроне дерева на 2019 год на момент обследования присутствовало много мертвых скелетных и мелких сухих ветвей. Внутреннее состояние ствола дерева (нижней его части) на наличие скрытых стволовых гнилей проводилось с помощью прибора Resistograph® Rinntech Inc. В результате обследования было установлено наличие в нижней части ствола процессов гниения древесины различной степени на разных направлениях (С-Ю, В-З и др.). Вблизи от ствола дерева имелось уплотнение почвы, связанное с вытаптыванием почвы посетителями парка. Для определения возраста этой сосны специалистами Центра древесных экспертиз было взято два буровых образца. В связи с наличием гнили в стволе образцы были взяты до той глубины в сторону центра ствола, на которой начинались поврежденные участки. В одном из образцов было 219, а в другом 232 годичных слоев прироста. По принятой в центре методике [7] была дана оценка возраста дерева – по первому образцу 319 лет, по второму – 272 года (среднее значение 296 лет).

В 2021 и 2022 гг. для оценки возраста сосны «Великанша» нами были взяты образцы древесины у сосны «Великанша» и у 5 наиболее крупных сосен, произрастающих вблизи от нее (рис. 1).

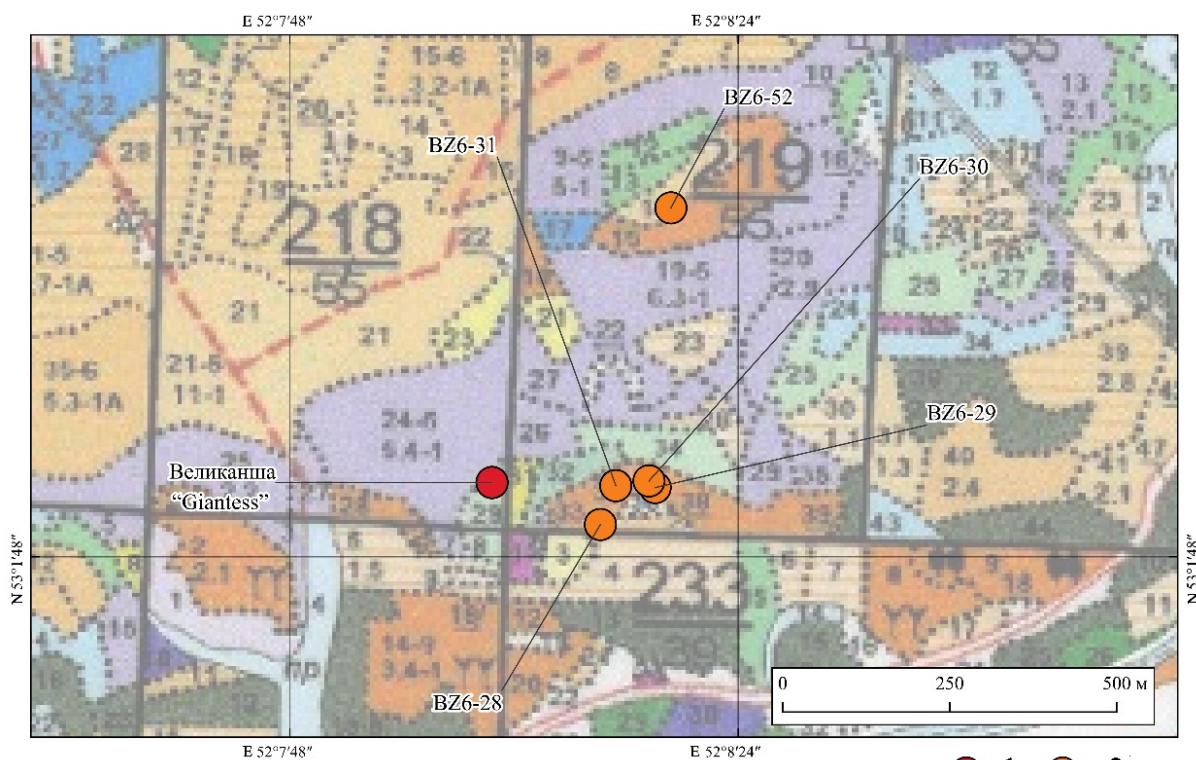
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы древесины были взяты возрастным буром Haglof. После подготовки образцов к проведению измерений была проведена датировка годичных слоев радиального прироста (определение календарного года формирования каждого годичного слоя). Датировка основывалась на выявленных визуально под микроскопом реперных годичных слоев, которыми являлись отчетливо различимые визуально на фоне соседних годичных слоев минимумы или максимумы прироста, либо слои со специфической анатомической структурой. Измерение ширины годичных колец проводилось в отраженном свете под микроскопом с помощью полуавтоматической установки для измерения ширины колец LINTAB 6 (RINTTEX™) с программным обеспечением TSAP Win [8] с точностью 0,01 мм. Большинство образцов древесины из расположенных рядом с «Великаншей» крупных старовозрастных сосен не проходили через сердцевину стволов, что объясняется большими величинами диаметра деревьев. Недостающее расстояние R_0 от начала первого, имеющегося в керне слоя древесины до центра ствола, определялось графически как радиус окружности, проходящей по началу первого слоя в образце (рис. 2А). Для деревьев с выгнутой центральной частью ствола, или в случае, когда при высверливании бурав доходил до участка с гнилью, R_0 вычислялась как разность между радиусом ствола (R) (принимаемым за половину диаметра) и длиной керна древесины (L) (рис. 2В).

Для определения возраста деревьев крупных сосен, расположенных рядом с сосной «Великанша», была использована методика, основанная на анализе кривой изменения радиуса ствола со временем (годы) роста дерева. Для определения характера кривой изменения радиуса ствола за весь период жизни дерева строились графики зависимости радиуса ствола деревьев от календарных лет формирования слоев. Начальная точка этих кривых по оси ординат соответствовала значению R_0 (рис. 3). Недостающий на графике участок кривых от значения 0 до R_0 определялся экстраполяцией начального участка кривых изменения радиуса ствола (рис. 3). При этом кривая изменения радиуса ствола на отсутствующем начальном участке проводилась в соответствии с характером кривой на первом ближайшем к центру участке. В результате находилась точка пересечения кривой изменения радиуса с осью времени, соответствующая году формирования центрального слоя древесины на высоте взятия керна (рис. 3). Оценка количества слоев на R_0 для образцов из деревьев с выгнутой центральной частью ствола, или в случае, когда при высверливании бурав доходил до участка с гнилью, проводилась на основе определения количества слоев на таком же R_0 в образцах из деревьев с здоровой до центра древесиной. Для оценки возраста дерева от календарного года центрального слоя вычиталось количество лет, за которые дерево выросло до высоты, на которой был взят образец.



A



B

Рисунок 1. Расположение объектов исследования: А – в пределах лесного массива Бузулукский бор; В – в пределах Боровое-Опытного участкового лесничества Национального парка «Бузулукский бор», использована основа [3]) (1 – сосна «Великанша»; 2 – крупные старовозрастные сосны, расположенные вблизи от сосны «Великанша»)

Figure 1. Location of the study objects: А – within the Buzuluk Pine Forest; В – within the Bоровое-Опытное district forestry of the Buzuluk Pine Forest National Park, the basis [3] was used. (1 – Velikansha pine; 2 – large old pines located near the Velikansha pine)

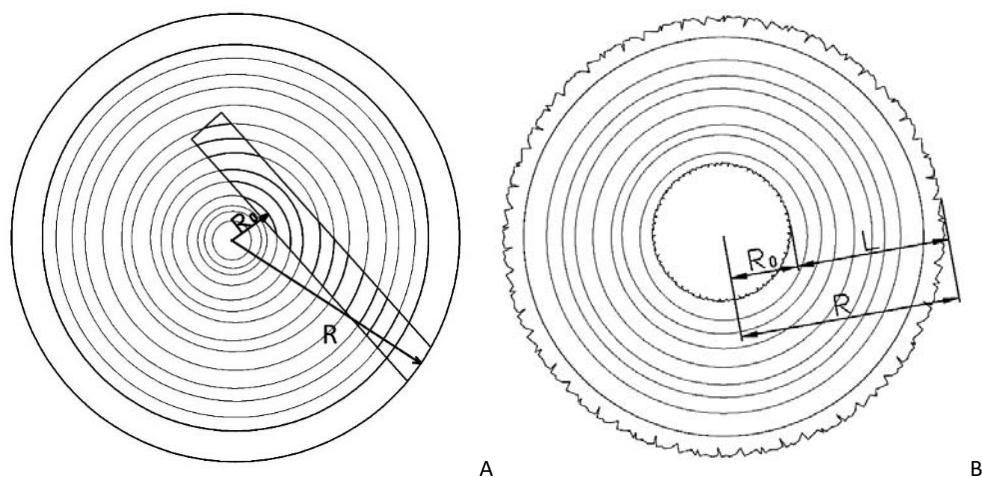


Рисунок 2. Схема поперечного среза ствола: А – поперечный срез с изображением керна древесины; В – поперечный срез ствола с выгнившей центральной частью

Figure 2. Schematic drawing of trunk cross section: А – cross section showing the core sample; В – Schematic drawing of trunk cross section with the decayed central part of the trunk

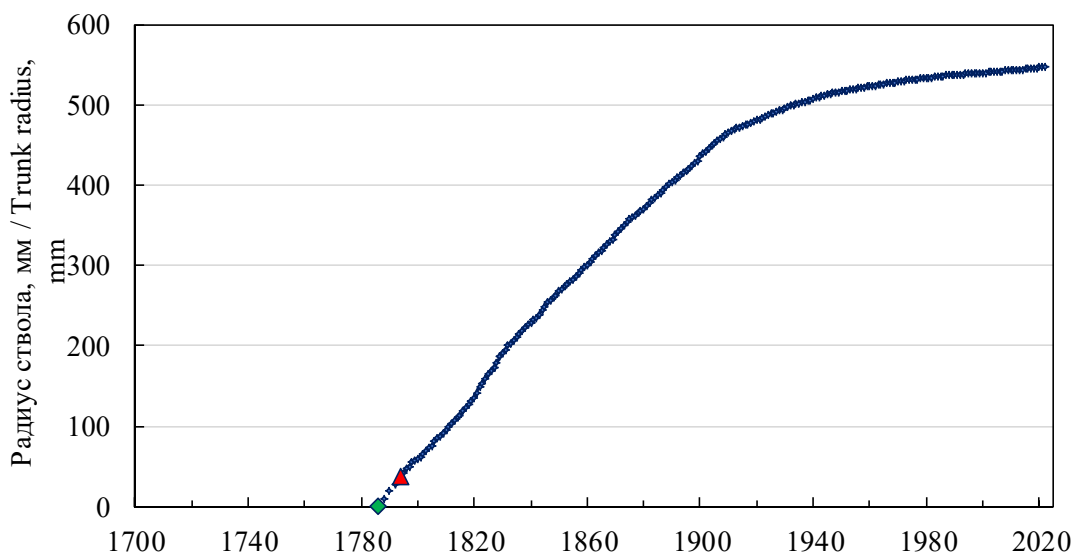


Рисунок 3. Кривая изменения радиуса ствола сосны. Пунктирная линия – экстраполяция кривой изменения радиуса до центра ствола. Треугольником обозначен радиус R_0 , ромбом – центр ствола

Figure 3. Curve of trunk radius changes. The dotted line is the extrapolation of the radius change curve to the trunk centre. The triangle denotes the radius R_0 ; the rhombus denotes the trunk centre

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки возраста сосны «Великанша» нами были отобраны 5 наиболее крупных старовозрастных сосен (рис. 1, табл. 1). У сосны «Великанша» образец был взят на высоте 2 м, а у 5 наиболее крупных сосен – на высоте 1 метр от поверхности земли (табл. 1). У всех 5 крупных сосен древесина была без наличия гнили до центра стволов, что позволило взять образцы, в которых центральные слои были близки к центрам стволов (табл. 2). При взятии образца из сосны «Великанша» буров дошел до участка с наличием внутренней коры и далее расположенным участком с выгнившей древесиной. Вследствие этого в образце из сосны «Великанша» отсутствовали центральные слои прироста на $R_0 = 192$ мм. Ряды радиального прироста, полученные по образцам древесины из сосны

«Великанша» и 5 крупных старовозрастных сосен представлены на рисунке 4.

Для определения характера кривой изменения радиуса стволов деревьев на высоте взятия образцов были построены графики (рис. 5). Начальной точкой кривой изменения радиуса ствола сосны «Великанша» является точка с значением радиуса $R_0 = 192$ мм на начало слоя 1788 г. (рис. 5). Значения R_0 для образцов из 5 сосен находятся в интервале от 5 мм (сосна № 29) до 55 мм (сосна № 52) (табл. 2). Экстраполяция начальных участков кривых изменения радиуса стволов 5 сосен проводилась до пересечения с осью времени (рис. 5). У двух сосен (№№ 30 и 31) кривые изменения радиуса ствола имеют плавный характер без резкого изменения угла наклона кривых относительно шкалы времени (рис. 5). У трех сосен (№№ 28, 29 и 52) рост по радиусу на первых участках кривых (включающих около

40 годичных слоев) происходил более медленно резко возросла, что отразилось в резком увеличении (рис. 5). Далее у этих сосен скорость роста по радиусу угла наклона кривых относительно оси времени (рис. 5).

Таблица 1. Характеристика крупных деревьев, растущих вблизи от сосны «Великанша»

Table 1. Characteristics of big trees growing near the Velikansha pine

№ деревьев No. of trees	Координаты расположения (WGS-84) Location coordinates (WGS-84)	Высота деревьев, м Height of trees, m	Диаметр деревьев на высоте взятия образцов, см Tree diameter at sampling height, cm	Толщина коры, см Bark thickness, cm
V*	53.0312221, 52.1330262	33	146	2,5
28	53.03066, 52.135445	33	116	5,0
29	53.031155, 52.136666	35	99	6,0
30	53.031244, 52.13653	34	94	5,0
31	53.03118, 52.135789	35	124	5,0
52	53.0349, 52.137018	34	111	2,5

Примечание: * – сосна «Великанша»

Note: * – Velikansha pine

Таблица 2. Оценка количества годичных слоев и времени формирования центральных слоев у сосен, отобранных для определения возраста сосны «Великанша»

Table 2. Estimation of the number of tree-rings and the time of formation of the central tree-ring in pines selected to determine the age of the Velikansha pine

№ дерева Tree No.	Центральный слой в образцах Central tree-ring in samples	R ₀ , мм / R ₀ , mm	Оценка количества слоев на R ₀ Estimating the number of tree-rings on R ₀	Оценка года формирования центрального слоя на высоте взятия образцов (1 метр) Estimation of the year of formation of the central layer at the sampling height (1 meter)	Оценка года формирования центрального слоя на уровне земли Estimation of the year of formation of the central tree-ring at ground level	Оценка возраста на 2023 г. Estimation of the age of a tree for 2023	Оценка количества слоев на радиусе R=208 мм на высоте взятия образцов Estimation of the number of tree-rings on a radius R=208 mm at the sampling height
28	1789	17	8	1781	1771	253	86
29	1799	5	3	1796	1786	238	72
30	1795	37	8	1787	1777	247	47
31	1797	40	9	1788	1778	236	60
52	1735	55	24	1711	1701	323	73

В 2021 г. у сосны «Великанша» радиус без коры на высоте 2 м составил 655 мм, а на высоте 1 м – 710 мм. Так как образцы у 5 крупных старовозрастных сосен, растущих вблизи от сосны «Великанша» были взяты на высоте 1 м от поверхности земли, был сделан расчет радиуса ствола сосны «Великанша» на начало 1788 г. на высоте 1 м, когда ее радиус на высоте 2 м составлял 192 мм. Расчет основывался на геометрической форме растущего ствола дерева, в виде расширяющегося со

временем конуса, в котором отношение радиусов ствола на близко расположенных высотах от уровня земли сохраняется с течением времени. В 2021 г. отношение радиуса ствола сосны «Великанша» на высоте 1 м к радиусу на высоте 2 м составляло 710/655=1,084. В результате было получено значение радиуса ствола сосны «Великанша» на начало 1788 г. на высоте 1 м от уровня земли – 192×1,084=208 мм.

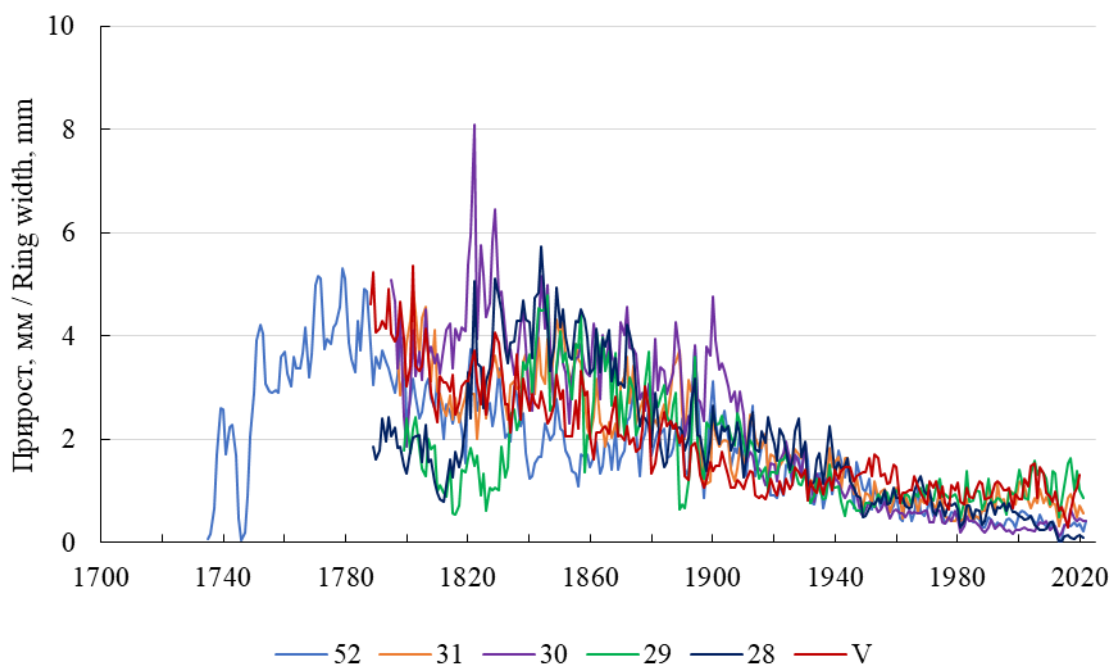


Рисунок 4. Ряды радиального прироста сосны «Великанша» (V) и 5 крупных сосен
Figure 4. Tree-ring series of the Velikansha pine (V) and 5 big pines

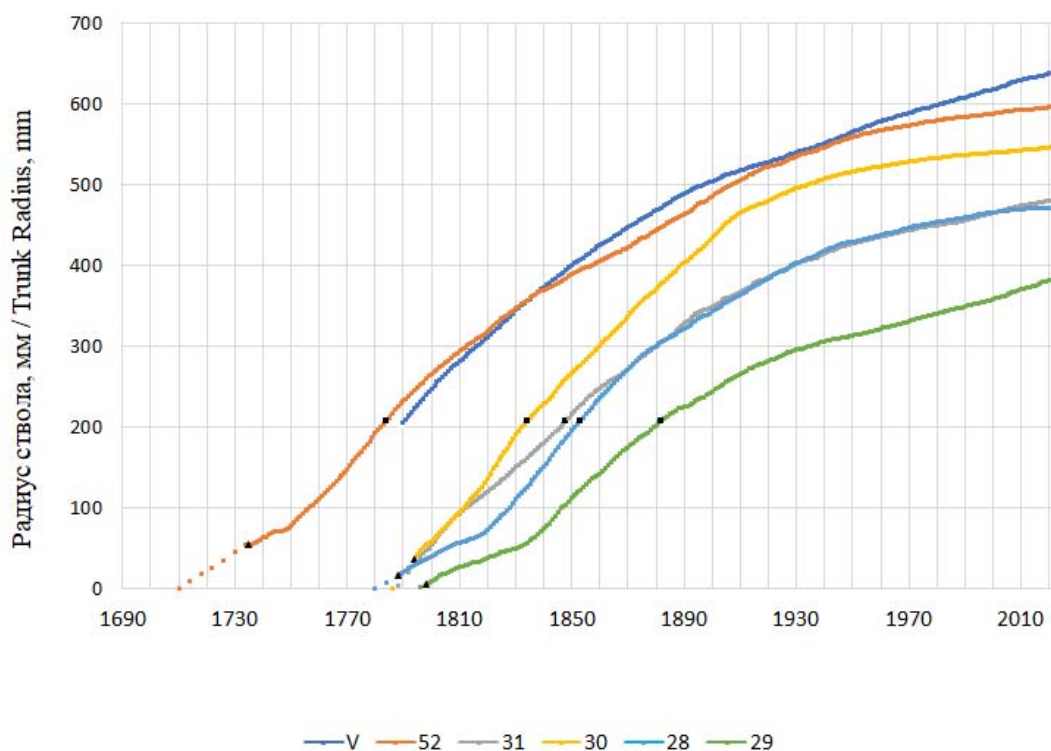


Рисунок 5. Кривые изменения радиуса стволов с течением времени. Треугольниками обозначены значения радиусов R_0 в образцах; квадратами радиус у 5 сосен равный 208 мм, который имела сосна «Великанша» на начало 1788 г. на высоте 1 метра, когда ее радиус на высоте двух метров составил 192 мм; пунктирными линиями – экстраполяция кривых изменения радиуса до центра стволов

Figure 5. Curves of trunk radius change over time. Triangles indicate the values of the R_0 radii in the samples; squares indicate the radius of 5 pines equal to 208 mm, which the Velikansha pine tree had at the beginning of 1788 at a height of 1 metre, when its radius at a height of two metres was 192 mm; dotted lines indicate the extrapolation of the radius change curves to the center of the trunks

Первый от центра ствола слой в образце из сосны «Великанша» сформировался в 1788 г. Оценка возраста этой сосны на 2023 г. по данным, полученным для 5 наиболее крупных старовозрастных сосен, растущих

вблизи от сосны «Великанша» основывалась на том, что до радиуса $R_0=208$ мм эти сосны росли в диапазоне от 47 (сосна № 29) до 86 (сосна № 52) лет (табл. 2). В связи с этими данными оценка возраста сосны «Великанша»

на 2023 год лежит в интервале от 293 до 332 лет (табл. 3).

Наиболее близкой по динамике радиального прироста к сосне «Великанша» является сосна № 52 (рис. 5, 6), оценка возраста которой на 2023 год составила 323 года (табл. 2). В связи с этим наиболее вероятно возраст сосны «Великанша» на 2023 год составляет около 320 лет (табл. 3).

Таблица 3. Оценка количества годичных слоев на R0, года формирования центрального слоя и возраста сосны «Великанша»

Table 3. Estimation of the number of tree-rings at R0, the year of formation of the central tree-ring and the age of the Velikansha pine

Год формирования первого годичного слоя в образце из сосны «Великанша» Year of formation of the first tree-ring in a sample of the Velikansha pine	R0, мм / R0, mm	Оценка диапазона количества слоев у сосны «Великанша» на радиусе R=208 мм на высоте 1 метра по данным, полученным для 5 сосен Estimation of the range of the number of tree-rings in the Velikansha pine at a radius R = 208 mm at a height of 1 meter based on data obtained for 5 pines	Оценка диапазона времени формирования центрального слоя на высоте 1 метра от уровня земли Estimation of the range of the year of formation of the central tree-ring at a height of 1 metre from the ground level	Оценка диапазона времени формирования центрального слоя на уровне земли Estimation of the range of years of formation of the core tree-ring at ground level	Оценка диапазона возраста на 2023 г. Estimated Age Range for 2023	Оценка возраста сосны «Великанша» на 2023 г. по кривой роста по радиусу сосны № 52 Estimation of the age of the Velikansha pine tree for 2023 according to the growth curve by the radius of pine tree No. 52
1788	192	47–86	1702–1741	1692–1731	293–332	319

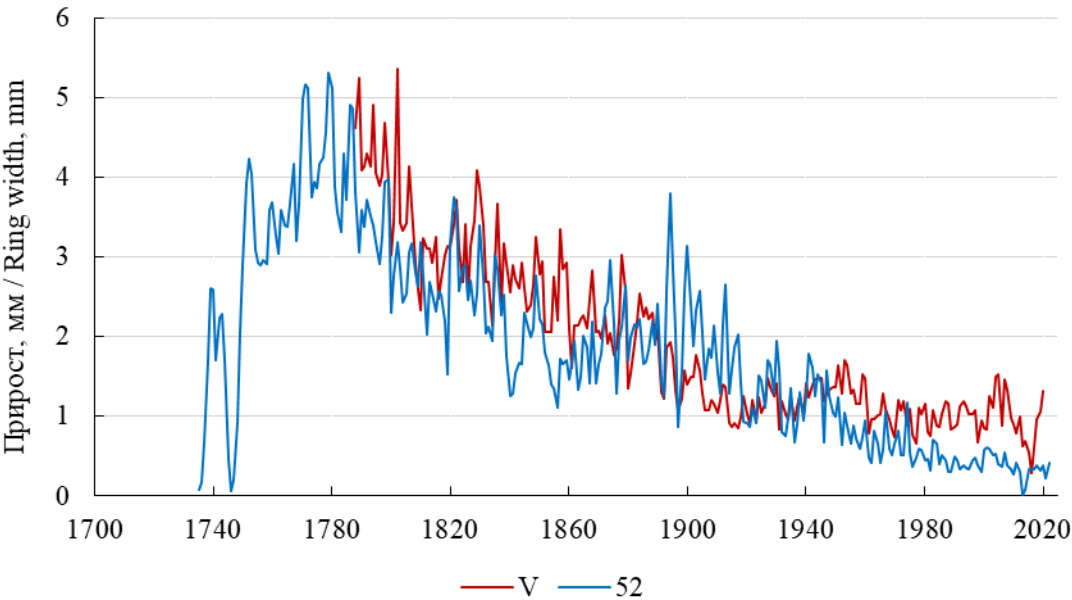


Рисунок 6. Ряды радиального прироста сосны «Великанша» (V) и сосны № 52

Figure 6. Tree-ring series of Velikansha pine (V) and pine No. 52

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главной ценностью лесного массива Бузулукский бор являются старовозрастные естественные насаждения сосны. В первую очередь именно для сохранения этих насаждений Институтом степи УрО РАН при проектировании организации национального парка были заложены основные функциональные зоны – особо охраняемая и заповедная.

В связи с этим ведущим приоритетом природоохранной деятельности на территории национального парка является сохранение естественных насаждений, выявление, обследование и

сохранение старовозрастных деревьев-патриархов. На сегодняшний день по результатам проведенных исследований сосна «Великанша» является одной из самых старых сосен, произрастающих на территории Бузулукского бора – её возраст на 2023 год составлял около 320 лет. Являясь одним из основных рекреационных объектов национального парка, сосна «Великанша» требует к себе особого внимания, в том числе осуществления контроля за посетителями, а

именно соблюдения ими правил посещения объекта. С целью недопущения перемещения людей вблизи дерева, для исключения вытаптывания почвы, ведущего к её уплотнению, вокруг сосны было оборудовано ограждение (рис. 7). Только неукоснительное соблюдение посетителями элементарных правил поведения оставляет шанс на сохранение бесценного сокровища наших лесов – сосны «Великанша» и её «сверстников» для будущих поколений.



А



В

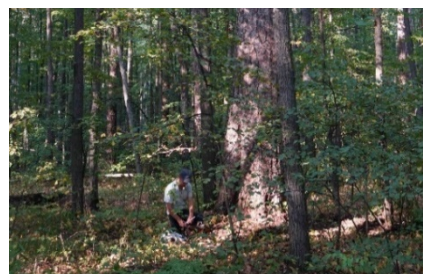


Рисунок 7. Старовозрастные деревья сосны обыкновенной: А – сосна «Великанша» (07.10.2022 г.), В – дерево № 52 (24.08.2022 г.)

Figure 7. Old growth Scots pine trees: А – Velikansha pine (10/07/2022), В – tree No. 52 (08/24/2022)

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках государственного задания «Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем» (№ АААА-А21-121011190016-1). Авторы выражают благодарность ООО «Нефтяной компании Новый Поток» и Национальному парку «Бузулукский бор» за содействие в проведении дендрохронологических исследований.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the State Assignment "Problems of Steppe Nature Management in the Context of Modern Challenges: Optimisation of the Interaction of Natural and Socio-economic Systems" (No. АААА-А21-121011190016-1).

The authors express their gratitude to the Novy Potok Oil Company ООО and the Buzuluksky Bor National Park for assistance in conducting dendrochronological studies.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вельмовский П.В., Чибилев А.А. Проблемы сохранения старовозрастных реликтовых сосняков Бузулукского бора в связи с разработкой нефтяных месторождений // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 2. С. 59–69. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-59-69
2. Чибилев А.А., П.В. Вельмовский П.В., Кин Н.О., Чибилев А.А. мл., Камышова Л.В.. Бузулукский бор: эколого-экономическое обоснование организации национального парка. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 186 с.

3. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства в управлении лесами «Бузулукский бор» Министерства природных ресурсов РФ. Книга 1. Воронеж: ФГУП «ГСЛП Воронежлеспроект» 2-я Воронежская экспедиция, 2002. 400 с.
4. Чибилев А.А. Природа Оренбургской области. Часть I. Физико-географический и историко-географический очерк. Оренбург: Оренбургский филиал Русского географического общества, 1995. 128 с.
5. Национальный реестр старовозрастных деревьев России. URL: https://treeportal.ru/index.php?option=com_adsmanager&page=show_ad&adid=95&catid=1&Itemid=85 (дата обращения: 03.07.2023)
6. Отчет о детальном обследовании дерева, установлении возраста и рекомендуемых мероприятий по оздоровлению. Объект: сосна обыкновенная, N 172. Москва: НПСА «Здоровый лес», Центр древесных экспертиз, 2019. 24 с.
7. Румянцев Д.Е., Черакшев А.В. Методические подходы для определения возраста деревьев // Принципы экологии. 2020. № 4. С. 104–117. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142
8. Rinn F. TSAP V 3.6. Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: RINNTECH, 1996. 263 p.

REFERENCES

1. Velmovsky P.V., Chibilyov A.A. Preservation of the old-growth relic Busuluk pine forest under the conditions of oil field development. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 59–69. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-59-69>
2. Chibilev A.A., P.V. Vel'movskii P.V., Kin N.O., Chibilev A.A. jr., Kamyshova L.V. *Buzulukskii bor: ekologo-ekonomicheskoe obosnovanie organizatsii*

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Сергей Е. Кучеров собрал первичный материал, проанализировал и проинтерпретировал результаты исследования. Павел В. Вельмовский определил объекты исследования, собрал и оформил первичный материал. 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.

natsional'nogo parka [Busuluk pine forest: ecological and economic justification for the organization of a national park]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., 2008, 186 p. (In Russian)

3. *Osnovnye polozeniya organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaistva v upravlenii lesami «Buzulukskii bor» Ministerstva prirodnnykh resursov RF* [Basic provisions of the organization and management of forestry in the management of forests "Buzuluk pine forest" of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation]. Voronezh, Book 1, 2002, 400 p. (In Russian)
4. Chibilev A.A. *Priroda Orenburgskoi oblasti. Chast' I. Fiziko-geograficheskii i istoriko-geograficheskii ocherk* [Nature of the Orenburg Region. Part I. Physical-geographical and historical-geographical essay]. Orenburg, 1995, 128 p. (In Russian)
5. *Natsional'nyi reestr starovozrastnykh derev'ev Rossii* [National Register of Old-Growth Trees of Russia]. Available at: https://treeportal.ru/index.php?option=com_adsmanager&page=show_ad&adid=95&catid=1&Itemid=85 (accessed 03.07.2023)
6. *Otchet o detal'nom obsledovanii dereva, ustanovlenii vozrasta i rekomenduemykh meropriyatii po ozdorovleniyu. Ob'ekt: sosna obyknovennaya, N 172* [Report on detailed examination of tree, determination of age and recommended measures for its recovery. Object: Scots pine, N 172]. Moscow, 2019, 24 p. (In Russian)
7. Rummyantsev D.E., Cherakshev A.V. Methodological approaches for determining the age of trees. *Principy èkologii*, 2020, no. 4, pp. 104–117. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10142
8. Rinn F. TSAP V 3.6. Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg, RINNTECH, 1996, 263 p.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey E. Kucherov undertook collection of primary material, analysis and interpretation of research results. Pavel V. Velmovskiy undertook definition of research objects, collection and design of primary materials. 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

Сергей Е. Кучеров / Sergey E. Kucherov <https://orcid.org/0000-0001-7734-1725>

Павел В. Вельмовский / Pavel V. Velmovskiy <https://orcid.org/0000-0002-0492-6850>

Паразитофауна птиц в фермерских хозяйствах горной зоны Армении

Роза Э. Барсегян¹, Роза А. Петросян¹, Лаура Дж. Арутюнова¹, Карине В. Акопян¹,
Маня А. Никогосян¹, Нелли Э. Барсегян¹, Раиса Роз А. Жакмакян¹, Нарек Н. Тадевосян¹,
Заруи М. Дудукчян¹, Мадина З. Магомедова², Патимат Д. Магомедова², Марине В. Варданян¹

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

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Роза Э. Барсегян, младший научный сотрудник,
Научный центр зоологии и гидроэкологии
НАН РА; 0014 Республика Армения, г. Ереван,
ул. П. Севака, 7.

Тел. +37498775451

Email roza-barseghyan@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4762-0475>

Формат цитирования

Барсегян Р.Э., Петросян Р.А., Арутюнова Л.Дж.,
Акопян К.В., Никогосян М.А., Барсегян Н.Э.,
Жакмакян Р.Р.А., Тадевосян Н.Н., Дудукчян З.М.,
Магомедова М.З., Магомедова П.Д., Варданян
М.В. Паразитофауна птиц в фермерских
хозяйствах горной зоны Армении // Юг России:
экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 16-23.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-2

Получена 2 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 16 ноября 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель исследования – изучение паразитофауны домашней птицы (кур, индеек, гусей) в условиях горной зоны Армении (Гегаркуникский, Тавушский регионы).

Сбор материала проводили в течение 2022–2023 гг. в двух регионах горной зоны Армении. Всего исследовано 107 проб фекалий птиц и 130 моллюсков вида *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) семейства Lymnaeidae – промежуточных хозяев биогельминтов. Исследование и видовое определение паразитов проводились в лаборатории общей гельминтологии и паразитологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА.

В результате изучения видового состава паразитофауны домашних птиц (кур, индеек, гусей), зараженности их гельминтами и простейшими зарегистрированы 3 вида нематод (*Ascaridia galli*, *Capillaria obsignata*, *Singamus trachea*), 1 вид трематод (*Echinostoma revolutum*) и 1 вид простейших (*Eimeria* sp.). У всех птиц регистрировали смешанные инвазии (гельминты + простейшие).

Степень зараженности гельминтами и простейшими была разной. Эймерии встречались у всех обследованных птиц с экстенсивностью инвазии от 36 % до 100 % при высоких показателях интенсивности инвазии. Наиболее высокую степень экстенсивности гельминтозной инвазии регистрировали при нематодозах, до 86 % при аскаридозе при низких показателях интенсивности инвазии, что, видимо, обусловлено сезонными изменениями и зональными особенностями инвазии, а также своевременном проведении лечебных и профилактических мероприятий в хозяйствах.

Своевременное выявление и изучение распространения гельминтов домашних птиц и вызываемых ими заболеваний имеет важное значение для сохранения их здоровья, продуктивности и получения высококачественной продукции.

Ключевые слова

Домашняя птица, гельминты, простейшие, эймериоз, нематодоз, трематодоз, экстенсивность инвазии, интенсивность инвазии.

Parasitic Fauna of Domestic Poultry in the Mountainous Regions of Armenia

Roza E. Barseghyan¹, Roza A. Petrosyan¹, Laura J. Harutyunova¹, Karine V. Akopyan¹,
Manyan A. Nikoghosyan¹, Nelli E. Barseghyan¹, Raisa Rose A. Jakmakian¹, Narek N. Tadevosyan¹,
Zaruhi M. Dudukchyan¹, Madina Z. Magomedova², Patimat D. Magomedova² and Marine V. Vardanyan¹

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

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Roza E. Barseghyan, Junior Researcher, Scientific Center of Zoology and Hydroecology National Academy of Sciences of the Republic of Armenia; 7 Paruyr Sevak St, Yerevan, Republic of Armenia 0014.

Tel. +37498775451

Email roza-barseghyan@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4762-0475>

How to cite this article

Barseghyan R.E., Petrosyan R.A., Harutyunova L.J., Akopyan K.V., Nikoghosyan M.A., Barseghyan N.E., Jakmakian R.R.A., Tadevosyan N.N., Dudukchyan Z.M., Magomedova M.Z., Magomedova P.D., Vardanyan M.V. Parasitic Fauna of Domestic Poultry in the Mountainous Regions of Armenia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):16-23. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-2

Received 2 October 2024

Revised 16 November 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The study aims to study the parasitic fauna of domestic poultry (chickens, turkeys, geese) in the mountainous zone of Armenia (Gegharkunik, Tavush regions).

The material was collected from 2022 to 2023 in two regions of the mountainous zone of Armenia. A total of 107 samples of bird feces and 130 mollusks of the species *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) of the Lymnaeidae family – intermediate hosts of biohelminths – were examined. The study and species identification of parasites were carried out in the Laboratory of General Helminthology and Parasitology of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia. As a result of studying the species composition of the parasite fauna of domestic birds (chickens, turkeys, geese), their infection with helminths and protozoa, 3 species of nematodes (*Ascaridia galli*, *Capillaria obsignata*, *Singamus trachea*), 1 species of trematodes (*Echinostoma revolutum*) and 1 species of protozoa (*Eimeria* sp.) were identified. Mixed invasions (helminths + protozoa) were identified in all birds.

The degree of invasion of helminths and protozoa varied. *Eimeria* were found in all examined birds with an extent of invasion from 36 % to 100 % and high rates of invasion intensity. The highest extent of helminthic invasion was recorded with Nematodosis and up to 86 % with Ascariasis with low rates of invasion intensity, which is apparently due to seasonal changes and zonal features of invasion, as well as timely implementation of therapeutic and preventive measures on farms.

Timely detection and study of the spread of helminths in poultry and the diseases they cause is important for maintaining poultry health, productivity and high-quality production.

Key Words

Poultry, helminths, protozoa, eimeriosis, nematodosis, trematodosis, extent of invasion, intensity of invasion.

ВВЕДЕНИЕ

Среди разных отраслей животноводства в Республике Армения птицеводство по праву занимает достойное место. Птицеводство в нашей стране является наиболее автоматизированной и насыщенной современными технологиями отраслью животноводства. В настоящее время в Республике действует более одного десятка мелких, средних и крупных птицеводческих фабрик, которые занимаются производством птичьего мяса и яиц. Кроме того, домашняя птица разводится и в приусадебных подсобных хозяйствах, где в основном занимаются разведением кур, индеек, гусей и уток.

По данным Министерства сельского хозяйства Армении ежегодно в республике производится около 700 млн яиц и более 10 тысяч тонн птичьего мяса.

Однако в современном птицеводстве Республики существует немало проблем, требующих комплексного решения. В их число входят и инвазионные болезни птиц.

Одним из самых распространенных и опасных паразитарных заболеваний птиц являются гельминтозы, которые приводят к значительным экономическим потерям за счет негативного влияния на качество получаемой продукции. При различных видах гельминтозной инвазии птиц (аскаридоз, капилляриоз, сингамоз, эхиностоматидоз и др.) нарушается обмен белков, жиров, минеральных веществ, наблюдается потеря веса, снижение яйценоскости кур и др. [1; 2].

Протозойные болезни, в частности эймериоз также составляют значительную часть инвазионных болезней и являются серьезным препятствием на пути повышения продуктивности сельскохозяйственной птицы [3–6]. Кокцидиоз птиц сопровождается высокой степенью заболеваемости и смертности. Это заболевание оказывает губительное действие на желудочно-кишечный тракт птиц (за исключением почечного кокцидиоза гусей и уток), вызывая энтерит, анемию и кровавый понос [7].

Изучение распространенности гельминтозов и эймериозов птиц имеет как научное, так и практическое значение. Выявление и изучение наиболее опасных видов паразитов и изыскание мер для борьбы с паразитами, эффективность проводимых в хозяйствах мероприятий – все это является залогом высокой продуктивности и здоровья сельскохозяйственной птицы. Инвазионные болезни причиняют значительный экономический ущерб и личным хозяйствам в Армении.

Цель исследования – изучение паразитофауны домашней птицы (кур, индеек, гусей) в условиях горной зоны Армении (Гегаркуникский, Тавушский регионы).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала проводили в течение 2022–2023 гг. в двух регионах горной зоны Армении. Всего исследовано 107 проб фекалий птиц и 130 моллюсков вида *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) семейства Lymnaeidae – промежуточных хозяев биогельминтов.

Исследование и видовое определение паразитов проводились в лаборатории общей гельминтологии и паразитологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА.

Отдельные зоны нашей страны резко отличаются друг от друга по агроклиматическим условиям и ведению животноводства. Поэтому важное значение имеет изучение распространения гельминтов и вызываемых ими заболеваний в конкретных условиях. Исследования по распространению инвазионных болезней, вызываемых гельминтами и простейшими, проводились в селах, расположенных по берегу реки Гетик и Асстев в Тавушском – села Гетаовит, Агарцин, Хачардзан, Агавнаванк и в Гегаркуникском регионах (марзах) – села Зоравнк, Антарамеч, Туджур и Джамбарак (рис. 1).

При копрологическом исследовании пользовались методом последовательных смывов, дающим возможность дифференцировать яйца по цвету, размеру и другим параметрам. Применялся также флотационный метод Фюллеборна, при котором фекалии птиц обрабатывали насыщенным раствором поваренной соли.

С целью выявления кокцидиозной инвазии в 1 мл взвеси, содержащей ооцисты, использовали камеру Горяева. Поскольку объем камеры Горяева составляет 0,9 м³, количество подсчитанных ооцист умножали на 1111. Полученное число адекватно количеству ооцист в 1 см³ раствора. Рассчитывали уровень инвазированности хозяев ооцистами.

Слабая инвазированность (+) – до 10000 ооцист на 1 г фекалий.

Средняя инвазированность (++) – до 100000 ооцист на 1 г фекалий.

Сильная инвазированность (+++) – больше 100000 ооцист на 1 г фекалий.

Принадлежность ооцист эймерий определяли по морфометрическим параметрам.

Собранных в поле живых моллюсков привозили в лабораторию, где в чашке Петри с водой доставали тело моллюска и препаровальными иглами потрошили печень. Из зараженных моллюсков выходили редии и мирацидии *Echinostoma revolutum*. Редии и мирацидии переносились на предметное стекло, фиксировались покровным стеклом и исследовались под бинокулярным микроскопом (4x8).

Если в поле зрения микроскопа находилось от 1 до 5 редий, уровень инвазированности моллюска считали низким, от 6 до 12 – средним, от 15 и более – высоким [8].

Для анализа данных, полученных в ходе исследования, были рассчитаны показатели экстенсивности (ЭИ) и интенсивности (ИИ) инвазии.

Экстенсивность инвазии (EI) рассчитывали по формуле:

$$EI = \frac{n}{N} * 100,$$

где n – число зараженных особей хозяев; N – число исследованных особей хозяев.

Интенсивность инвазии (II) рассчитывали по формуле:

$$II = \frac{m}{n},$$

где m – число обнаруженных гельминтов или ооцист паразитов, n – число зараженных особей хозяев.

Графики экстенсивности и интенсивности инвазий были построены с использованием программы статистического анализа (Statistica 8).

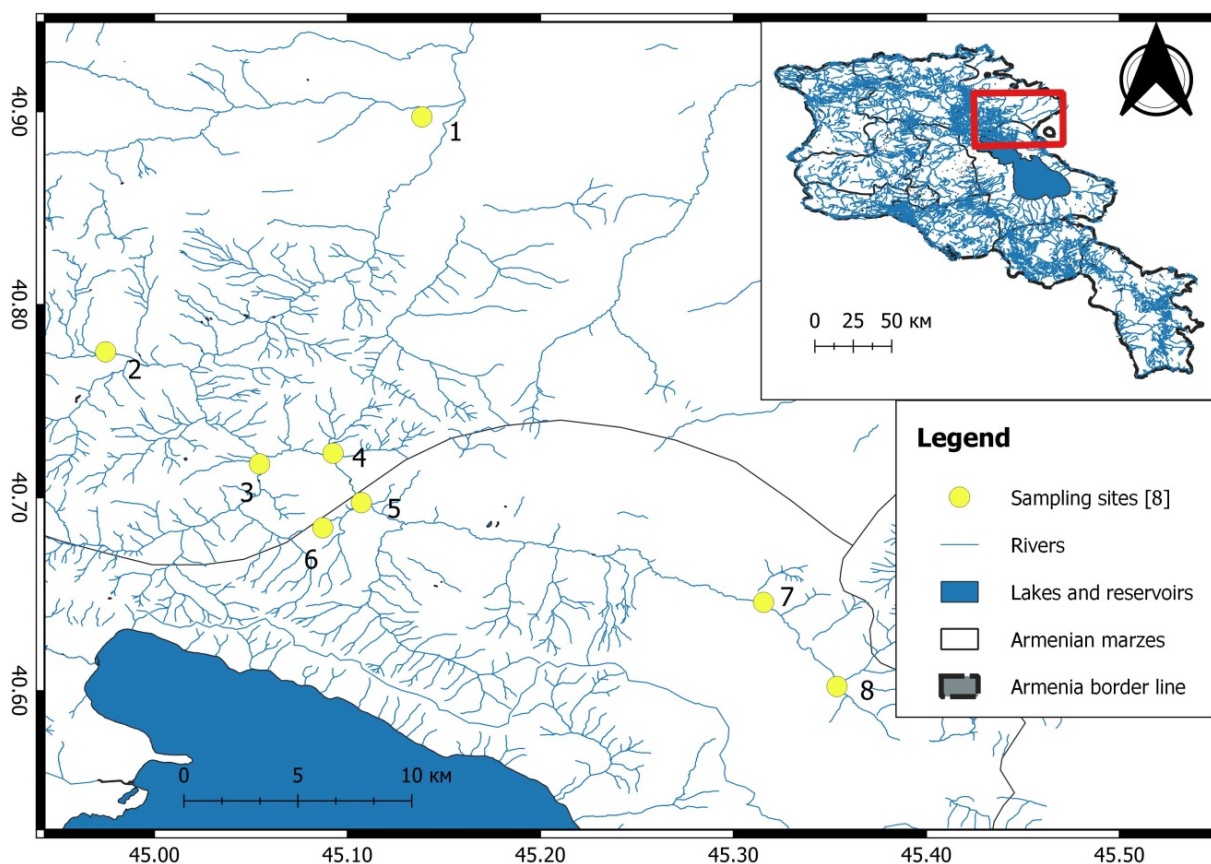


Рисунок 1. Места сбора проб: Таувшский марз – Гетаовит (1), Агарцин (2), Хачардзан (3), Агавнаванк (4), Гегаркуникский марз – Зоравнк (5), Антарамеч (6), Ттуджур (7) и Джамбарак (8)

Figure 1. Sample collection locations: Tavush Marz – Getahovit (1), Haghartsin (2), Khachardzan (3), Aghavnavank (4), Gegharkunik Marz – Zoravnk (5), Antaramech (6), Ttujur (7) and Dzhambarak (8)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе наших исследований установлена зараженность птиц как гельминтами, так и простейшими.

Гельминты, обнаруженные у кур, индеек и гусей относятся к классам *Nematoda*, *Trematoda*, простейшие к классу *Protozoa*. Были выявлены 3 вида нематод (*Ascaridia galli*, *Capillaria obsignata*, *Singamus trachea*) 1 вид трематод (*Echinostoma revolutum*) и 1 вид простейших (*Eimeria* sp.).

Информация по видовому составу гельминтов и простейших, распределению паразитов по хозяевам приведена ниже (рис. 2).

У всех исследованных птиц были выявлены ооцисты эймерий с высокими показателями частоты встречаемости: у кур – 96 %, индеек – 55 %, гусей – 33 %. Источником заражения здесь выступают больные и взрослые птицы. Заражение птиц ооцистами происходит также через корм.

Частота встречаемости гельминтов отличалась у разных видов домашних птиц. Нематоды (*Ascaridia galli*, *Capillaria obsignata*, *Singamus trachea*) были обнаружены только у кур и индеек. Трематоды (*Echinostoma revolutum*) – только у гусей.

Заражение нематодами происходит при проглатывании инвазионных яиц или личинок нематод с почвой, водой, кормом; при проглатывании зараженных нематодами промежуточных хозяев (червей, моллюсков, насекомых и др.) или, даже, при укусах насекомых.

Частота встречаемости *Ascaridia galli* у индеек составила 18 %, а у кур только – 1 %.

Ascaridia galli – является возбудителем аскаридоза, паразитирует в тонком отделе кишечника кур, индеек, цесарок, гусей, фазанов, рябчиков, глухарей и при отсутствии своевременного лечения болезни приводит к падежу цыплят, отставанию в росте и снижению продуктивности взрослой птицы. Яйца или личинки аскаридий могут содержаться в траве, грунте, воде. Большую роль в распространении аскаридоза играют дождевые черви: личинки аскаридий в их организме могут перезимовывать и весной следующего года заражать птицу. Домашняя птица заражается, заглатывая вместе с кормом и водой яйца гельминтов, которые могут закупоривать кишечник, что в итоге приводит к его разрыву и гибели птицы. Очагами инвазии являются места скопления помета птиц на влажных, затененных участках выгулов. Наиболее интенсивно заражение птиц аскаридозом происходит во влажный, теплый сезон года. Вспышки болезни возможны в течение всего периода выращивания молодняка.

Capillaria obsignata у индеек встречалась с частотой в 9 % а у кур только – 1 %.

Capillaria obsignata – достигает в длину 15 мм и заселяет тонкий кишечник птиц – домашних и диких. Паразиты прикрепляются к слизистой, вызывая ее отек, кровоизлияния и раздражение. Самки откладывают яйца непосредственно в организме, после чего они с пометом обсеменяют внешнюю среду. Наиболее распространенным переносчиком капиллярий выступают дождевые черви, инвазированные личинками капиллярий, которых птица охотно поедает

на выгуле. Второй по распространенности источник инфекции – зараженные птицы (домашние и дикие). Капилляриоз обнаруживается в течение всего года, но наиболее интенсивно инвазия протекает летом.

Частота встречаемости *Syngamus trachea* у индеек составила 18 %, а у кур – 2 %.

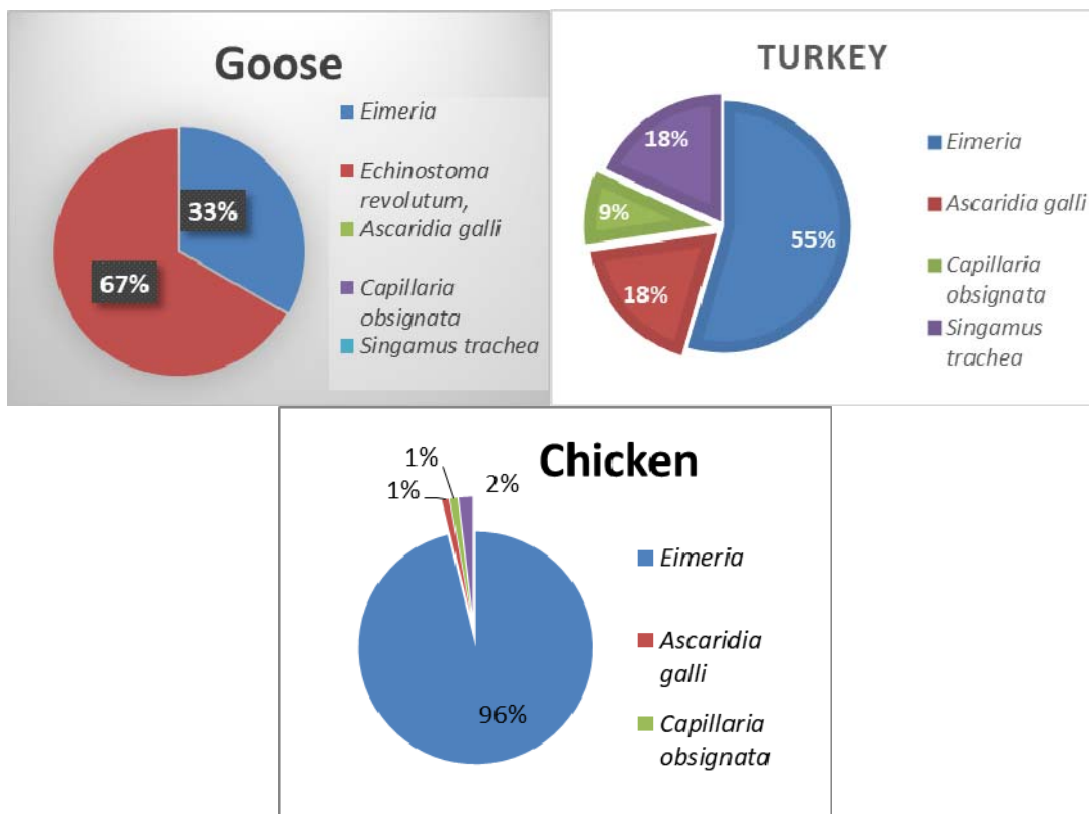


Рисунок 2. Видовой состав и частота встречаемости обнаруженных паразитов
Figure 2. Species composition and frequency of occurrence of detected parasites

Syngamus trachea – также один из наиболее патогенных видов гельминтов у домашней птицы. Паразиты питаются кровью, поэтому при жизни имеют ярко-красный цвет.

Развитие паразитов происходит как без промежуточного хозяина, так и со сменой хозяев. В первом случае яйца попадают во внешнюю среду при кашле птицы или выходят вместе с пометом. При температуре воздуха 25–27 °C (через 8–10 дней) в яйцах развиваются личинки.

Птица заражается, проглатывая с кормом или водой яйца возбудителя, личинка внедряется в стенку кишечника и через кровеносную систему достигает легких, затем бронхов и трахеи. Во втором случае яйца или личинки попадают в промежуточных хозяев – дождевых червей, где они могут жить в течение нескольких лет. Заражение птицы происходит после поедания дождевых червей и преимущественно в теплое время года в местах с повышенной влажностью.

Надо отметить, что все три вида нематод показали сравнительно высокую частоту встречаемости у индеек 9–18 %, в то время как показатели частоты встречаемости их были низкими у кур – 1–2 %.

Видовой состав трематод был представлен *Echinostoma revolutum*, которая была обнаружена только у гусей, с 67 % встречаемости.

Echinostoma revolutum – наиболее патогенный возбудитель эхиностоматидоза, паразитирует в

кишечнике уток, гусей, диких водоплавающих, иногда кур и индеек.

Echinostoma revolutum как и все трематоды является биогельминтом со сложным циклом развития с участием дефинитивных хозяев (домашних и диких водоплавающих птиц), промежуточных (пресноводных моллюсков многих родов и др.) и дополнительных (тех же моллюсков, лягушек и их головастики и др.).

В теле промежуточных хозяев трематоды проходят стадии мирацидия, спорозисты, редии, дочерних редий и церкариев. Церкарии в воде проникают в одного из своих дополнительных хозяев и превращаются в инвазионную личинку – метацеркария. Водоплавающая птица заражается на водоемах при заглатывании моллюсков, лягушек или их головастиков, инвазированных метацеркариями возбудителей эхиностоматидозов [9; 10].

В результате исследований была установлена также степень зараженности домашней птицы гельминтами и простейшими.

Эймерии встречались у всех исследованных птиц с экстенсивностью инвазии (ЭИ) 70 % у кур, 36 % у индеек. Абсолютную ЭИ (100 %) при эймериозе регистрировали у гусей.

Интенсивность инвазии (ИИ) у всех исследованных птиц также была высокой (сильная инвазированность ++++) то есть было обнаружено более 100000 ооцист на 1 г фекалий (табл. 1).

Таблица 1. Экстенсивность и интенсивность инвазии эймериями в фермерских хозяйствах горной зоны Армении
Table 1. Extensiveness and intensity of Eimeria invasion in farms of the mountainous zone of Armenia

<i>Eimeria</i> sp.			
Виды Species	ЭИ, % EI, %	ИИ, экз. II, number	Инвазированность Degree of Infection
Куры Chickens	70	2638622	+++
Индейки Turkeys	36	166650	+++
Гуси Geese	100	479118	+++

Что касается гельминтов, то распространение их было с различной степенью экстенсивности и интенсивности. Данные результатов по установлению степени зараженности птиц гельминтами приведены в виде графиков (рис. 3, рис. 4).

Высокую степень экстенсивности инвазии регистрировали при аскаридозе как у кур ЭИ – 84 %, так и у индеек – 57 %, при ИИ 0.23 экз. и 2 экз. соответственно. При капилляриозе кур также регистрировали высокую степень зараженности с ЭИ 86 %, при ИИ 0.3 экз. ЭИ кур сингамусами составляла 45 % при ИИ 0.52 экз.

Средний уровень экстенсивности инвазии отметили при сингамозе и капилляриозе у индеек с ЭИ сингамусами – 14 %, ИИ 0.36 экз., и ЭИ капилляриями – 21 %, ИИ 0.07 экз.

Распространение нематод обусловлено климатом, экологическим состоянием окружающей среды (температура, влажность), присутствием и количеством промежуточных хозяев, условиями содержания и кормления птиц.

Поскольку трематода *Echinostoma revolutum* встречалось только у гусей, которые питались в прибрежной зоне реки Гетик, то были установлены показатели экстенсивности и интенсивности инвазий только у гусей (ЭИ – 27 %, ИИ – 0,42 экз.).

Распространение паразитов с различной степенью экстенсивности и интенсивности, может приводить к задержке развития и снижению продуктивности птиц и причинять владельцам подсобных хозяйств значительный ущерб.

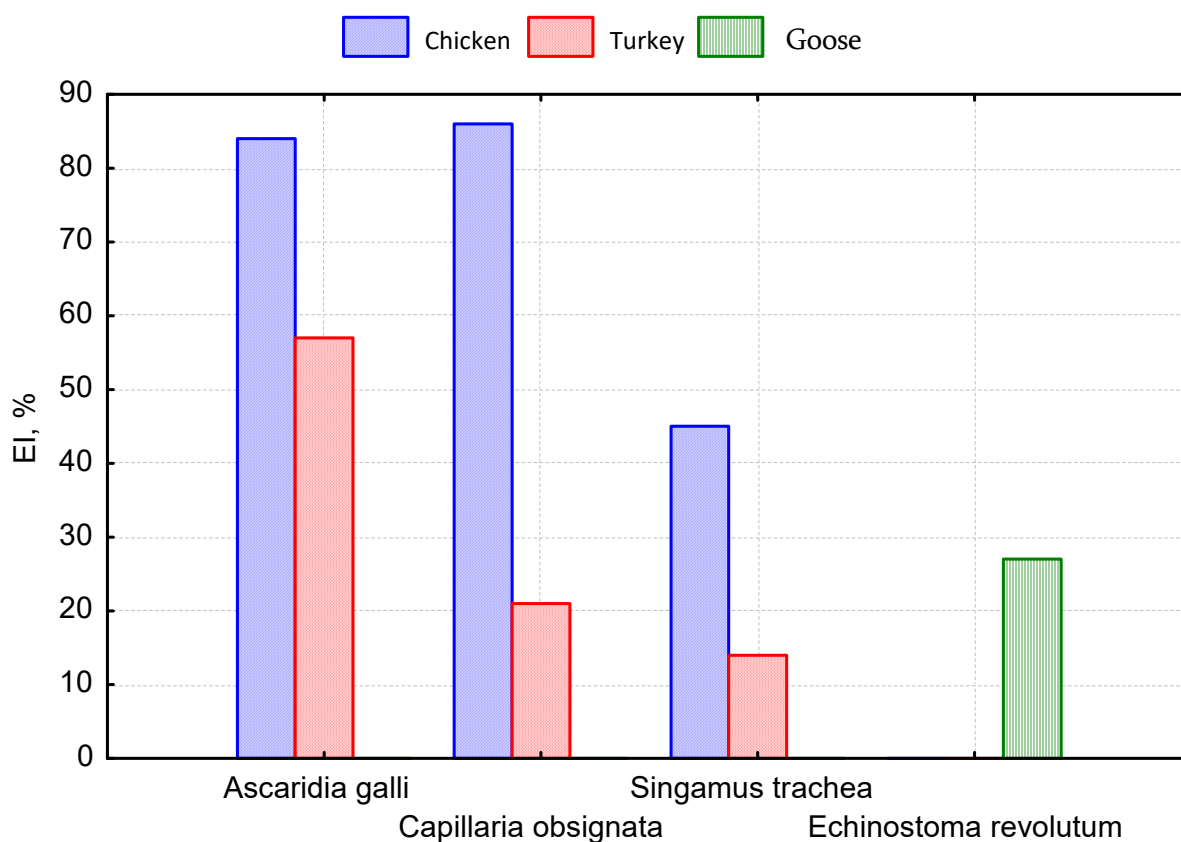


Рисунок 3. Экстенсивность инвазии в фермерских хозяйствах горной зоны Армении
Figure 3. Extent of invasion in farms of the mountainous zone of Armenia

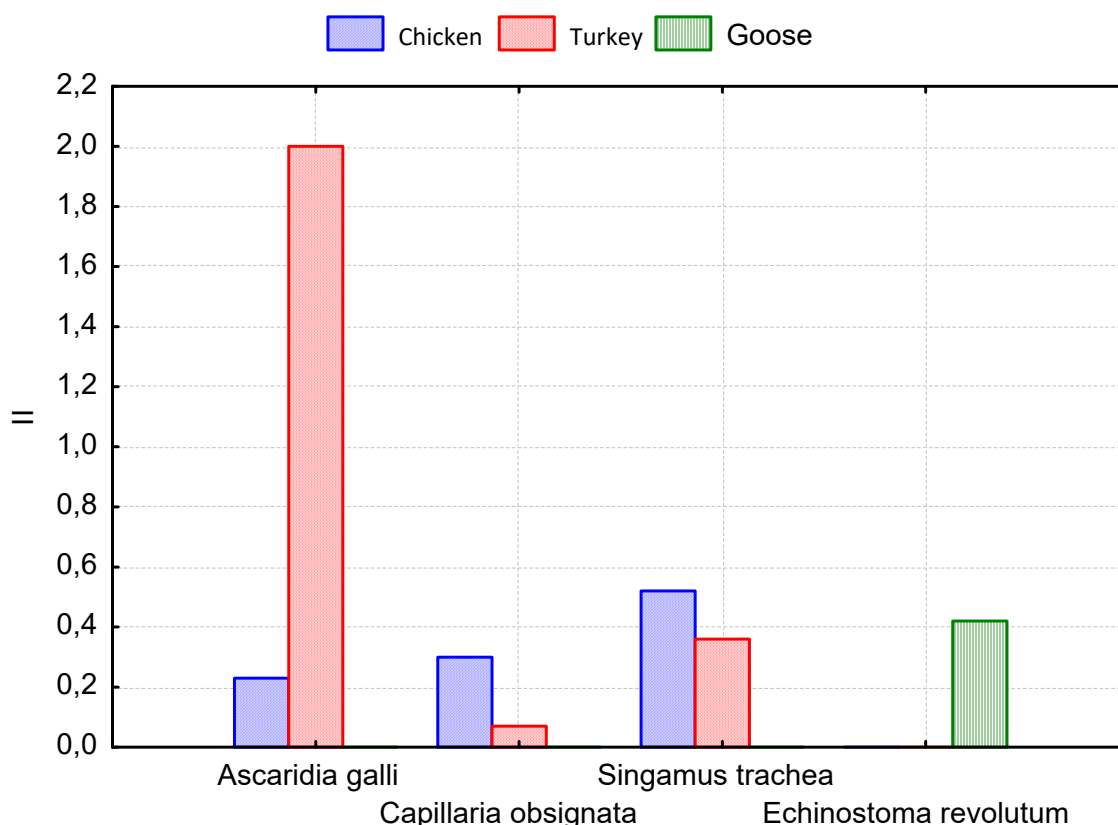


Рисунок 4. Интенсивность инвазии в фермерских хозяйствах горной зоны Армении
Figure 4. Intensity of invasion in farms in the mountainous zone of Armenia

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В подсобных хозяйствах населения имеются условия для постоянного заражения домашней птицы гельминтозами и протозоозами: совместное содержание всей домашней птицы, как в помещениях, так и на дворовых выгульных участках, высокая численность промежуточных и резервуарных хозяев, высокая устойчивость спорозист во внешней среде и высокая репродуктивная способность возбудителей.

Несмотря на то, что уровень экстенсивности инвазии при нематодозах высокий, показатели интенсивности инвазии были низкими, что видимо, обусловлено сезонными изменениями и зональными особенностями инвазии, а также наличием резервуарных хозяев – дождевых червей.

Высокие показатели экстенсивности инвазии при невысокой интенсивности свидетельствуют также о своевременном проведении лечебных и профилактических мероприятий в данных хозяйствах.

Необходимо отметить, что для получения высококачественного мяса птицы и яиц необходимо своевременное выявление заболевания, проведение лечебно-профилактических и ветеринарно-санитарных мероприятий, как на птицефабриках, так и в приусадебных подсобных хозяйствах для предотвращения развития и распространения инвазии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мовсесян С.О., Никогосян М.А., Петросян Р.А., Кузнецов Д.Н. Нематоды и акантоцефалы фауны юга Малого Кавказа. Центр паразитологии Ин-та проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 445 с.

2. Богач М.В., Березовский А.В., Тараненко И.Л. Инвазийні хвороби свійської птиці. Київ, Ветінформ. 2009. 224 с.
3. Dumanlı Z., Aktaş M. Eimeriidae (Coccidiosis in Poultry). In: Dumanlı N, Karaer KZ, eds. Veterinary Protozoology. 2nd ed. Ankara: Medisan Publishing House, 2015. P. 105–124.
4. Song H., Liu D., Xu J., et al. The endogenous development and pathogenicity of *Eimeria anseris* (Kotlan, 1932) in domestic goslings // Parasitol Res. 2017. V. 116. P. 177–183.
5. Galli G.M., Baldissera M.D., Griss L.G., et al. Intestinal injury caused by *Eimeria* spp. impairs the phosphotransfer network and gain weight in experimentally infected chicken chicks // Parasitol Res. 2019. V. 118. P. 1573–1579.
6. Griss L.G., Galli G.M., Fracasso M., et al. Oxidative stress linked to changes of cholinesterase and adenosine deaminase activities in experimentally infected chicken chicks with *Eimeria* spp. // Parasitol Int. 2019. V. 71. P. 11–17.
7. Маршалкіна Т.В. Еймеріоз курей, розробка імунізуючого препарату із *Eimeria tenella* (Railliet, Lucet, 1891) з прискоренням циклом розвитку : дис. ... канд. вет. наук. К., 2011. 190 с.
8. Голубев А.П. и др. Потенциал роста численности популяций большого прудовика *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Pulmonata) – основного промежуточного хозяина трематод в очагах церкариозов приразных способах размножения // Здоровье и окружающая среда. Минск, 2007. Вып. 9. С. 232–240.
9. Mohanta U.K., Watanabe T., Anisuzzaman, Ohari Y., Itagaki T. Characterization of *Echinostoma revolutum* and *Echinostoma robustum* from ducks in Bangladesh based on morphology, nuclear ribosomal ITS2

and mitochondrial *nad1* sequences // *Parasitol Int.* 2019. V. 69. P. 1–7.

10. Labony S.S. et al. Genetic analysis, pathology, and vectors of echinostomiasis, a zoonotic helminth infection in chickens in Bangladesh // *Poult Sci.* 2022. V. 101(3). Article ID: 101682.

REFERENCES

- 1 Movsesyan S.O., Nikoghosian M.A. Petrosian R.A., Kuznetsov D.N. *Nematody i akantotsefaly fauny yuga Malogo Kavkaza* [Nematodes and Acanthocephalens of the fauna of the south of the Lesser Caucasus]. Moscow, KMK Publ, 2017, 445 p. (In Russian)
- 2 Bogach M.V., Berezovsky A.V., Taranenko I.L. Invazivni khvoroby sviys'koyi ptytsi [Invasive diseases of domestic birds]. Kiev, Vetinform Publ., 2009. 224 p. (In Ukrainian)
- 3 Dumanlı Z., Aktaş M. Eimeriidae (Coccidiosis in Poultry). In: Dumanlı N., Karaer K.Z., eds. *Veterinary Protozoology*. 2nd ed. Ankara, Medisan Publ., 2015, pp. 105–124.
- 4 Song H., Liu D., Xu J., et al. The endogenous development and pathogenicity of *Eimeria anseris* (Kotlan, 1932) in domestic goslings. *Parasitol Res.*, 2017, vol. 116, pp. 177–183.
- 5 Galli G.M., Baldissera M.D., Griss L.G., et al. Intestinal injury caused by *Eimeria* spp. impairs the phosphotransfer network and gain weight in experimentally infected chicken chicks. *Parasitol Res.*, 2019, vol. 118, pp. 1573–1579.
- 6 Griss L.G., Galli G.M., Fracasso M., et al. Oxidative stress linked to changes of cholinesterase and adenosine deaminase activities in experimentally infected chicken

chicks with *Eimeria* spp. *Parasitol Int.*, 2019, vol. 71, pp. 11–17.

- 7 Marshalkina, T.V. *Eymerioz kurey, rozrobka imunizuyouchoho preparatu iz Eimeria tenella (Railliet, Lucet, 1891) z pryskorenym tsykлом rozvytku* [Eimeriosis of chickens, development of an immunizing drug from *Eimeria tenella* (Railliet, Lucet, 1891) with an accelerated development cycle]. dissertation ... candidate vet. sciences. K., 2011, 190 p. (In Ukrainian)
- 8 Golubev A.P., et al. Potentsial' rosta chislennosti populyatsiy bol'shogo prudvika *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Pulmonata) – osnovnogo promezhutochnogo khozyaina trematod v ochagah tserkariozov pri raznykh sposobakh razmnzheniya. Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Potential for population growth of the large pond snail *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Pulmonata) – the main intermediate host of trematodes in cercariosis foci with different reproduction methods]. Health and the Environment. Minsk, 2007. iss. 9, pp. 232–240. (In Russian)
- 9 Mohanta U.K., Watanabe T., Anisuzzaman, Ohari Y., Itagaki T. Characterization of *Echinostoma revolutum* and *Echinostoma robustum* from ducks in Bangladesh based on morphology, nuclear ribosomal ITS2 and mitochondrial *nad1* sequences. *Parasitol Int.* 2019, vol. 69, pp. 1–7.
- 10 Labony S.S. et al. Genetic analysis, pathology, and vectors of echinostomiasis, a zoonotic helminth infection in chickens in Bangladesh. *Poult Sci.* 2022, vol. 101(3), article id: 101682.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Роза Э. Барсегян проводила лабораторное обследование и определение собранного паразитологического материала. Роза А. Петросян, Марине В. Варданян и Маня А. Никогосян проводили определение гельминтологического материала. Карине В. Акопян участвовала в написании рукописи. Нелли Э. Барсегян принимала участие в картировании и математических расчетах. Раиса Роз А. Жакмакян, Нарек Н. Тадевосян, Заруи М. Дудукчян принимали участие в лабораторных исследованиях и переводе рукописи. Мадина З. Магомедова, Патимат Д. Магомедова, Лаура. Дж. Арутюнова проводила определение собранного малакофаунистического 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

Roza E. Barseghyan carried out laboratory examinations and the determination of the parasitological material collected. Roza A. Petrosyan, Marine V. Vardanyan and Manya A. Nikoghosyan carried out the identification of helminthological material. Karine V. Akopyan participated in writing the manuscript. Nelli E. Barseghyan took part in mapping and mathematical calculations. Raisa Rose A. Jakmakian, Narek N. Tadevosyan, Zaruhi M. Dudukchyan participated in laboratory research and the translation of the manuscript. Madina Z. Magomedova., Patimat D. Magomedova., Laura J. Harutyunova carried out the identification of the collected malacofaunal material. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Роза Э. Барсегян / Roza E. Barseghyan <https://orcid.org/0009-0000-4762-0475>
 Роза А. Петросян / Roza A. Petrosyan <https://orcid.org/0009-0000-4559-4138>
 Лаура Дж. Арутюнова / Laura J. Harutyunova <http://orcid.org/0000-0001-7814-6577>
 Карине В. Акопян / Karine V. Akopyan <http://orcid.org/0009-0000-5326-7954>
 Маня А. Никогосян / Manya A. Nikoghosyan <https://orcid.org/0009-0003-3071-8179>
 Нелли Э. Барсегян / Nelli E. Barseghyan <https://orcid.org/0000-0002-2819-093X>
 Раиса Роз А. Жакмакян / Raisa Rose A. Jakmakian <https://orcid.org/0009-0005-4959-0544>
 Нарек Н. Тадевосян / Narek N. Tadevosyan <https://orcid.org/0009-0000-7893-3087>
 Заруи М. Дудукчян / Zaruhi M. Dudukchyan <https://orcid.org/0009-0008-0283-8970>
 Мадина З. Магомедова / Madina Z. Magomedova <https://orcid.org/0000-0001-8425-1664>
 Патимат Д. Магомедова / Patimat D. Magomedova <https://orcid.org/0000-0001-6072-1094>
 Марине В. Варданян / Marine V. Vardanyan <http://orcid.org/0009-0000-5610-0375>

Обзорная статья / Review article
УДК: 595.771 (591.38)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-3



К вопросу о межвидовой гибридизации инвазивных видов *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus*

Надежда Ю. Оюн^{1, 2, 3}, Герман А. Шипулин²

¹Институт медицинской паразитологии, тропических и трансмиссивных заболеваний

им. Е.И. Марциновского Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

²ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»

Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

³Кафедра энтомологии Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Контактное лицо

Надежда Ю. Оюн, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт медицинской паразитологии, тропических и трансмиссивных заболеваний

им. Е.И. Марциновского Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова; 119435 Россия, г. Москва, ул. Малая Пироговская, 20.

Тел. +79647790239

Email nad_oyun@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9279-4386>

Формат цитирования

Оюн Н.Ю., Шипулин Г.А. К вопросу о межвидовой гибридизации инвазивных видов *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus* // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 24-35. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-3

Получена 9 декабря 2024 г.

Прошла рецензирование 16 января 2025 г.

Принята 20 января 2025 г.

Резюме

Цель – обобщение результатов исследований, посвященных проблеме межвидовой гибридизации кровососущих комаров *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* и вероятных последствий данного явления. В обзоре рассмотрены направленность процесса гибридизации, механизмы посткопулятивной изоляции, вопрос выживаемости гибридов, а также влияние межвидовой гибридизации на представленность переносчиков в зоне симпатрии.

Изучение межвидовой гибридизации комаров *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus* началось в первой половине XX века. В результате спаривания *Ae. aegypti* с *Ae. albopictus* самки обоих видов откладывают нежизнеспособные яйца. Спаривание девственных самок *Ae. aegypti* с самцами *Ae. albopictus* стерилизует самок посредством белков придаточных желез самца, но обратное межвидовое скрещивание не влияет на фертильность самок *Ae. albopictus*. Данное явление получило название сатиризации (репродуктивного вмешательства). Эффект сатира вызывает ассиметричные параметры популяции *Aedes aegypti*, что может привести к уменьшению популяции или исчезновению вида на данной территории. Однако, в ходе длительного взаимодействия в зоне симпатрии самки *Ae. aegypti* становятся резистентными к сатиризации.

Сатиризация является наиболее вероятной причиной конкурентных вытеснений местных комаров инвазивными видами, особенно *Ae. albopictus*. Даже низкие уровни ассиметричного вмешательства в спаривание способны вызывать конкурентное вытеснение вида или сокращение его популяции. Популяции *Ae. aegypti*, подвергшиеся сатиризации, быстро вырабатывают устойчивость к межвидовому спариванию, что частично снимает отрицательное действие репродуктивного вмешательства и способствует сосуществованию с *Ae. albopictus*. Комары *Ae. albopictus* способны сатиризировать самок других видов, что может привести к конкурентным смещениям и возможным вымираниям, особенно эндемичных видов. Таким образом, успешная сатиризация способствует экологическому успеху инвазивного вида *Ae. albopictus*.

Ключевые слова

Кровососущие комары, *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, трансмиссивные заболевания, межвидовое скрещивание, сатиризация, конкуренция.

On the intraspecific hybridization of two invasive mosquito species *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*

Nadezhda Yu. Oyun^{1, 2, 3} and German A. Shipulin²

¹Martsynovski Institute of Medical Parasitology, Tropical and Vector-Borne Diseases, Sechenov University, Moscow, Russia

²Federal State Budgetary Institution «Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks», Moscow, Russia

³Entomology Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Principal contact

Nadezhda Yu. Oyun, PhD, Senior Researcher,
Martsynovski Institute of Medical Parasitology,
Tropical and Vector-Borne Diseases, Sechenov
University; 20 Malaya Pirogovskaya St, Moscow,
Russia 119435.

Tel. +79647790239

Email nad_oyun@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9279-4386>

How to cite this article

Oyun N.Yu., Shipulin G.A. On the intraspecific hybridization of two invasive mosquito species *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):24-35. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-3

Received 9 December 2024

Revised 16 January 2025

Accepted 20 January 2025

Abstract

Aim. To summarise the results of studies of the problem of interspecific hybridization of blood-sucking mosquitoes *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* and probable consequences of this phenomenon. The review considers the direction of the hybridization process, mechanisms of postcopulatory isolation, hybrid survival and the effect of interspecific hybridisation on the representation of vectors in the sympatry zone.

The study of interspecific hybridization of mosquitoes *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* began in the first half of the 20th century. As a result of *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* mating, females of both species lay nonviable eggs. Mating of virgin females of *Ae. aegypti* with males of *Ae. albopictus* sterilizes females by means of proteins of accessory glands of the male, but the reverse interspecific crossing does not affect the fertility of females of *Ae. albopictus*. This phenomenon is called satyrization (reproductive interference). The satyr effect causes asymmetric parameters of the *Ae. aegypti* population, which can lead to a decrease in the population or extinction of the species in a given territory. However, during long-term interaction in the sympatry zone, females of *Ae. aegypti* become resistant to satyrization.

Satyrization is the most likely cause of competitive displacement of native mosquitoes by invasive species, especially *Ae. albopictus*. Even low levels of asymmetric mating interference can cause competitive displacement of a species or its population decline. Satyrized *Ae. aegypti* populations quickly develop resistance to interspecific mating, which partially offsets the negative effects of reproductive interference and facilitates coexistence with *Ae. albopictus*. *Ae. albopictus* mosquitoes are capable of satyrizing females of other species, which can lead to competitive displacement and possible extinctions, especially of endemic species. Thus, successful satyrization contributes to the ecological success of the invasive *Ae. albopictus*.

Key Words

Bloodsucking mosquitoes, *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus*, vector-borne diseases, interspecific crossing, satyrization, competition.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день во всем мире наблюдается расширение ареала комаров-переносчиков трансмиссивных заболеваний. Наибольший интерес вызывает распространение инвазивных видов *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus*, активно захватывающих новые местообитания, в том числе Черноморское побережье России.

Азиатский тигровый комар *Ae. albopictus* за полвека распространился из тропических лесов Юго-Восточной Азии на все континенты, адаптировавшись к большинству климатических зон [1]. *Ae. albopictus* приурочен в основном к жилым территориям и активно нападает на человека в поисках прокормителя. В Европе этот вид был впервые зарегистрирован в 1979 г. в Албании, позже в Италии и других европейских странах, постоянно расширяя ареал [2]. На территории России *Ae. albopictus* впервые обнаружен на Черноморском побережье в 2011 году [3], далее он довольно быстро заселил все побережье от Новороссийска до Адлера и продвинулся вглубь до Краснодара и гор Кавказа [4-10]. *Ae. albopictus* является переносчиком 22 арбовирусов, включая вирус чикунгунья (CHIKV), четыре серотипа денге (DENV), вирус жёлтой лихорадки (YFV), Росс-Ривер (Ross River) [11]. Так, *Ae. albopictus* ответственен за передачу лихорадки денге на острове Реюньон, на Гавайях, в Габоне и на Маврикии [12-14], а в Южной Азии была отмечена крупная вспышка лихорадки чикунгунья [15].

На европейском континенте *Ae. albopictus* и *Ae. aegypti* встречаются одновременно лишь на территории России [16]. Отметим, что *Ae. aegypti* ранее обитал в России, однако, был истреблен в рамках борьбы с лихорадкой денге [17]. В 2001 году данный вид заселил Черноморское побережье [18, 19], а в 2016 обнаружен на полуострове Крым [20]. Комар *Ae. aegypti*, является основным переносчиком вируса денге и Зика. С ним связывают крупные вспышки лихорадки Зика в Азии, в Малайзии и Бразилии [21, 22]. Данный вид также является переносчиком вируса чикунгунья, и жёлтой лихорадки [7, 23].

В связи с активным расселением инвазивных видов *Ae. albopictus*, *Ae. aegypti* существует угроза возникновения очагов трансмиссивных заболеваний. Поскольку данные виды хорошо приспособлены к обитанию вблизи населенных пунктов, а их личинки способны развиваться в искусственных и временных водоемах, ареалы переносчиков могут перекрываться. Обитая на одной территории, данные виды вступают во взаимодействие, что приводит к разным формам конкуренции. Поскольку *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* являются довольно близкими видами, в зоне вероятной симпатрии довольно высока вероятность их межвидовой гибридизации. Данной проблеме посвящен ряд исследований, в том числе рассматривающих вопросы выживаемости гибридов, механизмы посткопулятивной изоляции, направленность и особенности процесса скрещивания между видами, вероятное влияние межвидового скрещивания на представленность переносчиков в зоне симпатрии.

Целью данного обзора является обобщение результатов исследований, посвященных проблеме межвидовой гибридизации кровососущих комаров *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus* и вероятных последствий данного явления.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из истории изучения вопроса гибридизации эволюционно близких видов *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus* до нас дошли сообщения и публикации, начиная с первой половины XX века. Отметим, что в публикациях разных лет можно встретить старые названия видов *Stegomyia fasciata*, *St. albopicta* и соответственно современные *Ae. aegypti*, *Ae. albopictus*. Далее при цитировании работ мы будем использовать исключительно современные общепринятые названия видов. Первое известное нам сообщение датируется 1913 годом, в котором была описана копуляция комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* из Калькутты, однако, результат ее был непродуктивным [24]. В статье 1930 года, посвященной вопросу передачи лихорадки денге комарами *Ae. albopictus* на Филиппинских островах, сообщается об отсутствии гибридного потомства при скрещивании местных комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* [25]. В 1937–1939 годах опубликованы исследования, согласно которым удалось получить гибриды при реципрокном скрещивании комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* из Индокитая. По наблюдениям автора, гибриды по внешним морфологическим признакам походили на материнских самок в зависимости от варианта скрещивания (*Ae. aegypti* или *Ae. albopictus*). Вместе с тем, скрещивание комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*, происходящих из Калькутты и Индокитая, оказалось непродуктивным [26-29]. В 1939 году сообщалось об успешном скрещивании самки *Ae. albopictus* с самцом *Ae. aegypti*, где потомство по внешним признакам напоминало *Ae. albopictus*, за исключением одного экземпляра [30]. Однако, иных публикаций данного автора, подтверждающих результат в дальнейшем, нами не обнаружено. В 1950 году проведен ряд реципрокных скрещиваний лабораторных линий комаров *Ae. aegypti* X *Ae. albopictus*, где были получены гибридные оплодотворенные яйца и живые личинки от самок *Ae. aegypti* [29]. В результате установлено, что генитальный аппарат гибридного самца не отличается от такового у самца *Ae. albopictus*, а внешняя морфология гибридной личинки четвертой стадии идентична личинке *Ae. albopictus* [29]. В противовес исследованиям, в которых было получено жизнеспособное гибридное потомство, с каждым годом накапливается все больше свидетельств, доказывающих, что межвидовое скрещивание, несмотря на успешную копуляцию, является непродуктивным, поскольку из яиц не вылупляются жизнеспособные личинки [31-34]. Известно, что некоторые из заявленных успехов были результатом ошибок в ходе экспериментов, в то время как другие были приписаны эффекту партеногенетического развития яйцеклетки [35]. Исследование в Малайзии в 1973 году показало, что в экспериментах по массовому спариванию комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* некоторое количество самок от обоих реципрокных скрещиваний производили жизнеспособные яйца, а взрослые особи напоминали своих родителей-самок [36]. Однако, более тщательное обследование показало, что в эксперименте имело место случайное заражение *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*. В результате чистых экспериментов, в которых реципрокно скрещивали самку с гетероспецифическим самцом, самки обоих видов отложили мало яиц, при этом ни одно из яиц не

было жизнеспособным. Однако, было замечено, что скрещивание *Ae. aegypti* X *Ae. albopictus* производит большее количество яиц по сравнению с *Ae. albopictus* X *Ae. aegypti* [36].

Исследование механизма посткопулятивной изоляции и жизнеспособности гибридов, полученных в ходе реципрокного скрещивания лабораторных штаммов *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* началось с 1942 года [31]. Микроскопическое исследование сперматек у самок обоих видов подтвердило в них наличие сперматозоидов. Однако, в яйцах, отложенных самкой *Ae. albopictus*, не наблюдалось эмбрионального развития, а несколько личинок из яиц, отложенных *Ae. aegypti*, погибли в течение нескольких часов после вылупления [31]. В дальнейшем было показано, что между *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* действительно существует сильная репродуктивная изоляция, препятствующая производству жизнеспособных яиц [34, 37]. Так, в лабораторных условиях проведены эксперименты по реципрокному скрещиванию малайзийских комаров *Ae. albopictus* с трансгенной линией *Ae. aegypti* RIDL-513A-Malaysian, несущей доминантный летальный ген (Release of Insect Carrying Dominant Lethal) [37, 38]. Эксперимент предполагал два метода скрещивания: искусственную копуляцию и естественное спаривание в клетке. Проверка сперматек у самок обоих видов по результатам искусственного (принудительного) спаривания выявила в них наличие сперматозоидов (рис. 1). Доля осемененных самок *Ae. albopictus*, участвовавших в скрещивании с самцами *Ae. aegypti* RIDL, составила 33,33 %, а в реципрокном варианте данный показатель для самок *Ae. aegypti* RIDL составил 26,67 %. Суммарное количество яиц от каждого скрещивания насчитывало 340 и 351 соответственно, однако, из яиц личинки так и не

развились. С помощью метода обесцвечивания оболочки яйца было выявлено, что эмбрионизация может происходить в некоторых случаях, но исключительно в яйцах, полученных от самки *Ae. aegypti*, которая спаривалась с самцом *Ae. albopictus* (рис. 2) [37]. В рамках второй части эксперимента проведено естественное реципрокное скрещивание *Ae. albopictus* X *Ae. aegypti* RIDL, в результате которого ни одна из самок *Ae. albopictus* не была оплодотворена, а среди самок *Ae. aegypti* RIDL было осеменено всего 2,22 %. В результате показано, что в эксперименте по естественному спариванию в клетке самка *Ae. aegypti* RIDL, взаимодействовавшая с самцами *Ae. albopictus*, отложила в среднем 295 яиц, что значительно превышает среднее количество яиц, отложенных самкой в эксперименте по принудительному спариванию [37]. Данный результат согласуется с предыдущим исследованием, в котором было получено в среднем 271 яйцо на спаривавшуюся самку [34]. Таким образом, показано, что гибридизация между самками *Ae. aegypti* и самцами *Ae. albopictus* дает больше яиц, нежели между самками *Ae. albopictus* и самцами *Ae. aegypti* как в результате искусственного спаривания, так и при естественной копуляции в клетке. Соотношение производства яиц между самками *Ae. aegypti* и самками *Ae. albopictus* при естественном спаривании составило 10:1. Это также наблюдалось при искусственном спаривании. Эти результаты аналогичны выводам из более ранних работ [33, 36]. Отмечено, что ни одно из скрещиваний не привело к производству жизнеспособных яиц и получению гибридного потомства. Эмбрион в некоторых случаях наблюдался на ранних этапах развития в яйцах, полученных от самок *Ae. aegypti* (рис. 2), однако, последующей дифференциации и развития не происходило [37].

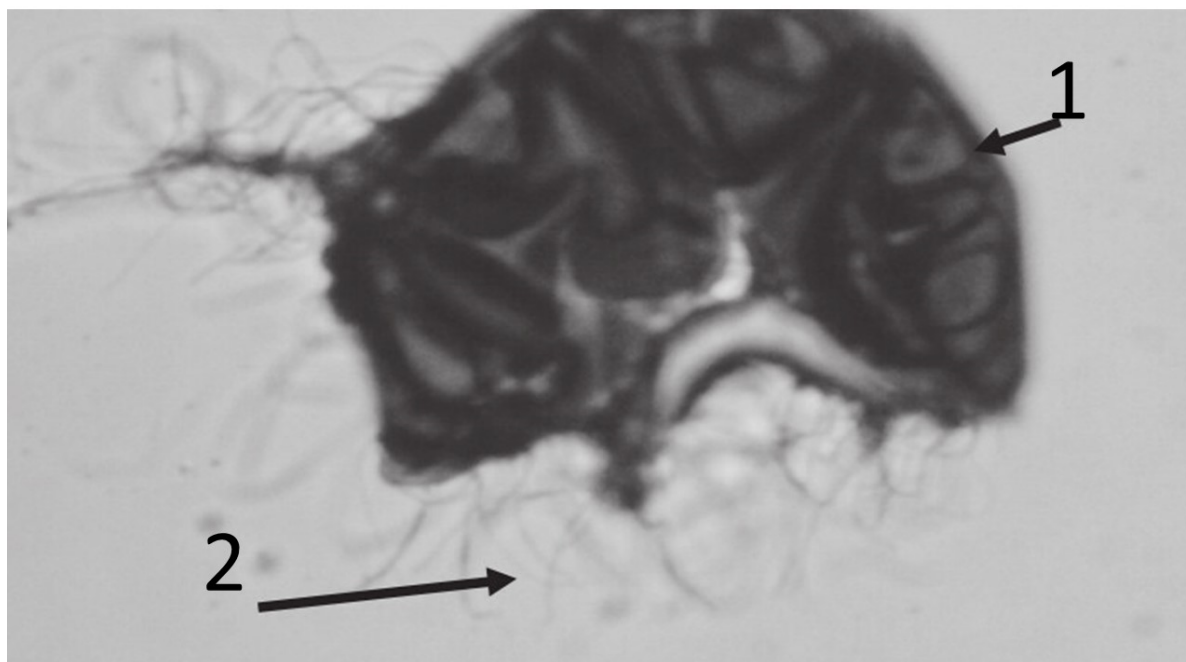


Рисунок 1. Оплодотворенные сперматеки со сперматозоидами [37]: 1 – сперматека; 2 – сперматозоиды

Figure 1. Fertilized spermathecae with spermatozoa [37]: 1 – spermathecae; 2 – spermatozoa

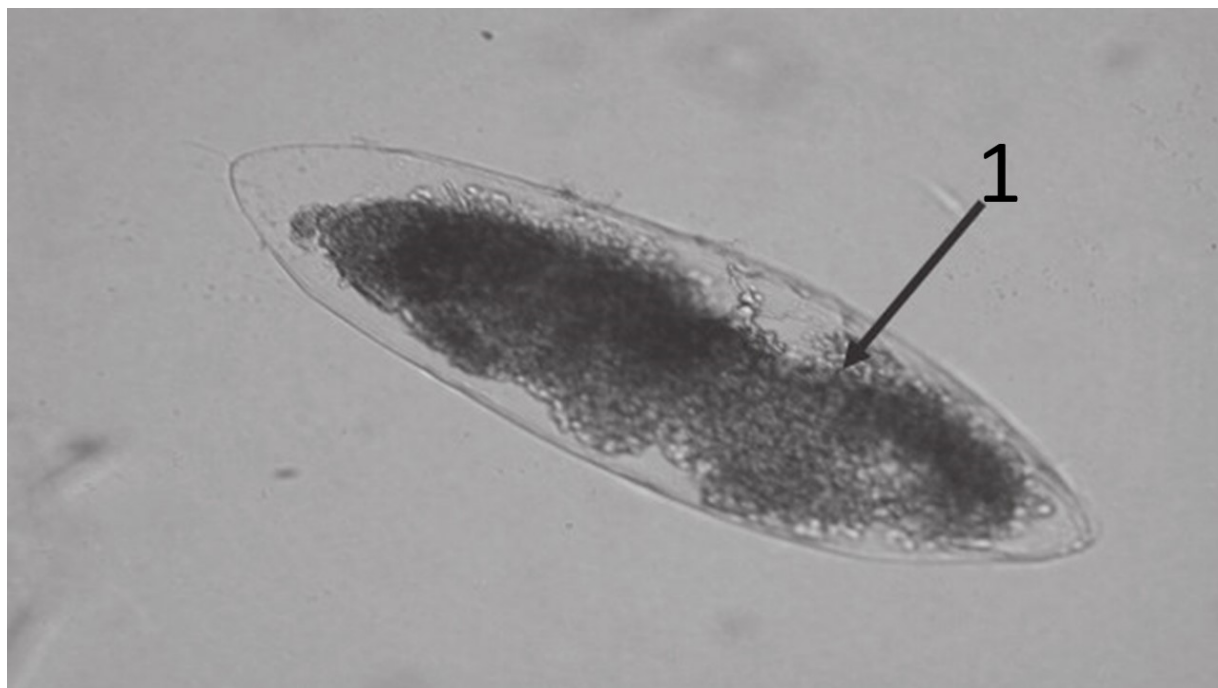


Рисунок 2. Обесцвеченное яйцо, отложенное путем спаривания *Ae. aegypti* X *Ae. albopictus* [37]:

1 – недифференцированный эмбрион

Figure 2. Bleached egg oviposited by mating *Ae. aegypti* X *Ae. albopictus* [37]:

1 – undifferentiated embryo

Согласно результатам ряда исследований, межвидовые скрещивания *Ae. aegypti* X *Ae. albopictus* приводят к появлению нежизнеспособного потомства, но также делают самок невосприимчивыми к дальнейшему спариванию [39-43]. Это обусловлено тем, что придаточные железы самцов вырабатывают белки Acps (Accessory gland proteins), которые во время копуляции передаются вместе со спермой и вызывают у самок противоположного вида рефрактерность к дальнейшему спариванию [39]. Белки Acps оказывают существенное влияние на физиологию и поведение самок: подавляют брачное поведение, исключая возможность последующего спаривания, стимулируют инстинкт поиска прокормителя и откладывание яиц. Кроме того, отмечено изменение циркадных ритмов у самок, а их метаболические процессы перестраиваются, повышая вероятность размножения [44].

Со временем стали появляться данные о различиях в перекрестной реактивности белков Acps между двумя видами, которые по-разному влияют на физиологию самок. Поскольку при спаривании самцы комаров передают белки Acps, которые вызывают рефрактерность к дальнейшему спариванию у самок, этот механизм может объяснить конкурентное вытеснение *Ae. aegypti* с исконных территорий инвазивными комарами *Ae. albopictus*, где они встречаются совместно. Так, в результате видовой диагностики с помощью метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) образцов спермы, выделенных из брюшка 304 осемененных диких самок, собранных в полях Флориды, показано двунаправленное перекрестное спаривание у 5 (1,6 %) особей (рис. 3). Кроме того, перекрестные инъекции самкам белка Acps показали, что, в отличие от самцов *Ae. aegypti*, самцы *Ae. albopictus* индуцируют моногамию у гетероспецифичных самок *Ae. aegypti*. Таким образом, несмотря на низкую частоту встречаемости в исследуемых

районах Флориды, первые свидетельства гетероспецифического скрещивания в природе и асимметричное влияние белков Acps на спаривание позволяют предположить, что межвидовые скрещивания могли способствовать наблюдаемому конкурентному сокращению численности *Ae. aegypti* инвазивным видом *Ae. albopictus* во многих районах [39].

В лабораторных экспериментах в ходе реципрокных скрещиваний комаров показано, что самки *Ae. aegypti* откладывают стерильные яйца после спаривания с самцами *Ae. albopictus* [31, 45]. Это свидетельство того, что белки Acps самца *Ae. albopictus* запускают у самок *Ae. aegypti* реакцию, в результате которой происходит изменение паттерна поведения, характерного периода после оплодотворения – поиск хозяина, питание кровью, оогенез и откладка яиц. Однако, у самок *Ae. albopictus*, взаимодействовавших с самцом *Ae. aegypti*, подобных изменений в поведении не наблюдается [39]. В контролируемом лабораторном исследовании в случае конспецифичного (внутри-видового) скрещивания отмечено, что самки *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* демонстрируют высокие показатели осеменения – 98 % и 94 % соответственно [40]. Однако, межвидовое спаривание демонстрирует интересную асимметрию, где самцам *Ae. albopictus* удалось успешно спариться с самками *Ae. aegypti* в 28 % случаев, в то время как самцы *Ae. aegypti* с самками *Ae. albopictus* по данному показателю достигли лишь 8 %. Межвидовое скрещивание привело к производству нежизнеспособных яиц в малом количестве по сравнению с конспецифическим, в результате которого успешно получено потомство с высокой численностью. Таким образом, *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* могут асимметрично мешать воспроизводству друг друга, вызывая эффект сатира [40].

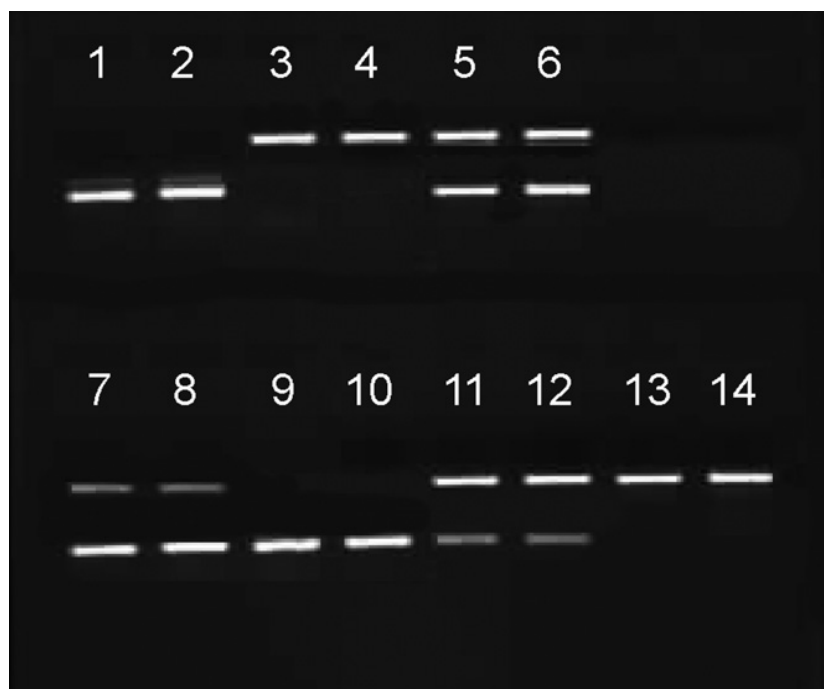


Рисунок 3. Тест чувствительности видоспецифичной полимеразной цепной реакции (ПЦР) [39]: дорожки 1 и 2 содержат ДНК только *Ae. aegypti*; 3, 4 – *Ae. albopictus*; 5, 6 – ДНК *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* в равных количествах; 7–10 – ДНК *Ae. albopictus* и *Ae. aegypti* в соотношении 1/10 и 1/100; 11–14 – ДНК *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* в тех же соотношениях

Figure 3. Test of the sensitivity of the species-specific polymerase chain reaction (PCR) [39]: lanes 1 and 2 contain DNA from *Ae. aegypti* alone; 3, 4 – *Ae. albopictus*; 5, 6 – DNA from *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* in equal amounts; 7–10 – DNA from *Ae. albopictus* and *Ae. aegypti* in 1/10 and 1/100; 11–14 – DNA from *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* in the same ratios

Сатиризация, или репродуктивная интерференция – форма вмешательства в спаривание, при которой самцы одного вида спариваются с самками другого вида, что приводит к снижению репродуктивного успеха одного или обоих видов и не приводит к образованию гибридов. Данное явление часто встречается у близких видов, которые эволюционно разошлись относительно недавно. Наиболее важным следствием репродуктивной интерференции является сокращение размеров популяции. Понятие «сатир» было введено в 1986 году в рамках модели, предсказывающей вероятность парапатрии и вымирания вида [46]. Под сатиром понимается любой самец, который успешно спаривается и снижает репродуктивный успех самки другого вида или популяции. Модель описывает вероятность взаимодействий потенциально скрещивающихся видов, которые изначально были изолированы в пространстве, но в итоге стали занимать перекрывающиеся ниши. Модель включает в себя межвидовую конкуренцию Лотки-Вольтерры, логистические кривые роста, эффект сатира и учитывает расселение популяций. Параметр сатира определяет степень перекрытия ниш спаривания между двумя видами таким же образом, как константы Лотки-Вольтерры описывают соответствующие степени перекрытия трофических ниш [47]. Как парапатрия, так и вымирание могут происходить при наличии асимметричных параметров популяции в зависимости от характеристик расселения взаимодействующих видов: при малых константах миграции прогнозируется парапатрия, тогда как вымирание происходит при больших значениях. Вымирание вида может быть

результатом только репродуктивной конкуренции вследствие сатиризации [46, 47]. Таким образом, сатиризация подчеркивает довольно сложную динамику взаимодействий между видами и влияние экологической конкуренции между комарами-переносчиками.

Поскольку два вида не могут одновременно занимать одну нишу, то вследствие межвидовой конкуренции неизбежно происходит сокращение популяции одного из них. Примером конкурентного вытеснения между переносчиками является быстрое сокращение ареала и численности *Ae. aegypti* [48, 49] после вторжения и распространения *Ae. albopictus* в юго-восточной части США в 1980-х годах [50]. Среди возможных механизмов выдвигалась гипотеза личиночной конкуренции за ресурсы [51, 52], которая, однако, она не может приводить к столь быстрому сокращению *Ae. aegypti* в течение 1–3 лет [33, 39, 50]. Аналогичная картина конкурентного смещения была отмечена на Бермудских островах, где *Ae. albopictus* вытеснил *Ae. aegypti* с сопоставимой скоростью [53]. В дополнение к личиночной конкуренции, выдвигались другие гипотезы, объясняющие эти смещения следствием репродуктивной эффективности *Ae. albopictus* [54], а также гипотеза асимметричной репродуктивной интерференции (сатиризации) между *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* [33, 55]. Отметим, что репродуктивная эффективность *Ae. albopictus* не объясняет в полной мере столь быстрое снижение численности *Ae. aegypti*, поскольку полезна в долгосрочной перспективе. Напротив, сатиризация, при которой самцы одного вида спариваются с самками

близкородственного вида, не производя жизнеспособного потомства [46, 47], как было показано, является наиболее сильным механизмом подавления популяции и при определенных обстоятельствах может привести к вымиранию популяции [46]. Особенно заметен механизм репродуктивной интерференции у видов рода *Aedes*, а именно *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* [39, 56-59]. Наиболее важным следствием репродуктивной интерференции являлось сокращение размеров популяции. Во Флориде, США, замена *Ae. aegypti* на *Ae. albopictus* произошла из-за репродуктивной интерференции [33, 39, 60]. Аналогичным образом в США и Бермудских островах сокращение популяции комаров *Ae. aegypti* было связано с появлением комаров *Ae. albopictus* [33, 53]. В Афинах местный вид *Ae. cretinus* был смещен инвазивным *Ae. albopictus*, который расширил свой ареал [59]. На территории России с 2011 года инвазивный *Ae. albopictus* активно распространяется вдоль и вглубь Черноморского побережья, конкурируя с *Ae. aegypti* [4, 5, 8]. Регистрируемое падение численности и встречаемости *Ae. aegypti* связывают с личиночной конкуренцией, а также не исключают вероятность сатиризации [7]. Вместе с тем, *Ae. albopictus* не смог установить свое превосходство над *Ae. aegypti* в некоторых тропических местах, таких как Бангкок, Куала-Лумпур, Манила, южный Тайвань и колумбийский порт Летисия [61].

Поскольку гетероспецифичное спаривание с самцом *Ae. albopictus* является чрезвычайно затратным для самок *Ae. aegypti*, так как приводит к их стерилизации и потере репродуктивного потенциала, эволюционно появлялись механизмы устойчивости к сатиризации. Так, в эксперименте [62] самки *Ae. aegypti* из аллопатрических или симпатрических популяций подвергались воздействию самцов *Ae. albopictus* из аллопатрических или симпатрических популяций, и наоборот. После 3 недель воздействия межвидовых или внутривидовых самцов самки были вскрыты для подтверждения осеменения. В результате установлено, что самки *Ae. aegypti* из популяций во Флориде, находящиеся в симпатрии с *Ae. albopictus* в течение последних 20 лет, были значительно менее склонны к спариванию с гетероспецифическими самцами, чем близлежащие аллопатрические популяции [62]. Таким образом, симпатрические популяции *Ae. aegypti* обладают определенной степенью устойчивости к межвидовому скрещиванию, нежели географически изолированные популяции. Схожие результаты были получены при скрещивании *Ae. albopictus* и *Ae. aegypti*, собранных в аллопатрических и симпатрических районах Китая [63]. Показано, что в этих популяциях происходит асимметричное межвидовое спаривание, причем спаривания между аллопатрическими самцами *Ae. albopictus* и самками *Ae. aegypti* были значительно выше (55,2 %), чем между самцами *Ae. aegypti* и самками *Ae. albopictus* (27,0 %), в то время как симпатрические популяции показали схожее, но более низкое значение – 25,7 % против 6,2 % соответственно. В эксперименте по скрещиванию аллопатрической линии *Ae. aegypti* из Аризоны (США), где *Ae. albopictus* не встречается, самки *Ae. aegypti* были изначально восприимчивы к сатиризации [42]. Однако, в данной линии, наблюдалось быстрое снижение частоты репродуктивной интерференции в течение 1–3 поколений. Кроме того, самки *Ae. aegypti*, отобранные

по устойчивости к сатиризации, значительно медленнее спаривались с самцами своего вида, что указывает на высокую стоимость эволюции устойчивости к сатиризации. Результаты показывают, как быстро развиваются межвидовые взаимодействия между этими видами-переносчиками [42].

Сложное взаимодействие между межвидовым спариванием и репродуктивным вмешательством у комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* имеет глубокие последствия для их сосуществования и динамики популяций, что в свою очередь распространяется на более широкую проблему общественного здравоохранения [64]. Основные последствия спаривания между этими двумя видами: снижение показателей осеменения, снижение производства яиц, снижение показателей вылупления яиц. Показатель осеменения служит для оценки производительности самцов, однако, влияние предпочтений самок на результаты спаривания остается менее понятным [40]. Самки *Ae. aegypti* демонстрируют более высокую эффективность в спаривании с самцами *Ae. albopictus* по сравнению с обратным сценарием [34]. Поведение самцов играет ключевую роль в межвидовом спаривании, при этом самцы *Ae. albopictus* демонстрируют более высокую активность чем *Ae. aegypti*. Межвидовое спаривание приводит к формированию бесплодных яиц. Спаривание между самкой *Ae. aegypti* и самцом *Ae. albopictus* дает больше яиц по сравнению с обратным спариванием. Самцы *Ae. albopictus* могут спариваться с самками обоих видов, хотя и с предпочтением к партнерам своего вида, что указывает на способность самок *Ae. albopictus* различать самцов своего и другого вида. Самки *Ae. aegypti*, по-видимому, лишены этой способности к различению. Результат межвидового спаривания имеет решающее значение, поскольку приводит к образованию бесплодных яиц, особенно когда самки *Ae. aegypti* спариваются с самцами *Ae. albopictus*. Таким образом, репродуктивное вмешательство налагает значительные издержки на приспособленность, потенциально приводя к перемещению популяции [41].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ae. aegypti и *Ae. albopictus* – два наиболее важных переносчика вирусов денге и чикунгунья для людей, часто контактируют в своих инвазивных диапазонах. Имея общий ареал обитания, эти близкие виды могут вступать в межвидовое скрещивание, которое приводит к откладке нежизнеспособных яиц. Сатиризация является наиболее вероятной причиной конкурентных вытеснений местных комаров инвазивными видами, особенно *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*.

Математические модели предсказывают, что даже низкие уровни асимметричного вмешательства в спаривание способны вызывать конкурентное вытеснение вида или сокращение его популяции. Спаривание девственных самок *Ae. aegypti* с самцами *Ae. albopictus* эффективно стерилизует самок посредством белков придаточных желез самца, но обратное межвидовое скрещивание не влияет на фертильность самок *Ae. albopictus*. Популяции *Ae. aegypti*, подвергшиеся сатиризации, быстро вырабатывают устойчивость к межвидовому спариванию, что снимает отрицательное действие репродуктивного вмешательства и способствует сосуществованию с *Ae. albopictus*. Формирование

резистентности к эффекту сатиризации у *Ae. aegypti* сопровождается снижением плодовитости и более медленной восприимчивостью к самцам своего вида. Лабораторные эксперименты и полевые наблюдения показывают, что самцы *Ae. albopictus* способны сатиризовать самок других видов, что может привести к конкурентным смещениям и возможным вымираниям, особенно эндемичных видов. Изучение других примеров репродуктивного вмешательства у комаров-переносчиков выявляет мало параллелей с механизмом и результатами столь успешной сатиризации *Ae. albopictus*, которая, судя по результатам многочисленных исследований, способствует экологическому успеху данного инвазивного вида.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-25-00533, <https://rscf.ru/project/23-25-00533/>.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out with the support of Russian Science Foundation grant № 23-25-00533, <https://rscf.ru/en/project/23-25-00533/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Campbell L.P., Luther C., Moo-Llanes D., Ramsey J.M., Danis-Lozano R., Peterson A.T. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2015. V. 370. N 20140135. <https://www.doi.org/10.1098/rstb.2014.0135>
- Medlock J.M., Hansford K.M., Versteir V., Cull B., Kampen H., Fontenille D., Hendrickx G., Zeller H., Van Bortel W., Schaffner F. An entomological review of invasive mosquitoes in Europe // *Bull Entomol Res*. 2015. V. 105. N 6. P. 637-663. <https://www.doi.org/10.1017/S0007485315000103>
- Ganushkina L.A., Tanygina E. Iu., Bezzhonova O.V., Sergiev V.P. Detection of *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skus. mosquitoes in the Russian Federation // *Med Parazitol (Mosk)*. 2012. N 1. C. 3-4. (In Russian)
- Ganushkina L.A., Bezzhonova O.V., Patraman I.V., Tanygina E. Iu., Sergiev V.P. Distribution of *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. and *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skus. mosquitoes on the Black Sea coast of the Caucasus // *Med Parazitol (Mosk)*. 2013. N 1. C. 45-46. (In Russian)
- Ganushkina L.A., Morozova L.F., Patraman I.V., Sergiev V.P. Assessment of the risk of expansion of the habitats of the mosquitoes *Aedes aegypti* L. and *Aedes albopictus* Skus. in Russia // *Med Parazitol (Mosk)*. 2014. N 4. C. 8-10. (In Russian)
- Konorov E.A., Yurchenko V.Yu., Patraman I.V., Lukashev A.N., Oyun N.Yu. The effects of genetic drift and genomic selection on differentiation and local adaptation of the introduced populations of *Aedes albopictus* in southern Russia // *PeerJ*. 2021. V. 9. P. e11776 <https://www.doi.org/10.7717/peerj.11776>
- Shaikevich E.V., Patraman I.V., Bogacheva A.S., Rakova V.M., Zelya O.P., Ganushkina L.A. Invasive mosquito species *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* on the Black Sea coast of the Caucasus: genetics (COI, ITS2), *Wolbachia* and *Dirofilaria immitis* // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. V. 22. N 5. P. 574-585. <https://www.doi.org/10.18699/VJ18.397>
- Ganushkina L.A., Patraman I.V., Rezza G., Migliorini L., Litvinov S.K., Sergiev V.P. Detection of *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* in the Area of Sochi, Russia // *Vector Borne Zoonotic Dis*. 2016. V. 16. N 1. P. 58-60. <https://www.doi.org/10.1089/vbz.2014.1761>
- Fedorova M.V., Shvets O.G., Yunicheva Yu.V., Medyanik I.M., Ryabova T.E., Otstavnova A.D. Dissemination of invasive Mosquito species, *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L., 1762) and *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1895) in the South of Krasnodar region, Russia // *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2018. N 2. C. 101-105. (In Russian) <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2018-2-101-105>
- Fedorova M.V., Shvez O.G., Patraman I.V., Medyanik I.M., Otstavnova A.D., Lenshin S.V., Vyshemirsky O.I. Invasive mosquito species of the Black Sea coast of the Caucasus: current ranges. *Med Parazitol (Mosk)*. 2019. N 1. C. 47-55. (In Russian) <https://www.doi.org/10.33092/0025-8326mp2019.1.47-55>
- Gratz N.G. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus* // *Med Vet Entomol*. 2004. V. 18. N 3. P. 215-27. <https://www.doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00513.x>
- Effler P.V., Pang L., Kitsutani P. Dengue fever, Hawaii, 2001-2002 // *Emerg Infect Dis*. 2005. V. 11. N 5. P. 742-749. <https://www.doi.org/10.3201/eid1105.041063>
- Pierre V., Thiria J., Rachou E., Sissoko D., Lassalle C., Renault P. Epidémie de dengue 1 à la Réunion en 2004. Paris. Journées de veille sanitaire. 2005. Abstract book pp64. Available at: http://www.invs.sante.fr/publications/2005/jvs_2005/poster_13.pdf.
- Ramchurn S.K., Moheeput K., Goorah S.S. An analysis of a short-lived outbreak of dengue fever in Mauritius // *Euro Surveill*. 2009. V. 14. N 34. P. 19314. <https://www.doi.org/10.2807/ese.14.34.19314-en>
- Burt F.J., Rolph M.S., Rulli N.E., Mahalingam S., Heise M.T. Chikungunya: a re-emerging virus // *Lancet*. 2012. V. 379. N 9816. P. 662-671. [https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60281-X](https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60281-X)
- Ganushkina L.A., Morozov E.N., Patraman I.V., Vyshemirsky O.I., Agumava A.A. Assessment of risk for arbovirus infections in Russia // *Med Parazitol (Mosk)*. 2017. N 1. C. 9-14. (In Russian)
- Marzinovsky E.I. Measures against dengue fever in Russia // *Russian Journal of Tropical Medicine, Medical and Veterinary Parazitology*. 1929. V. 7. N 3. C. 162-165. (In Russian)
- Riabova T.E., Iunicheva Iu.V., Markovich N.Ia., Ganushkina L.A., Orabeĭ V.G., Sergiev V.P. Detection of *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. mosquitoes in Sochi city // *Med Parazitol (Mosk)*. 2005. N 3. C. 3-5. (In Russian)
- Yunicheva Yu.V., Ryabova T.Ye., Markovich N.Ya., Bezzhonova O.V., Ganushkina L.A. First evidence for breeding *Aedes aegypti* L. in the area of Greater Sochi and in some towns of Abkhazia // *Med Parazitol (Mosk)*. 2008. N 3. C. 40-43. (In Russian)
- Ganushkina L., Lukashev A., Patraman I., Razumeyko V., Shaikevich E. Detection of the Invasive Mosquito Species *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Hulecoeteomyia) koreicus* on the Southern Coast of the Crimean Peninsula // *J Arthropod Borne Dis*. 2020. V. 14. N 3. P. 270-276. <https://www.doi.org/10.18502/jad.v14i3.4560>
- Olson J.G., Ksiazek T.G., Suhandiman, Triwibowo. Zika virus, a cause of fever in Central Java, Indonesia // *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 1981. V. 75. no 3. P. 389-393. [https://www.doi.org/10.1016/0035-9203\(81\)90100-0](https://www.doi.org/10.1016/0035-9203(81)90100-0)

22. Yakob L., Walker T. Zika virus outbreak in the Americas: the need for novel mosquito control methods // *Lancet Glob Health*. 2016. V. 4. N 3. P. e148-e149. [https://www.doi.org/10.1016/S2214-109X\(16\)00048-6](https://www.doi.org/10.1016/S2214-109X(16)00048-6)
23. Jeffries C.L., Walker T. *Wolbachia* biocontrol strategies for arboviral diseases and the potential influence of resident *Wolbachia* strains in mosquitoes // *Curr Trop Med Rep*. 2016. V. 3. P. 20-25. <https://www.doi.org/10.1007/s40475-016-0066-2>
24. MacGilchrist A.C. *Stegomyia* Survey, Port, of Calcutta Proc. // 3rd Meeting General Malaria Comm. Madras. 18-20 Nov. 1912. Simla. 1913. P. 193-196.
25. Bhatt S., Gething P.W., Brady O.J., Messina J.P., Farlow A.W. The global distribution and burden of dengue // *Nature*. 2013. V. 496. N 7446, P. 504-547. <https://www.doi.org/10.1038/nature12060>
26. Toumanoff C. Essais Preliminaires de'intercroisement de *St. albopicta* Sk. avec. *St. argentea* Poirer. // *Bull. Soc. Med. Chr. Indochine*. 1937. V. 15. N 8. P. 964-970.
27. Toumanoff C. Nouveaux faits au sujet de l'intercroisement de *St. albopicta* Skuse avec. *St. argentea* (*S. fasciata*), Theob. // *Rev. Med. franc. Extr. Orient*. 1938. V. 17. N 4. P. 365-368.
28. Toumanoff C. Les. races geographiques de *St. fasciatus* et *St. albopictus* et leur intercroisement // *Bull. Soc. Path. exot*. 1939. V. 32. N 5. P. 505-509.
29. Bonnet D.D. The hybridization of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Hawaii // *Proceedings of Hawaii Entomology Society*. 1950. V. 14. N 1. P. 35-39.
30. Try. H.T. Essai de croisement de *St. albopicta* de *St. fasciata*, en espace restraints // *Bull. Soc. Path. exot*. 1939. V. 32. N 5. P. 511-513.
31. De Buck A. Kreuzungsversuche mit *Stegomyia fasciatus* Fabricius und *S. albopicta*, Skuse // *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*. 1942. V. 29. N 2. P. 309-312.
32. Rozeboom L.E., Kitzmiller J.B. Hybridization and speciation in mosquitoes // *Annual Reviews of Entomology*. 1959. V. 3. P. 231-248.
33. Nasci R.S., Hare S.G., Willis F.S. Interspecific mating between Louisiana strains of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the field and laboratory // *J Am Mosq Control Assoc*. 1989. V. 5. N 3. P. 416-421.
34. Nazni W.A., Lee H.L., Dayang H.A.B., Azahari A.H. Cross-mating between Malaysian strains of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the laboratory // *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 2009. V. 40. N 1. P. 40-6.
35. Thomas V., Leng Y.P. Hybridization between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Malaysia // *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*. 1973. V. 4. N 2. P. 226-230.
36. Downs W.G., Baker R.H. Experiments in crossing *Aedes (Stegomyia) aegypti* Linnaeus and *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse // *Science*. 1949. V. 109. N 2826. P. 200-201.
37. Lee H.L., Aramu M., Nazni W.A., Selvi S., Vasan S. No evidence for successful interspecific cross-mating of transgenic *Aedes aegypti* (L.) and wild type *Aedes albopictus* Skuse // *Trop Biomed*. 2009. V. 26. N 3. P. 312-9. <https://www.doi.org/10.1093/jmedent/32.4.554>.
38. Alphey L. Re-engineering the sterile insect technique // *Insect Biochem Mol Biol*. 2002. V. 32. N 10. P. 1243-1247. [https://www.doi.org/10.1016/S0965-1748\(02\)00087-5](https://www.doi.org/10.1016/S0965-1748(02)00087-5)
39. Triplet F., Lounibos L.P., Robbins D., Moran J., Nishimura N., Blosser E.M. Competitive reduction by satyriation? Evidence for interspecific mating in nature and asymmetric reproductive competition between invasive mosquito vectors // *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 2011. V. 85. N 2. P. 265-270. <https://www.doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0677>
40. Hasan T., Afrin S., Sultana A., Islam A. Asymmetrical reproductive interference between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Implications for coexistence // *J Vector Borne Dis*. 2024. V. 61. N 4. P. 547-554. https://www.doi.org/10.4103/JVBD.JVBD_40_24
41. Bargielowski I., Blosser E., Lounibos L.P. The Effects of interspecific courtship on the mating success of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) males // *Annals of the Entomological Society of America*. 2015. V. 108. N 4. P. 513-518. <https://doi.org/10.1093/aesa/sav037>
42. Bargielowski I., Lounibos L.P. Rapid evolution of reduced receptivity to interspecific mating in the dengue vector *Aedes aegypti* in response to satyriation by invasive *Aedes albopictus* // *EV. Ecol*. 2014. V. 28. N 1. P. 193-203. <https://www.doi.org/10.1007/s10682-013-9669-4>
43. Bargielowski I.E., Lounibos L.P. Satyriation and satyriation-resistance in competitive displacements of invasive mosquito species // *Insect Sci*. 2016. V. 23. N 2. P.162-174. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12291>
44. Klowden M.J. The check is in the male: male mosquitoes affect female physiology and behavior // *J Am Mosq Control Assoc*. 1999. V. 15. N 2. P. 213-220.
45. Leahy M.G., Craig G.B., Accessory gland substance as a stimulant for oviposition in *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* // *Mosq News*. 1965. V. 21. P. 448-452.
46. Ribeiro J.M., Spielman A. The satyr effect: a model predicting parapatry and species extinction // *Am Nat*. 1986. V. 128. P. 513 – 528.
47. Ribeiro J.M. Can satyrs control pests and vectors? // *Journal of Medical Entomology*. 1988. V. 25. N 6. P. 431-440. <https://doi.org/10.1093/jmedent/25.6.431>
48. Hobbs J.H., Hughes E.A., Eichold B.H., 2nd, Replacement of *Aedes aegypti* by *Aedes albopictus* in Mobile, Alabama // *J Am Mosq Control Asso*. 1991. V. 7. N. 3. P. 488-489.
49. O'Meara G.F., Evans L.F. Jr, Gettman A.D., Cuda J.P. Spread of *Aedes albopictus* and decline of *Ae. aegypti* (Diptera: Culicidae) in Florida // *J Med Entomol*. 1995. V. 32. N 4. P.554-562. <https://www.doi.org/10.1093/jmedent/32.4.554>.
50. Hawley W.A., Reiter P., Copeland R.S., Pumpuni C.B., Craig G.B. Jr. *Aedes albopictus* in North America: probable introduction in used tires from northern Asia // *Science*. 1987. V. 236. N. 4805. P. 1114-1116. <https://www.doi.org/10.1126/science.3576225>
51. Juliano, S.A., Species introduction and replacement among mosquitoes: interspecific resource competition or apparent competition? // *Ecology*. 1998. V. 79. N 1. P. 255-268.
52. Juliano S.A., Lounibos L.P. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health // *Ecol Lett*. 2005. V. 8. N 5. P. 558-574. <https://www.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00755>
53. Kaplan L., Kendell D., Robertson D., Livdahl T., Khatchikian C. *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Bermuda: extinction, invasion, invasion and extinction // *Biological invasions*. 2010. V. 12. P. 3277-3288. <https://www.doi.org/10.1007/s10530-010-9721-z>
54. Klowden M.J., Chambers G.M. Reproductive and metabolic differences between *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae) // *J Med Entomol*. 1992. V. 29. N 3. P. 467-71. <https://www.doi.org/10.1093/jmedent/29.3.467>.
55. Lounibos L.P. Competitive displacement and reduction // *J Am Mosq Control Assoc*. 2007. V. 23. N 2. P. 276-82.

56. Mitchell C., Leigh S., Alphey L., Haerty W., Chapman T. Reproductive interference and satyrization: mechanisms, outcomes and potential use for insect control // *J Pest Sci.* (2004). 2022. V. 95. N 3. P. 1023-1036. <https://www.doi.org/10.1007/s10340-022-01476-6>
 57. Paton R.S., Bonsall M.B., The ecological and epidemiological consequences of reproductive interference between the vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* // *J R Soc Interface.* 2019. V. 16. N 156. P. 20190270. <https://www.doi.org/10.1098/rsif.2019.0270>
 58. Bargielowski I.E., Lounibos L.P., Shin D., Smartt C.T., Carrasquilla M.C., Henry A., Navarro J.C., Paupy C., Dennett J.A. Widespread evidence for interspecific mating between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in nature // *Infect Genet Evol.* 2015. V. 36. P. 456-461. <https://www.doi.org/10.1016/j.meegid.2015.08.016>
 59. Giatropoulos A., Papachristos D.P., Koliopoulos G., Michaelakis A., Emmanouel N. Asymmetric mating interference between two related mosquito species: *Aedes (Stegomyia) albopictus* and *Aedes (Stegomyia) cretinus* // *PLoS One.* 2015. V. 10. N. 5. P. e0127762. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0127762>
 60. Sultana A., Sunahara T., Tsurukawa C., Tuno N. Reproductive interference between *Aedes albopictus* and *Aedes flavopictus* at a place of their origin // *Med Vet Entomol.* 2021. V. 35. N 1. P. 59-67. <https://www.doi.org/10.1111/mve.12469>
 61. Lounibos L.P., Juliano S.A. Where Vectors Collide: the importance of mechanisms shaping the realized niche for modeling ranges of invasive *Aedes* mosquitoes // *Biol Invasions.* 2018. V. 20. N 8. P. 1913-1929. <https://www.doi.org/10.1007/s10530-018-1674-7>
 62. Bargielowski I.E., Lounibos L.P., Carrasquilla M.C. Evolution of resistance to satyrization through reproductive character displacement in populations of invasive dengue vectors // *Proc Natl Acad Sci USA.* 2013. V. 110. N 8. P. 2888-2892. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.1219599110>
 63. Zhou J., Liu S., Liu H., Xie Z., Liu L. Interspecific mating bias may drive *Aedes albopictus* displacement of *Aedes aegypti* during its range expansion // *PNAS Nexus.* 2022. V. 1. N 2. P.:pgac041. <https://www.doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac041>
 64. Weetman D., Kamgang B., Badolo A., Moyes C.L., Shearer F.M. *Aedes* mosquitoes and *Aedes*-borne arboviruses in Africa: current and future threats // *Int J Environ Res Public Health.* 2018. V. 15. N 2. P. 220. <https://www.doi.org/10.3390/ijerph15020220>
- #### REFERENCES
1. Campbell L.P., Luther C., Moo-Llanes D., Ramsey J.M., Danis-Lozano R., Peterson A.T. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2015, vol. 370, no. 20140135. <https://www.doi.org/10.1098/rstb.2014.0135>
 2. Medlock J.M., Hansford K.M., Versteirt V., Cull B., Kampen H., Fontenille D., Hendrickx G., Zeller H., Van Bortel W., Schaffner F. An entomological review of invasive mosquitoes in Europe. *Bull Entomol Res*, 2015, vol. 105, no 6, pp. 637-663. <https://www.doi.org/10.1017/S0007485315000103>
 3. Ganushkina L.A., Tanygina E.Iu., Bezzhonova O.V., Sergiev V.P. Detection of *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skus. mosquitoes in the Russian Federation. *Med Parazitol (Mosk)*, 2012, no. 1, pp. 3-4. (In Russian)
 4. Ganushkina L.A., Bezzhonova O.V., Patraman I.V., Tanygina E.Iu., Sergiev V.P. Distribution of *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. and *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skus. mosquitoes on the Black Sea coast of the Caucasus. *Med Parazitol (Mosk)*, 2013, no. 1, pp. 45-46. (In Russian)
 5. Ganushkina L.A., Morozova L.F., Patraman I.V., Sergiev V.P. Assessment of the risk of expansion of the habitats of the mosquitoes *Aedes aegypti* L. and *Aedes albopictus* Skus. in Russia. *Med Parazitol (Mosk)*, 2014, no. 4, pp. 8-10. (In Russian)
 6. Konorov E.A., Yurchenko V.Yu., Patraman I.V., Lukashev A.N., Oyun N.Yu. The effects of genetic drift and genomic selection on differentiation and local adaptation of the introduced populations of *Aedes albopictus* in southern Russia. *PeerJ.* 2021. V. 9. P. e11776 <https://www.doi.org/10.7717/peerj.11776>
 7. Shaikovich E.V., Patraman I.V., Bogacheva A.S., Rakova V.M., Zelya O.P., Ganushkina L.A. Invasive mosquito species *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* on the Black Sea coast of the Caucasus: genetics (COI, ITS2), *Wolbachia* and *Dirofilaria immitis* infections. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 574-585. <https://www.doi.org/10.18699/VJ18.397>
 8. Ganushkina L.A., Patraman I.V., Rezza G., Migliorini L., Litvinov S.K., Sergiev V.P. Detection of *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes koreicus* in the Area of Sochi, Russia. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 58-60. <https://www.doi.org/10.1089/vbz.2014.1761>
 9. Fedorova M.V., Shvets O.G., Yunicheva Yu.V., Medyanik I.M., Ryabova T.E., Otstavnova A.D. Dissemination of invasive Mosquito species, *Aedes (Stegomyia) aegypti* (L., 1762) and *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1895) in the South of Krasnodar region, Russia. *Problems of Particularly Dangerous Infections*, 2018, no. 2, pp. 101-105. (In Russian) <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2018-2-101-105>
 10. Fedorova M.V., Shvez O.G., Patraman I.V., Medyanik I.M., Otstavnova A.D., Lenshin S.V., Vyshemirsky O.I. Invasive mosquito species of the Black Sea coast of the Caucasus: current ranges. *Med Parazitol (Mosk)*, 2019, no. 1, pp. 47-55. (In Russian) <https://www.doi.org/10.33092/0025-8326mp2019.1.47-55>
 11. Gratz N.G. Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol*, 2004, vol. 18, no. 3, pp. 215-27. <https://www.doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00513.x>
 12. Effler P.V., Pang L., Kitsutani P. Dengue fever, Hawaii, 2001–2002. *Emerg Infect Dis*, 2005, vol. 11, no. 5, pp. 742-749. <https://www.doi.org/10.3201/eid1105.041063>
 13. Pierre V., Thiria J., Rachou E., Sissoko D., Lassalle C., Renault P. Epidémie de dengue 1 à la Réunion en 2004. Paris, Journées de veille sanitaire, 2005, Abstract book pp64. Available at: http://www.invs.sante.fr/publications/2005/jvs_2005/poster_13.pdf.
 14. Ramchurn S.K., Moheeput K., Goorah S.S. An analysis of a short-lived outbreak of dengue fever in Mauritius. *Euro Surveill*, 2009, vol. 14, no. 34, pp. 19314. <https://www.doi.org/10.2807/ese.14.34.19314-en>
 15. Burt F.J., Rolph M.S., Rulli N.E., Mahalingam S., Heise M.T. Chikungunya: a re-emerging virus. *Lancet*, 2012, vol. 379, no. 9816, pp. 662–671. [https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60281-X](https://www.doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60281-X)
 16. Ganushkina L.A., Morozov E.N., Patraman I.V., Vyshemirsky O.I., Agumava A.A. Assessment of risk for arbovirus infections in Russia. *Med Parazitol (Mosk)*, 2017, no. 1, pp. 9-14. (In Russian)

17. Marzinovsky E.I. Measures against dengue fever in Russia. *Russian Journal of Tropical Medicine, Medical and Veterinary Parasitology*, 1929, vol. 7, no. 3, pp. 162-165. (In Russian)
18. Riabova T.E., Lunicheva Iu.V., Markovich N.Ia., Ganushkina L.A., Orabeĭ V.G., Sergiev V.P. Detection of *Aedes (Stegomyia) aegypti* L. mosquitoes in Sochi city. *Med Parazitol (Mosk)*, 2005, no. 3, pp. 3-5. (In Russian)
19. Yunicheva Yu.V., Ryabova T.Ye., Markovich N.Ya., Bezzhonova O.V., Ganushkina L.A. First evidence for breeding *Aedes aegypti* L. in the area of Greater Sochi and in some towns of Abkhazia. *Med Parazitol (Mosk)*, 2008, no. 3, pp. 40-43. (In Russian)
20. Ganushkina L., Lukashev A., Patraman I., Razumeyko V., Shaikovich E. Detection of the Invasive Mosquito Species *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Hulecoeteomyia) koreicus* on the Southern Coast of the Crimean Peninsula. *J Arthropod Borne Dis*, 2020, vol. 14, no. 3, pp. 270-276. <https://www.doi.org/10.18502/jad.v14i3.4560>
21. Olson J.G., Ksiazek T.G., Suhandiman, Triwibowo. Zika virus, a cause of fever in Central Java, Indonesia. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1981, vol. 75, no 3, pp. 389-393. [https://www.doi.org/10.1016/0035-9203\(81\)90100-0](https://www.doi.org/10.1016/0035-9203(81)90100-0)
22. Yakob L., Walker T. Zika virus outbreak in the Americas: the need for novel mosquito control methods. *Lancet Glob Health*, 2016, vol. 4, no. 3, pp. e148-e149. [https://www.doi.org/10.1016/S2214-109X\(16\)00048-6](https://www.doi.org/10.1016/S2214-109X(16)00048-6)
23. Jeffries C.L., Walker T. *Wolbachia* biocontrol strategies for arboviral diseases and the potential influence of resident *Wolbachia* strains in mosquitoes. *Curr Trop Med Rep*, 2016, vol. 3, pp. 20-25. <https://www.doi.org/10.1007/s40475-016-0066-2>
24. MacGilchrist A.C. *Stegomyia* Survey, Port, of Calcutta Proc. 3rd Meeting General Malaria Comm. Madras, 18-20 Nov, 1912. Simla, 1913, pp. 193-196.
25. Bhatt S., Gething P.W., Brady O.J., Messina J.P., Farlow A.W. The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 2013, vol. 496, no. 7446, pp. 504-547. <https://www.doi.org/10.1038/nature12060>
26. Toumanoff C. Essais Preliminaires de'intercroisement de *St. albopicta* Sk. avec. *St. argentea* Poirer. *Bull. Soc. Med. Chr. Indochine*, 1937, vol. 15, no. 8, pp. 964-970.
27. Toumanoff C. Nouveaux faits au sujet de l'intercroisement de *St. albopicta* Skuse avec. *St. argentea* (*S. fasciata*), Theob. *Rev. Med. franc. Extr. Orient*, 1938, vol. 17, no. 4, pp. 365-368.
28. Toumanoff C. Les. races geographiques de *St. fasciatus* et *St. albopictus* et leur intercroisement. *Bull. Soc. Path. exot*, 1939, vol. 32, no. 5, pp. 505-509.
29. Bonnet D.D. The hybridization of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Hawaii. *Proceedings of Hawaii Entomology Society*, 1950, vol. 14, no. 1, pp. 35-39.
30. Try. H.T. Essai de croisement de *St. albopicta* de *St. fasciata*, en espace restraints. *Bull. Soc. Path. exot*, 1939, vol. 32, no. 5, pp. 511-513.
31. De Buck A. Kreuzungsversuche mit *Stegomyia fasciatus* Fabricius und *S. albopicta*, Skuse. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 1942, vol. 29, no. 2, pp. 309-312.
32. Rozeboom L.E., Kitzmiller J.B. Hybridization and speciation in mosquitoes. *Annual Reviews of Entomology*, 1959, vol. 3, pp. 231-248.
33. Nasci R.S., Hare S.G., Willis F.S. Interspecific mating between Louisiana strains of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the field and laboratory. *J Am Mosq Control Assoc*, 1989, vol. 5, no. 3, pp. 416-21.
34. Nazni W.A., Lee H.L., Dayang H.A.B., Azahari A.H. Cross-mating between Malaysian strains of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the laboratory. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*, 2009, vol. 40, no. 1, pp. 40-6.
35. Thomas V., Leng Y.P. Hybridization between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Malaysia. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 1973, vol. 4, no. 2, pp. 226-230.
36. Downs W.G., Baker R.H. Experiments in crossing *Aedes (Stegomyia) aegypti* Linnaeus and *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse. *Science*, 1949, vol. 109, no. 2826, pp. 200-201.
37. Lee H.L., Aramu M., Nazni W.A., Selvi S., Vasan S. No evidence for successful interspecific cross-mating of transgenic *Aedes aegypti* (L.) and wild type *Aedes albopictus* Skuse. *Trop Biomed*, 2009, vol. 26, no. 3, pp. 312-319.
38. Alphey L. Re-engineering the sterile insect technique. *Insect Biochem Mol Biol*, 2002, vol. 32, no. 10, pp. 1243-1237. [https://www.doi.org/10.1016/S0965-1748\(02\)00087-5](https://www.doi.org/10.1016/S0965-1748(02)00087-5)
39. Tripet F., Lounibos L.P., Robbins D., Moran J., Nishimura N., Blosser E.M. Competitive reduction by satyriazation? Evidence for interspecific mating in nature and asymmetric reproductive competition between invasive mosquito vectors. *Am. J. Trop. Med. Hyg*, 2011, vol. 85, no. 2, pp. 265-270. <https://www.doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0677>
40. Hasan T., Afrin S., Sultana A., Islam A. Asymmetrical reproductive interference between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: Implications for coexistence. *J Vector Borne Dis*, 2024, vol. 61, no. 4, pp. 547-554. https://www.doi.org/10.4103/JVBD.JVBD_40_24
41. Bargielowski I., Blosser E., Lounibos L.P. The Effects of interspecific courtship on the mating success of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) males. *Annals of the Entomological Society of America*, 2015, vol. 108, no. 4, pp. 513-518. <https://doi.org/10.1093/aesa/sav037>
42. Bargielowski I., Lounibos L.P. Rapid evolution of reduced receptivity to interspecific mating in the dengue vector *Aedes aegypti* in response to satyriazation by invasive *Aedes albopictus*. *Evol. Ecol*, 2014, vol. 28, no. 1, pp. 193-203. <https://www.doi.org/10.1007/s10682-013-9669-4>
43. Bargielowski I.E., Lounibos L.P. Satyriazation and satyriazation-resistance in competitive displacements of invasive mosquito species. *Insect Sci*, 2016, vol. 23, no. 2, pp.162-174. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12291>
44. Klowden M.J. The check is in the male: male mosquitoes affect female physiology and behavior. *J Am Mosq Control Assoc*, 1999, vol. 15, no. 2, pp. 213-220.
45. Leahy M.G., Craig G.B., Accessory gland substance as a stimulant for oviposition in *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. *Mosq News*, 1965, vol. 21, pp. 448-452.
46. Ribeiro J.M., Spielman A. The satyr effect: a model predicting parapatry and species extinction. *Am Nat*, 1986, vol. 128, pp. 513 - 528.
47. Ribeiro J.M. Can satyrs control pests and vectors? *Journal of Medical Entomology*, 1988, vol. 25, no. 6, pp. 431-440. <https://doi.org/10.1093/jmedent/25.6.431>
48. Hobbs J.H., Hughes E.A., Eichold B.H., 2nd, Replacement of *Aedes aegypti* by *Aedes albopictus* in Mobile, Alabama. *J Am Mosq Control Asso*, 1991, vol. 7, no. 3, pp. 488-4889.
49. O'Meara G.F., Evans L.F. Jr, Gettman A.D., Cuda J.P. Spread of *Aedes albopictus* and decline of *Ae. aegypti* (Diptera: Culicidae) in Florida. *J Med Entomol*, 1995, vol. 32,

no. 4, pp. 554-562.

<https://www.doi.org/10.1093/jmedent/32.4.554>.

50. Hawley W.A., Reiter P., Copeland R.S., Pumpuni C.B., Craig G.B. Jr. *Aedes albopictus* in North America: probable introduction in used tires from northern Asia. *Science*, 1987, vol. 236, no. 4805, pp.1114-1116.

<https://www.doi.org/10.1126/science.3576225>

51. Juliano S.A. Species introduction and replacement among mosquitoes: interspecific resource competition or apparent competition? *Ecology*, 1998, vol. 79, no. 1, pp. 255-268.

52. Juliano S.A., Lounibos L.P. Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. *Ecol Lett*, 2005, vol. 8, no. 5, pp. 558-74.

53. Kaplan L., Kendell D., Robertson D., Livdahl T., Khatchikian C. *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Bermuda: extinction, invasion, invasion and extinction. *Biological Invasions*, 2010, vol. 12, pp. 3277-3288.

54. Klowden M.J., Chambers G.M. Reproductive and metabolic differences between *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*, 1992, vol. 29, no. 3, pp. 467-71.

55. Lounibos L.P. Competitive displacement and reduction. *J Am Mosq Control Assoc*, 2007, vol. 23, no. 2 Suppl, pp. 276-82.

56. Mitchell C., Leigh S., Alphey L., Haerty W., Chapman T. Reproductive interference and Satyrization: mechanisms, outcomes and potential use for insect control. *J Pest Sci (2004)*, 2022, vol. 95, no. 3, pp. 1023-1036.

57. Paton R.S., Bonsall M.B. The ecological and epidemiological consequences of reproductive interference between the vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *J R Soc Interface*, 2019, vol. 16, no. 156, pp. 20190270.

58. Bargielowski I.E., Lounibos L.P., Shin D., Smartt C.T., Carrasquilla M.C., Henry A., Navarro J.C., Paupy C., Dennett

J.A. Widespread evidence for interspecific mating between *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in nature. *Infect Genet Evol*, 2015, vol. 36, pp. 456-461.

59. Giatropoulos A., Papachristos D.P., Koliopoulos G., Michaelakis A., Emmanouel N. Asymmetric mating interference between two related mosquito species: *Aedes (Stegomyia) albopictus* and *Aedes (Stegomyia) cretinus*. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 5, pp. e0127762.

<https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0132862>

60. Sultana A., Sunahara T., Tsurukawa C., Tuno N. Reproductive interference between *Aedes albopictus* and *Aedes flavopictus* at a place of their origin. *Med Vet Entomol*, 2021, vol. 35, no. 1, pp. 59-67.

<https://www.doi.org/10.1111/mve.12469>.

61. Lounibos L.P., Juliano S.A. Where Vectors Collide: The importance of mechanisms shaping the realized niche for modeling ranges of invasive *Aedes* mosquitoes. *Biol Invasions*, 2018, vol. 20, no. 8, pp. 1913-1929.

<https://www.doi.org/10.1007/s10530-018-1674-7>.

62. Bargielowski I.E., Lounibos L.P., Carrasquilla M.C. Evolution of resistance to satyrization through reproductive character displacement in populations of invasive dengue vectors. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, vol. 110, no. 8, pp. 2888-2892.

63. Zhou J., Liu S., Liu H., Xie Z., Liu L. Interspecific mating bias may drive *Aedes albopictus* displacement of *Aedes aegypti* during its range expansion. *PNAS Nexus*, 2022, vol. 1, no. 2, pp.pgac041.

<https://www.doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac041>

64. Weetman D., Kamgang B., Badolo A., Moyes C.L., Shearer F.M. *Aedes* mosquitoes and *Aedes*-borne arboviruses in Africa: current and future threats. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, vol. 15, no. 2, pp. 220.

<https://www.doi.org/10.3390/ijerph15020220>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Надежда Ю. Оюн осуществила поиск и анализ литературных источников. Надежда Ю. Оюн и Герман А. Шипулин сформировали выводы.

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

Nadezhda Yu. Oyun carried out the search and analysis of literary sources. Nadezhda Yu. Oyun and German A. Shipulin formed conclusions.

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

Надежда Ю. Оюн / Nadezhda Yu. Oyun <https://orcid.org/0000-0001-9279-4386>

Герман А. Шипулин / German A. Shipulin <https://orcid.org/0000-0002-3668-6601>

Оригинальная статья / Original article
УДК 632.937
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-4



Роль энтомофагов в регулировании численности вредителей озимой пшеницы

Владимир Я. Исмаилов, Александр А. Команцев, Всеволод И. Бородин, Дарья А. Клименко
Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Владимир Я. Исмаилов, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией химической коммуникации и массового разведения насекомых, Федеральный научный центр биологической защиты растений; 350039 Россия, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 62.
Тел. +79181984263
Email vlyaism@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6713-0059>

Формат цитирования

Исмаилов В.Я., Команцев А.А., Бородин В.И., Клименко Д.А. Роль энтомофагов в регулировании численности вредителей озимой пшеницы // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 36-43. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-4

Получена 4 апреля 2024 г.
Прошла рецензирование 26 августа 2024 г.
Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: изучить видовой состав, динамику численности и регулируемую роль энтомофагов основных вредителей озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. в условиях беспестицидной защиты культуры в органическом растениеводстве.

Исследования проводили в 2021–2023 гг. на территории ФГБНУ ФНЦБЗР (2021–2023 гг.), и в базовых органических хозяйствах ООО Междуречье Тульской области и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. (2022–2023 гг.) Воронежской области, с использованием феромонных ловушек, ловушек Малеза, кошени энтомологическим сачком и визуальных наблюдений в ценозах пшеницы и сопредельных стадий. Установлено значительно увеличивающееся, с каждым годом, видовое биоразнообразие и обилие энтомофагов в ценозах пшеницы, возделываемой по стандартам органического земледелия (беспестицидные системы защиты), приводящее к эффективному восстановлению механизмов естественной биоценотической регуляции. Наиболее благоприятно отмена химических обработок сказалась на биоиндикаторных видах перепончатокрылых паразитов семейства Scelionidae, регулирующих численность клопа вредная черепашка и комплекса насекомых-афидофагов семейств Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae (Neuroptera), Nabidae, Anthocoridae (Hemiptera).

Для биоконтроля вредной черепашки значительную роль играют яйцепаразиты – теленомусы (сем. Scelionidae). Преимущественно два вида *Trissolcus grandis* T. и *Telenomus chloropus* T. Имаго клопа вредная черепашка *E.integriceps* заражалась двумя видами мух-фазий золотистой *Clytiomyia helluo* F. и серой *Alophora subcoleopterata* L. Установлена высокая численность афидофагов, среди которых доминирующим биоиндикаторным видом являлась *Coccinella septempunctata* L.

Ключевые слова

Озимая пшеница, энтомофаги, фитофаги, биоразнообразие, естественная биоценотическая регуляция, активизация и воспроизводство энтомофагов, клоп вредная черепашка, злаковые тли.

The role of entomophages in regulating the number of pests of winter wheat

Vladimir Ya. Ismailov, Alexander A. Komantsev, Vsevolod I. Borodin and Daria A. Klimenko

Federal Research Centre of Biological Plant Protection (FRCBPP), Krasnodar, Russia

Principal contact

Vladimir Ya. Ismailov, Candidate of Biological Sciences, Head, Laboratory of Chemical Communication and Mass Breeding of Insects, Federal Scientific Center for Biological Protection of Plants; 62 Kalinin St, Krasnodar, Russia 350039. Tel. +79181984263

Email vyiaism@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6713-0059>

How to cite this article

Ismailov V.Ya., Komantsev A.A., Borodin V.I., Klimenko D.A. The role of entomophages in regulating the number of pests of winter wheat. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):36-43. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-4

Received 4 April 2024

Revised 26 August 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to study the species composition, population dynamics and regulatory role of entomophages of the main pests on winter wheat *Triticum aestivum* L. under conditions of non-pesticide crops protection in organic crop production.

The research was carried out in 2021–2023 on the territory of the FRCBPP (2021–2023), at the basic organic farms of Mezhdurechye LLC of the Tula region and Kirillov P.G. Head of Farm IE (2022–2023) of the Voronezh region, using pheromone traps, Malaise traps, mowing with an entomological net and visual observations in wheat cenoses and adjacent lands.

The species biodiversity and abundance of entomophages in the wheat cenoses cultivated according to organic farming standards (non-pesticide protection systems) have been significantly increased every year, leading to the effective restoration of natural biocenotic regulation mechanisms. The most favourable effect of the cancellation of chemical treatments was on bioindicator species of hymenopteran parasites of the family Scelionidae, which regulate the number of the Sunn pest, and on the complex of aphidophage insects of the families Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae (Neuroptera), Nabidae and Anthocoridae (Hemiptera).

Egg parasites – telenomuses – (Scelionidae family) play a significant role in the biocontrol of Sunn pest. Two species, *Trissolcus grandis* T. and *Telenomus chloropus* T., were mainly identified. The imago of Sunn pest *E. integriceps* were infected by two species of flies-phasias *Clytiomyia helluo* F. and *Alophora subcoleopterata* L. A high number of aphidophages was established, among which *Coccinella septempunctata* L. was the dominant bioindicator species.

Key Words

Winter wheat, entomophages, phytophages, biodiversity, natural biocenotic regulation, activation and reproduction of entomophages, sunn pest, wheat aphids.

ВВЕДЕНИЕ

Поступательное развитие органического земледелия в мире, а в последние годы и в России, предопределило значительное ускорение исследований в агробиологии, биологической защите растений, химической коммуникации и трофической специализации насекомых и ряде других научных дисциплин, обеспечивающих эффективность защитных мероприятий и восстановление механизмов естественной биоценотической регуляции.

Целью биологической защиты растений является замена химических обработок на экологически безопасные методы. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур требует постоянного совершенствования и внедрения биологических методов защиты. Одним из ключевых аспектов в регулировании численности вредителей является активизация естественных популяций энтомофагов [1–4].

Озимая пшеница (*Triticum aestivum* L., 1753) является одной из ведущих продовольственных культур, выращиваемых на значительных площадях в Российской Федерации. Большое экономическое значение в выращивании этой ценной культуры имеют доминантные виды вредителей, значительно снижающие урожайность и качество зерна пшеницы [5]. Следует отметить, что пшеница является основной кормовой базой многих вредителей из различных систематических групп, таких как полужесткокрылые (Hemiptera), трипсы (Thysanoptera), регуляция численности которых значительно зависит от энтомофагов. Большой ущерб культуре наносят вредители из подотряда тли (Aphidinea) [6; 7]. Потери зерна могут составлять не менее 4–5 ц/га, а в отдельные годы до 50 %, кроме того, тли являются переносчиками болезней вирусной этиологии: различных мозаик, жёлтой и бледно-зелёной карликовости пшеницы и др. [8; 9]. Большинство традиционных инсектицидов, применяемых для защиты пшеницы от основных вредителей, оказывают негативное воздействие на полезную биоту и зерновую продукцию вследствие нарушения механизмов естественной биоценотической регуляции и накопления в продуктах питания остаточных количеств токсических веществ [10]. Поэтому переход к альтернативным бесpestицидным технологиям органического земледелия является актуальной задачей мирового растениеводства [11]. На территории России сертифицировано порядка 350 тыс. га земель, что занимает 0,3 % от всех земель сельскохозяйственного назначения. Большую часть органических посевов мирового уровня занимают зерновые культуры и зеленые корма [12].

Важную роль в регуляции численности фитофагов в ценозах озимой пшеницы играют активизация и естественное воспроизводство энтомофагов, что обеспечивает отмену химических обработок [5; 12]. Разработка экологических и органических технологий возделывания озимой пшеницы приобретает важное значение для сохранения и поддержания стабильности окружающей среды. Актуальной проблемой остается оценка соответствующих технологий возделывания культуры для оптимизации фитосанитарного состояния агроценоза [13], связанного с активной деятельностью природных популяций энтомофагов.

Целью исследований являлось изучение видового состава, динамики численности и регулирующей роли энтомофагов основных вредителей озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. и разработки методов активизации и воспроизводства естественных популяций биоагентов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на базе экспериментального научного севооборота ФНЦБЗР (г. Краснодар), и в базовых органических хозяйствах ООО Междуречье Тульской области и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. Воронежской области (2022–2023 гг.).

Учет численности вредных и полезных насекомых и сбор биоматериала в ценозе пшеницы осуществляли в течение вегетационного периода с помощью феромонных ловушек, ловушек Малеза, кошением энтомологическим сачком и ручным сбором с растений и различных объектов, методами индивидуального и массового выведения.

Видовой состав и численность яйцеедов-теленормусов сем. Scelionidae определяли на основе зараженности яйцекладок клопа вредная черепашка *Eurygaster integriceps* Put 1881, и дополнительных хозяев – ягодного клопа *Dolycoris baccarum* L. 1758 и щитника черношипого *Carpocoris fuscispinus* Boh. 1851 и с помощью специальных кайромонно-кормовых устройств

Для определения эффективности мух-фазий клопов вредной черепашки собирали и вскрывали в момент их прилета на поля озимой пшеницы после зимовки.

Учеты энтомофагов проводили по стандартным энтомологическим методикам и с помощью оригинальных кайромонно-кормовых устройств (ККУ), разработанных в ФГБНУ ФНЦБЗР [5]. Определение материала вели с помощью адаптированных определителей паразитов вредителей [14–19].

Для биологического контроля численности личинок вредной черепашки, выявленных в результате фитосанитарного мониторинга, была проведена обработка биопрепаратом Биостоп, Ж, (*Bacillus thuringiensis* + *Streptomyces* sp.+ *Beauveria bassiana* -2000 ЕА/мл, титр не менее $10^9+10^8+10^8$ КОЕ/мл) при норме расхода 4 л/га.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы Microsoft Office Excel 2010.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании энтомокомплекса ценоза озимой пшеницы были выявлены доминирующие вредители: клоп вредная черепашка (*Eurygaster integriceps* Put. 1881), пядица красногрудая (*Lema melanopus* L. 1758), злаковые тли (большая *Sitobion avenae* F. 1794 и обыкновенная *Schizaphis graminum* Rond. 1852), пшеничный трипс (*Haplothrips tritici* Kurd. 1912). После возобновления вегетации первыми на посевах озимой пшеницы выявлены хлебные блошки, незначительно повреждающие листья (3–5 %). Прилет перезимовавших имаго пядицы красногрудой *L. melanopus* и клопа вредная черепашка *E. integriceps* ежегодно наблюдался в 1–3 декаде апреля в зависимости от региона возделывания. Численность клопа-черепашки на большей части обследованных полей пшеницы была ниже ЭПВ и не представляла угрозы урожаю (табл. 1).

Таблица 1. Структура видового состава доминантных вредителей озимой пшеницы в ООО Междуречье Тульской области и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. Воронежской области (2022–2023 гг.)
Table 1. The structure of the species composition of dominant pests of winter wheat in Mezhdurechye LLC of the Tula region and Kirillov P.G. Head of Farm IE. of the Voronezh region (2022–2023)

Фаза развития озимой пшеницы Growth stage of winter wheat	Вид вредителя Species of pests	Численность вредителя The number of pests
Конец выхода в трубку Leaf sheaths lengthen	Пьявица красногрудая / Cereal leaf beetle – <i>Lema melanopus</i> L.	0,2 экз./м ²
	Клоп вредная черепашка / Corn bug – <i>Eurygaster integriceps</i> Put.	0,1 экз./м ²
	Злаковая тля / Wheat aphid – <i>Schizaphis graminum</i> Rond.	3,1 экз./м ²
	Хлебная блошка / Flea beetle – <i>Phyllotreta vittula</i> Redt	0,1 экз./м ²
	Долгоносик / Fruit borer – <i>Curculio</i> sp.	0,2 экз./м ²
Конец цветения – начало налива End of flowering – beginning of ripening	Злаковый пилильщик / Stem sawfly – <i>Cephus pygmeus</i> L.	0,5 экз./м ²
	Клоп вредная черепашка / Corn bug – <i>Eurygaster integriceps</i> Put	0,7 экз./м ²
	Щелкун посевной / Click beetle – <i>Agriotes sputator</i> L.	0,06 экз./м ²
	Злаковая тля / Wheat aphid – <i>Schizaphis graminum</i> Rond.	2,8 экз./м ²
	Пьявица красногрудая / Cereal leaf beetle – <i>Lema melanopus</i> L.	0,06 экз./м ²
Восковая спелость Dough stage	Клоп элия / Bishop's mitre – <i>Aelia acuminata</i> L.	0,3 экз./м ²
	Личинки клопа вредная черепашка II возр. / Second instar of corn bug larva – <i>Eurygaster integriceps</i> Put.	0,7 экз./м ²
	Личинки клопа вредная черепашка III возр. / Third instar of corn bug larva – <i>Eurygaster integriceps</i> Put.	0,1 экз./м ²
Полная спелость Mature stage	Личинки клопа вредная черепашка IV возр. / Fourth instar of corn bug larva – <i>Eurygaster integriceps</i> Put.	0,9 экз./м ²
	Клоп слепняк / Leaf bug – <i>Calocoris affinis</i> Hahn.	0,3 экз./м ²
	Клоп вредная черепашка / Corn bug – <i>Eurygaster integriceps</i> Put.	1,3 экз./м ²
	Трипс пшеничный / Wheat thrips – <i>Haplothrips tritici</i> Kurd.	4,5 экз./колос

Исключением являлись небольшая часть (2–3 поля) пшеницы в ООО Междуречье и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г.

Ключевую роль в естественном ограничении плотности популяции клопа вредная черепашка *E. integriceps*, наносящего существенный урон посевам пшеницы, играют энтомофаги.

Среди специализированных энтомофагов наиболее эффективно численность вредителя регулируют яйцепаразиты – теленомусы (сем. Scelionidae), чья активная деятельность значительно снижает вредоносность клопа-черепашки. Доминирующими видами теленомусов в ценозах озимой пшеницы повсеместно были отмечены *Trissolcus grandis* Thoms. 1860 и *Telenomus chloropus* Thoms. 1861 (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность природных популяций яйцепаразитов – теленомусов сем. Scelionidae в зараженности первых яйцекладок вредной черепашки *E. integriceps* на посевах озимой пшеницы (2021–2023 гг., фаза колошения ФНЦБЗР)

Table 2. The effectiveness of natural populations of egg parasites – telenomus – fam. Scelionidae in the infestation of the first eggs laid by corn bug *E. integriceps* on winter wheat crops (2021–2023, the earing phase of the FRCBPP)

Год Year	Количество яиц вредной черепашки number of corn bug eggs		
	отложено в ККП* deferred in KFA*	из них заражено теленоминами infested by telenomines	
		шт. / amount	%, УЭЭ** / %, EEL**
2021	422	321	76,0
2022	550	376	68,3
2023	376	291	77,3
HCP _{0,95} (по УЭЭ)	-	-	3,9
MSD _{0,95} (by EEL)			

Примечание: *ККП (кайромонно-кормовая площадка), обеспечивающая оптимальные условия для привлечения и воспроизводства теленомусов [20]; **УЭЭ (уровень эффективности энтомофагов), позволяющий заблаговременно прогнозировать отмену защитных мероприятий против личинок клопа вредной черепашки в фазу молочной спелости зерна составляет 40–50 %

Note: *KFA (kairomone feeding area), which provides optimal conditions for attraction and reproduction of telenomuses [20]; **EEL (entomophages effectiveness level), which makes it possible to predict in advance the cancellation of protective measures against the larvae of corn bug during the phase of milk ripeness of grain, is 40–50 %

Данные, полученные в течение трех лет исследований на экспериментальном научном севообороте ФНЦБЗР стали основанием для полной отмены мероприятий,

направленных на защиту посевов от клопа вредная черепашка. Напротив, в базовом органическом хозяйстве ИП Глава КФХ Кириллов П.Г., зараженность

яйцекладок клопа не превышала 20–30 %, что спровоцировало значительное повышение численности личинок. Установлено, что наибольшая плотность популяции вредителя, отмеченная на поле пшеницы сорта Скипетр, превышала ЭПВ более чем в 4 раза и составляла 8,6 экз./м² личинок разных возрастов. По результатам анализа была проведена обработка биопрепаратом Биостоп, Ж, которая показала высокую биологическую эффективность (65–70 %) и снизила численность личинок ниже ЭПВ.

Мухи-фазии (семейство Tachinidae, Diptera) играют значительную роль в регулировании

численности имаго клопа вредная черепашка, паразитирует 3 вида мух фазий: золотистая *Clytiomyia helluo* F., серая *Alophora subcoleopterata* L., пестрая *Ectophasia crassipennis* F. (табл. 3).

Данные представленные в таблице 3, показывают, что имаго клопа вредная черепашка *E. integriceps* были заражены двумя видами мух-фазий золотистой *C. helluo* и серой *A. subcoleopterata*. В 2021 г. золотистой заражено 64,2 %, серой – 34,7 %, в 2022 г. золотистой 73,6 %, а серой – 26,3 %.

Таблица 3. Видовой состав мух фазий, паразитирующих на клопе вредная черепашка *E. integriceps* (ФНЦБЗР, 2021–2022 гг.)

Table 3. Species composition of phasia flies parasitising the corn bug *E. integriceps* (FRCBPP, 2021–2022)

Дата Date	Проанализировано имаго, шт. Analysed imago, pcs.	Из них заражено, шт. Pcs of those infected	Вылетело паразитов / Emerged parasites					
			Всего Total		из них по видам: of these, by species:			
					<i>C. helluo</i>		<i>A. subcoleopterata</i>	
			экз. / sp	%	экз. / sp	%	экз. / sp	%
15.05.2021	175	34	28	82,3	18	64,2	10	35,7
20.05.2022	136	25	19	76,0	14	73,6	5	26,3

За период исследований, проведённых на посевах озимой пшеницы научного севооборота ФНЦБЗР и базовых хозяйств органического земледелия, были определены видовой состав и динамика численности тлей (Homoptera, Aphididae), среди которых наиболее представительными и массовыми видами являлись обыкновенная (*Schizaphis graminum* Rondani) и большая (*Sitobion avenae* Fabricius) злаковые тли. Численность и вредоносность ячменной (*Brachycolus noxia* Mordvilko) и яблонно-злаковой (*Rhopalosiphum insertum* Walk) тлей отмечалась на значительно меньшем уровне.

Повсеместно основными видами афидофагов, контролирующих численность тлей отмечались божьи

коровки (Coleoptera, Coccinellidae), доля которых составляла 86 % и варьировала в диапазоне от 1 % (*Scymnus frontalis* F) до 69 % (*Coccinella septempunctata* Linnaeus) (рис. 1).

В числе афидофагов из других отрядов на посевах озимой пшеницы в базовых хозяйствах органического земледелия выявлены хищные клопы *Nabis ferus* L., *Anthocoris nemorum* L. семейств *Nabidae* и *Anthocoridae*, соответственно; два вида златоглазок, наиболее многочисленным из них являлась златоглазка обыкновенная *Chrysopa carnea* Steph, а также сирф полулунный *Syrphus corollae* F. (Diptera, Syrphidae) (табл. 4).

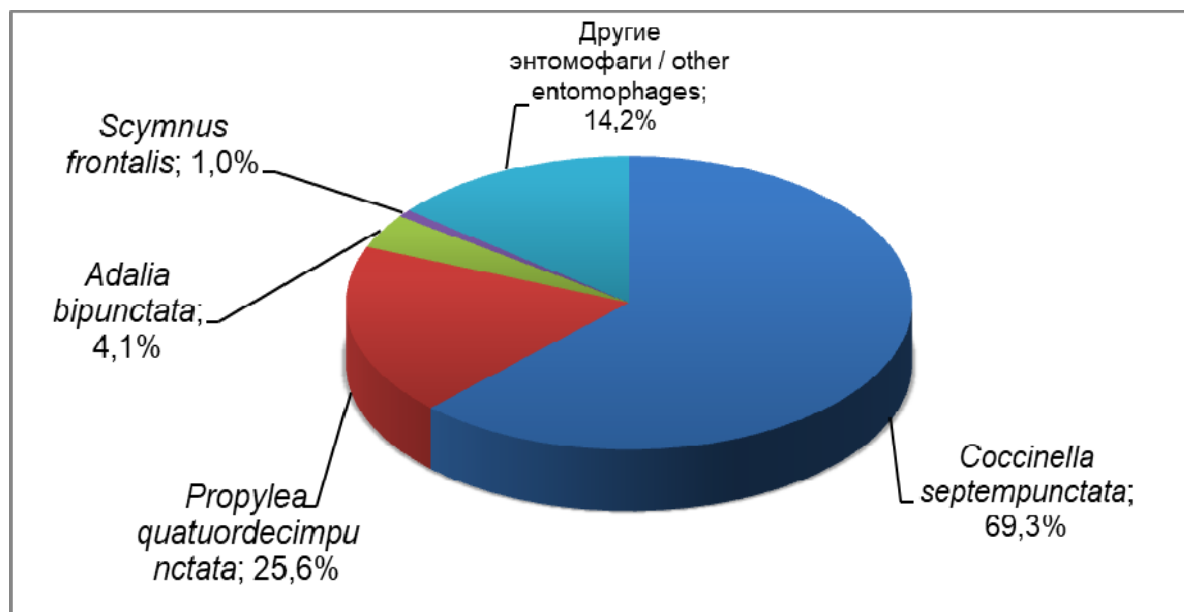


Рисунок 1. Соотношение количества особей различных видов Coccinellidae, обнаруженных на обследуемых участках в ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. Воронежской области

Figure 1. Ratio of individuals of various species of Coleoptera and Coccinellidae found in the areas surveyed in the Kirillov P.G. Head of Farm IE, Voronezh region

Таблица 4. Видовой состав насекомых-энтомофагов на посевах озимой пшеницы (2022–2023 гг.)

ООО Междуречье Тульской области и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. Воронежской области

Table 4. Species composition of insect entomophages on winter wheat crops (2022–2023)

Mezhdurechye LLC, Tula region and Kirillov P.G. Head of Farm IE, Voronezh region

Отряд Order	Семейство Family	Вид Species	Численность энтомофагов Number of entomophages, %
Жесткокрылые Beetles Coleoptera	божьи коровки ladybugs Coccinellidae	коровка семиточечная seven-spot ladybird <i>Coccinella septempunctata</i> L.	62,3
		коровка четырнадцатиточечная 14-spotted ladybird beetle <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> L.	18,9
		адалия двуточечная two-spot ladybird <i>Adalia bipunctata</i> L.	3,8
		сцимнус широколобый Scymnus beetle <i>Scymnus frontalis</i> F.	0,8
Двукрылые Flies Diptera	мухи журчалки hoverflies Syrphidae	сирф полулунный corollae hoverfly <i>Syrphus corollae</i> F.	2,7
Сетчатокрылые Lacewings Neuroptera	златоглазки lacewings Chrysopidae	златоглазка обыкновенная common green lacewing <i>Chrysopa carnea</i> Steph.	3,2
		златоглазка семиточечная green lacewing <i>Chrysopa septempunctata</i> L.	1,4
Полужескокрылые True bugs Hemiptera	набиды damsel bugs Nabidae	набис серый damsel bug <i>Nabis ferus</i> L.	5,7
	антокориды flower bugs Anthocoridae	антокорис дубравный flower bug <i>Anthocoris nemorum</i> L.	1,2

Одним из доминантных вредителей пшеницы является также пшеничный трипс *H. tritici*, нами отмечено, что его численность в ООО Междуречье Тульской области и ИП Глава КФХ Кириллов П.Г. Воронежской области составляла 4,5 экз./м², что значительно ниже ЭПВ. Частичному ограничению численности *H. tritici* способствовала активная деятельность кокциnellид родов *Propylea* и *Coccinella*.

В ходе исследований было отмечено большое видовое разнообразие как многоядных (пауки, хищные клопы, кокциnellиды, златоглазки и другие), так и специализированных энтомофагов (афидииды, теленомины), эффективно регулирующих численность основных вредителей.

Биологический метод защиты озимой пшеницы от вредных насекомых открывает новые перспективы для технологий органического земледелия. Исследования в этой области выявляют тонкие механизмы взаимодействия вредителей с их естественными врагами, что способствует созданию новых направлений биометода — экологически чистых и устойчивых на долгосрочной основе.

Результаты показывают, что использование естественных врагов вредителей способствует сдерживанию их численности на уровне, который не наносит значительного ущерба урожайности культуры и способствует восстановлению естественной биоцено-тической регуляции.

ВЫВОДЫ

В результате исследований выявлены основные доминирующие вредители на озимой пшенице, которые были представлены следующими видами: клоп вредная черепашка *E. integriceps*, пьявица красногрудая *L. melanopus*, злаковая тля *S. graminum*, пшеничный трипс *H. tritici*, элия остроголовая *A. acuminata*.

Для биоконтроля вредной черепашки значительную роль играют важные яйцепаразиты — теленомусы (сем. Scelionidae). Преимущественно два вида *T. grandis* и *T. chloropus*.

Имаго клопа вредная черепашка *E. integriceps* было заражено двумя видами мух-фазий золотистой *C. helluo* и серой *A. subcoleopterata*. В 2021 г. золотистой заражено 64,2 %, серой 34,7 %, в 2022 г. золотистой 73,6 %, а серой 26,3 %.

Установлена высокая численность афидофагов, среди которых доминирующим биоиндикаторным видом являлась *C. septempunctata*. Во всех сборах в течение вегетационного периода семиточечная божья коровка составляла 62,3 % от всех энтомофагов, 14-точечная коровка *P. quatuordecimpunctata* — 18,9 %. *A. bipunctata* — 3,8 %.

Наибольшая доля от общего количества энтомофагов приходилась на кокциnellид — 85,8 %. В числе других энтомофагов обнаружен 1 вид семейства сирфид — сирф полулунный *S. corollae* — 2,7 %, а также регулярно встречались хищные клопы — *N. ferus* (сем. Nabidae) и *A. nemorum* (сем. Anthocoridae). Домини-

рующее положение из 2 видов семейства златоглазок принадлежало златоглазка обыкновенная *Ch. carnea* – 3,2 %.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2025-0004.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic № FGRN-2025-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Vargas G., Rivera-Pedroza L.F., García L.F., Jahnke S.M. Conservation Biological Control as an Important Tool in the Neotropical Region // *Neotropical Entomology*. 2023. V. 52(2). P. 134–151. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01005-1>
- Fountain M.T. Impacts of Wildflower Interventions on Beneficial Insects in Fruit Crops: A Review // *Insects*. 2022. V. 13(3). <https://doi.org/10.3390/insects13030304> Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/13/3/304> (accessed 26.01.2024)
- Duffus N.E., Echeverri A., Dempewolf L., Noriega J.A., Furumo P.R., Morimoto J. The Present and Future of Insect Biodiversity Conservation in the Neotropics: Policy Gaps and Recommendations // *Neotropical Entomology*. 2023. V. 52(3). P. 407–421. <https://doi.org/10.1007/s13744-023-01031-7>
- Стригун А.А. Злаковые мухи – вредители зерновых колосовых культур и система защиты // *Защита и карантин растений*. 2015. N 10. С. 34–36.
- Ширинян Ж.А., Пушня М.В., Родионова Е.Ю., Исмаилов В.Я. Восстановление биоценотической регуляции в посевах зерновых культур с помощью естественного воспроизводства природных энтомофагов // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. N 5. С. 1070–1079. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.5.1070rus>
- Dunn L., Lequerica M., Reid C.R., Latty T. Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents // *Pest Management Science*. 2020. V. 76(6). P. 1973–1979. <https://doi.org/10.1002/ps.5807>
- Liu J., Yong D.L., Choi C.Y., Gibson L. Transboundary Frontiers: An Emerging Priority for Biodiversity Conservation // *Trends in Ecology and Evolution*. 2020. V. 35(8). P. 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.03.004>
- Honek A., Martinkova Z., Saska P., Dixon A.F.G. Aphids (Homoptera: Aphididae) on Winter Wheat: Predicting Maximum Abundance of *Metopolophium dirhodum* // *Journal of Economic Entomology*. 2018. V. 111(4). P. 1751–1759. <https://doi.org/10.1093/jee/toy157>
- MacKenzie T.D.B., Arju I., Poirier R., Singh M. A Genetic Survey of Pyrethroid Insecticide Resistance in Aphids in New Brunswick, Canada, with Particular Emphasis on Aphids as Vectors of Potato virus Y. // *J Econ Entomol*. 2018. V. 111(3). P. 1361–1368. <https://doi.org/10.1093/jee/toy035>
- Van der Meer M., Kay S., Lüscher G., Jeanneret P. What evidence exists on the impact of agricultural practices in fruit orchards on biodiversity? // *A systematic map. Environ Evid*. 2020. N 9. P. 2. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-0185-z>
- Rosbacher S., Vorburger C. Prior adaptation of parasitoids improves biological control of symbiont-protected pests // *Evolutionary Applications*. 2020. V. 13(8). P. 1868–1876. <https://doi.org/10.1111/eva.12934>

- Исмаилов В.Я., Команцев А.А. Влияние беспищевой системы защиты овощного гороха на восстановление биоразнообразия и механизмов естественной биоценотической регуляции // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. N 4. С. 94–99. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_94
- Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Влияние различных систем защиты озимой пшеницы сорта Сварог на развитие грибных болезней // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18, N 2. С. 140–151. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-140-151>
- Костюков В.В., Кошелева О.В., Балахнина И.В. *Определитель паразитов вредителей плодового сада*. Ростов-на-Дону, 2007. 254 с.
- Заславский В.А. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки: *Определитель насекомых Европейской части СССР*. Т. 2. Москва-Ленинград: Наука, 1965. С. 319–326.
- Кузнецов В.Н. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки: *Определитель насекомых Дальнего Востока СССР*. Т. 3. Жесткокрылые или жуки, Ч. 2. СПб: Наука, 1992. С. 333–376.
- Хабибуллин В.Ф., Муравицкий О.С. Атлас-определитель кокцинеллид (божьих коровок) (Coleoptera: Coccinellidae) и жуков-листоедов (Coleoptera: Chrysomelidae) Башкортостана // *Жуки (Coleoptera) и колеоптерология*. URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/muravit1.htm> (дата обращения: 29.01.2024)
- Беньковский А.О. *Определитель божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) европейской части России и Северного Кавказа*. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2020. 140 с.
- Нарчук Э.П. *Определитель семейств двукрылых насекомых (Insecta: Diptera) фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой фауны)* // *Труды Зоологического института РАН*. 2003. Т. 294. 250 с.
- Ширинян Ж.А., Исмаилов В.Я. Эколого-биоценотические закономерности пространственного распределения фитофагов и энтомофагов в агроэкосистемах как основа беспищевой защиты озимой пшеницы от вредителей: агробиотехнологические приемы для органического земледелия // *Энтомологическое обозрение*. 2015. Т. 94. N 2. С. 259–266.

REFERENCES

- Vargas G., Rivera-Pedroza L.F., García L.F., Jahnke S.M. Conservation Biological Control as an Important Tool in the Neotropical Region. *Neotropical Entomology*, 2023, vol. 52, no. 2, pp. 134–151. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01005-1>
- Fountain M.T. [Impacts of Wildflower Interventions on Beneficial Insects in Fruit Crops: A Review]. *Insects*, 2022, no. 13(3). <https://doi.org/10.3390/insects13030304> Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/13/3/304> (accessed 26.01.2024)
- Duffus N.E., Echeverri A., Dempewolf L., Noriega J.A., Furumo P.R., Morimoto J. The Present and Future of Insect Biodiversity Conservation in the Neotropics: Policy Gaps and Recommendations. *Neotropical Entomology*, 2023, vol. 52, no. 3, pp. 407–421. <https://doi.org/10.1007/s13744-023-01031-7>
- Strigun A.A. Cereal flies – pests of grain crops and protection system. Protection and quarantine of plants. 2015, no. 10, pp. 34–36 (In Russian)
- Shirinyan J.A., Pushnya M.V., Rodionova E.Y., Ismailov V.Ya. Restoration of biocenotic regulation in grain crops with the help of natural reproduction of natural entomophages. *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 5, pp. 1070–1079. (In

- Russian)
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.5.1070rus>
6. Dunn L., Lequerica M., Reid C.R., Latty T. Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents. *Pest Management Science*, 2020, vol. 76(6), pp. 1973–1979. <https://doi.org/10.1002/ps.5807>
 7. Liu J., Yong D.L., Choi C.Y., Gibson L. Transboundary Frontiers: An Emerging Priority for Biodiversity Conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 2020, vol. 35(8), pp. 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.03.004>
 8. Honek A., Martinkova Z., Saska P., Dixon A.F.G. Aphids (Homoptera: Aphididae) on Winter Wheat: Predicting Maximum Abundance of *Metopolophium dirhodum*. *Journal of Economic Entomology*, 2018, vol. 111(4), pp. 1751–1759. <https://doi.org/10.1093/jee/toy157>
 9. MacKenzie T.D.B., Arju I., Poirier R., Singh M. A Genetic Survey of Pyrethroid Insecticide Resistance in Aphids in New Brunswick, Canada, with Particular Emphasis on Aphids as Vectors of Potato virus Y. *J Econ Entomol.*, 2018, vol. 111(3), pp. 1361–1368. <https://doi.org/10.1093/jee/toy035>
 10. Van der Meer M., Kay S., Lüscher G., Jeanneret P. What evidence exists on the impact of agricultural practices in fruit orchards on biodiversity? A systematic map. *Environ Evid.*, 2020, no. 9, p. 2. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-0185-z>
 11. Rossbacher S., Vorburger C. Prior adaptation of parasitoids improves biological control of symbiont-protected pests. *Evolutionary Applications.*, 2020, vol. 13(8), pp. 1868–1876. <https://doi.org/10.1111/eva.12934>
 12. Ismailov V.Ya., Komantsev A.A. The influence of a non-pesticide system of protection of vegetable peas on the restoration of biodiversity and mechanisms of natural biocenotic regulation. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, 2022, vol. 36, no. 4, pp. 94–99. (In Russian)
https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_94
 13. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. The influence of various methods of protection of the winter wheat variety svarog against the development of fungal diseases. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2(67), pp. 140–151. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-140-151>
 14. Kostyukov V.V., Kosheleva O.V., Balakhnina I.V. *Opredelitel' parazitov vreditel' plodovogo sada* [Determinant of parasites of orchard pests]. Rostov-on-Don, 2007, 254 p. (In Russian)
 15. Zaslavskij V.A. *Sem. Coccinellidae – Bozh'i korovki: Opredelitel' nasekomykh Evropeiskoi chasti SSSR* [Coccinellidae - Ladybugs: Key to insects of the European part of the USSR]. Moscow-Leningrad, Nauka Publ., 1965, vol. 2, pp. 319–326. (In Russian)
 16. Kuznetsov V.N. *Sem. Coccinellidae – Bozh'i korovki: Opredelitel' nasekomykh Dal'nego Vostoka SSSR* [Fam. Coccinellidae - Ladybugs: Key to insects of the Far East of the USSR. V. 3. Coleoptera or beetles, Part 2]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1992, pp. 333–376. (In Russian)
 17. Habibullin V.F., Muravickij O.S. *Atlas-opredelitel' koktsinellid (bozh'ikh korovok) (Coleoptera: Coccinellidae) i zhukov-listoedov (Coleoptera: Chrysomelidae) Bashkortostana* [Atlas-identifier of coccinellids (ladybugs) (Coleoptera: Coccinellidae) and leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) of Bashkortostan Beetles (Coleoptera) and coleopterology]. Available at:
<https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/muravit1.htm> (accessed: 29.01.2024)
 18. Ben'kovskij A.O. *Opredelitel' bozh'ikh korovok (Coleoptera, Coccinellidae) evropeiskoi chasti Rossii i Severnogo Kavkaza* [Key to ladybirds (Coleoptera, Coccinellidae) of the European part of Russia and the North Caucasus]. Livny, Mukhametov G.V. Publ., 2020, 140 p. (In Russian)
 19. Narchuk E.P. [Key to the families of dipteran insects (Insecta: Diptera) of the fauna of Russia and neighboring countries (with a brief overview of the families of the world fauna)]. In: *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN* [Proceedings of the Zoological Institute RAS]. 2003, vol. 294, 250 p. (In Russian)
 20. Shirinyan Zh.A., Ismailov V.Ya. Ecological and biocenotic patterns of spatial distribution of phytophages and entomophages in agroecosystems as the basis for pest-free protection of winter wheat: agrobiotechnological techniques for organic farming. *Entomologicheskoe obozrenie* [Entomological review]. 2015, vol. 94, no. 2, pp. 259–266. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Владимир Я. Исмаилов разработал концепцию, определил методологию, провел исследование, проанализировал данные, написал рукопись. Александр А. Команцев провел исследования, проанализировал данные. Всеволод И. Бородин и Дарья А. Клименко провели исследование. 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

Vladimir Ya. Ismailov developed the concept, defined the methodology, conducted the study, analysed the data and wrote the manuscript. Alexander A. Komantsev conducted the research and analysed the data. Vsevolod I. Borodin and Daria A. Klimenko conducted the study. 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

Владимир Я. Исмаилов / Vladimir Ya. Ismailov <https://orcid.org/0000-0002-6713-0059>
 Александр А. Команцев / Alexander A. Komantsev <https://orcid.org/0000-0003-1136-3264>
 Всеволод И. Бородин / Vsevolod I. Borodin <https://orcid.org/0009-0008-1613-6574>
 Дарья А. Клименко / Daria A. Klimenko <https://orcid.org/0009-0004-9725-5057>

Оригинальная статья / Original article

УДК 574.4:57.022:595.753:595.796:595.763.79:595.773.1:595.754

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-5



Взаимное влияние муравьев и афидофагов на биологию и экологию тли в яблоневых садах Юга России

Ирина В. Балахнина¹, Оксана Ю. Кремнева¹, Игорь Б. Попов^{1,2},
Алена Ю. Нестерова¹, Екатерина Г. Снесарева¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений», Краснодар, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Ирина В. Балахнина, научный сотрудник лаборатории итосанитарный мониторинг агроэкосистем, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 9.

Тел. +79181661807

Email balakhnina@yandex.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

Формат цитирования

Балахнина И.В., Кремнева О.Ю., Попов И.Б., Нестерова А.Ю., Снесарева Е.Г. Взаимное влияние муравьев и афидофагов на биологию и экологию тли в яблоневых садах Юга России // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 44-56. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-5

Получена 20 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 14 июня 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: исследование взаимоотношений колоний различных видов яблонных тлей с двумя видами муравьев и некоторыми афидофагами на Юге России.

Исследования проводились с 2013 по 2020 гг. в яблоневых садах учхоза «Кубань» КубГАУ г. Краснодар. Площадь двух опытных участков составляла по 0,5 га. Объектами исследований являлись четыре вида тлей: *Aphis pomi*, *Dysaphis devecta*, *Dysaphis plantaginea* и *Eriosoma lanigerum*. Мониторинг проводился каждые семь суток в течение всего периода вегетации яблони, отмечались тли как отдельные особи, так и колонии, а также различные виды афидофагов.

Получены данные, что взаимоотношения хищник-жертва могут меняться в зависимости от присутствия или отсутствия муравьев. Выявлены основные виды афидофагов у всех четырех видов, наблюдаемых тлей: *Aphis pomi* – 13 видов, *Dysaphis devecta* – 4 вида, *Dysaphis plantaginea* – 7 видов, *Aphis pomi* – 1 вид. Показана зависимость увеличения колоний зелёной яблонной тли под влиянием численности муравьев.

Наиболее предпочитаемым видом для различных афидофагов является зелёная яблонная тля. Муравьи в апреле-марте часто начинают питаться в колониях *Dysaphis devecta*, но затем переходят к *Aphis pomi*. Результаты исследования могут быть использованы при планировании защитных мероприятий в яблоневых садах.

Ключевые слова

Садовая агроэкосистема, мониторинг, тли, афидофаги, муравьи.

Mutual influence of ants and aphidophages on the biology and ecology of aphids in apple orchards in southern Russia

Irina V. Balakhnina¹, Oksana Yu. Kremneva¹, Igor B. Popov^{1,2},
Alena Yu. Nesterova¹ and Ekaterina G. Snesareva¹

¹Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

²I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Principal contact

Irina V. Balakhnina, Researcher, Laboratory of Phytosanitary Monitoring of Agroecosystems, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia 350039. Tel. +79181661807

Email balakhnina@yandex.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

How to cite this article

Balakhnina I.V., Kremneva O.Yu., Popov I.B., Nesterova A.Yu., Snesareva E.G. Mutual influence of ants and aphidophages on the biology and ecology of aphids in apple orchards in southern Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):44-56. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-5

Received 20 March 2024

Revised 14 June 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to study the relationships between colonies of different species of apple aphids with two species of ants and some aphidophages in the south of Russia.

The studies were carried out from 2013 to 2020 in the apple orchards of the Kuban educational farm of the Kuban State Agrarian University in Krasnodar. The area of the two experimental plots was 0.5 hectares each. The objects of the studies were four species of aphids: *Aphis pomi*, *Dysaphis devectora*, *Dysaphis plantaginea* and *Eriosoma lanigerum*. Monitoring was carried out every seven days during the entire apple tree growing season: aphids were noted as individuals and colonies, as were various species of aphidophages.

Data were obtained showing that predator-prey relationships may change depending on the presence or absence of ants. The main types of aphidophages were identified in all four species of aphids observed: *Aphis pomi* – 13 species, *Dysaphis devectora* – 4 species, *Dysaphis plantaginea* – 7 species, *Aphis pomi* – 1 species. The dependence of the increase in green apple aphid colonies on the number of ants was shown.

The most preferred species for various aphidophages is the green apple aphid. In April-March, ants often begin feeding in *Dysaphis devectora* colonies, but then move on to *Aphis pomi*. The results of the study can be used in planning protective measures in apple orchards.

Key Words

Garden agroecosystem, monitoring, phytophage, aphidophage, aphid species, ants.

ВВЕДЕНИЕ

Тля является одним из основных вредителей так как может служить переносчиком вирусных заболеваний не только у плодовых плодовых [1], но и у овощных [2], ягодных [3] и других культурах.

На яблоне при большой численности этот фитофаг влияет на развитие побегов, снижает количество и качество плодов. Особенно сильно страдают молодые растения яблони, заселённость листьев которых может достигать 100 %. Десятилетия использования инсектицидов выработали к ним устойчивость у тлей, что усложняет регулирование численности химическими препаратами [4].

Одним из альтернативных методов является биологическое регулирование численности вредных членистоногих – активизация их естественных врагов. Для эффективного снижения численности вредных фитофагов, учитывая «запаздывание» энтомофагов необходимо знать видовой состав и особенности членистоногих, населяющих сад, а также сортовые особенности яблони. Например, современный сорт Гала, очень зависим от применяемых современных агротехнических приёмов и химических пестицидов и в основном подходит только для интенсивного садоводства. Такой сорт обычно пользуется повышенным спросом у потребителей и у розничных торговцев [5]. Это, конечно же, усложняет защиту урожая в органических садах, т.к. современные сорта могут быть менее устойчивыми не только к болезням, но и к вредителям. Кроме того, из-за отсутствия возможности снижения численности некоторых фитофагов (малочисленности естественных врагов и отсутствия эффективных биопрепаратов) некоторые вредители второго плана могут выходить на первый.

Переход к органическому земледелию в садоводстве, приводит не только к изменению протокола защитных мероприятий, но и расширению возможностей стабилизации агроэкосистемы. Увеличение биоразнообразия флоры и энтомофауны в садах – один из приёмов управления агроэкосистемой. На примере кокцинеллид было показано, что химическая система защиты сада понижает их многообразие и численность в агроэкосистеме, по сравнению с окрестными ландшафтами; а при экологическом земледелии – наоборот [6]. Сегодня существуют методы и приёмы органической защиты фруктовых деревьев от вредителей, которые могли бы быть использованы и в традиционном садоводстве, но не применяются по ряду причин, в том числе с относительной сложностью биологического контроля, проблемами с экономической оценкой мероприятий и др. [7].

Было установлено, что разнотравье способствует повышению разнообразия и численности естественных врагов по сравнению с травяным покровом на границах полей [8].

На яблоне всего в мире отмечено не менее 15 видов тлей, количество которых сильно варьирует в зависимости от климатической зоны выращивания. Из них наиболее вредоносными во всем мире считаются: зеленая яблоневая тля (*Aphis pomi* de Geer, 1773), (Hemiptera, Aphididae), яблонно-подорожниковая тля (*Dysaphis plantaginea* Passerini, 1860) (Hemiptera: Aphididae) и кровяная яблоневая тля (*Eriosoma lanigerum* Hausmann, 1802) (Hemiptera: Eriosomatidae)

[9]. В Турции в районе Испарты в плодовых садах зарегистрировано четырнадцать видов тлей, принадлежащих к восьми родам и трем семействам надсемейства Aphidoidea [10]. В Южной Болгарии на яблоне в 2006–2008 гг. были зарегистрированы семь видов тли (Hemiptera: Aphididae): *Rhopalosiphum insertum* Walker, 1849 (яблоневая тля), *D. plantaginea* (яблонно-подорожниковая тля), *Dysaphis devector* Walker, 1849 (красногалловая тля), *Macrosiphum euphorbiae* Thomas, 1878 (картофельная тля), *Aphis spiraeicola* Patch, 1914 (тля спирея/зеленая цитрусовая тля), *A. pomi* (зеленая яблоневая тля) и *E. lanigerum* (кровяная тля). Доминирующим видами были *D. plantaginea*, обнаруженные в 97,8 % обследованных садов. Два вида зеленых тлей из рода *Aphis* были обнаружены в 96,4 % садов [11].

В 2013 и 2015 годах в Тунисе в двух разных садах были зарегистрированы три вида тлей: *A. pomi*, *D. plantaginea* и *E. lanigerum*. Доминантным видом являлась *A. pomi*, и она наблюдалась в обоих садах в начале марта. *D. plantaginea* и *E. lanigerum* отмечались в конце марта и апреле [12].

В Урмии (Иран) в яблоневых садах в 2010 и 2011 гг. проводился мониторинг численности и разнообразия видов тли и кокцинеллид. Было отмечено, что в 2010 году *A. pomi* доминировала среди тлей (55,5 %), за ней следовала *D. plantaginea* (34 %), причем наибольшая численность тли была зарегистрирована в июне и июле. Однако в 2011 году произошла вспышка численности *E. lanigerum* (57 %), за ней следовали *D. plantaginea* (21,5 %) и *A. pomi* (18 %), а численность тли была высокой с середины мая до начала октября [13].

Видовой состав тлей на яблоне может изменяться с изменением агротехнических мероприятий, так по данным Васильева В.П. на яблоне в Крыму в 1980-х годах отмечалось 11 видов тлей, а в 2020 году выявлено – 5: зеленая яблонная (*Aphis pomi* Deg.), серая яблонная (красногалловая) (*Dysaphis devector* Walk.), яблонно-злаковая (*Rhopalosiphum insertum* Walk.), яблонно-подорожниковая (*Dysaphis plantaginea* Passerini) и кровяная тля (*Eriosoma lanigerum* Hausm), некоторые виды исчезли: полосатая яблонная тля (*Dysaphis affinis* Mordv.), валериановая (*Dysaphis brancol* C.B.) и мушмуловая (*Qvatus insitus* Walk.), а из 4-х видов красногалловых тлей встречается только серая яблонная (красногалловая). Все исчезнувшие виды характеризуются двудомным циклом развития и имеют промежуточных хозяев (в летний период мигрируют на различные травянистые растения). В современных интенсивных садах сорная растительность в весенне-летний период уничтожается гербицидами [14].

Известно, что у тлей есть ряд афидофагов, контролирующих их численность. Наиболее часто упоминающимися являются кокцинеллиды (Coccinellidae), сирфиды (Syrphidae) и златоглазки (Chrysopidae). Например, в яблоневых питомниках в штате Химачал-Прадеш (Индия) встречается девять видов кокцинеллид (Coleoptera: Coccinellidae) и три вида сирфид (Diptera: Syrphidae), хищницами на *A. pomi*. Кокцинеллиды: *Cheilomenes sexmaculata* F., *Coccinella septempunctata* L., *Coccinella transversalis* F., *Coelophora bissellata* Mulsant, *Coelophora saucia* Mulsant, *Harmonia dimidiata* F., *Hippodamia variegata* Goeze,

Oenopia sauzeti Mulsant и *Priscibrumus uropygialis* Mulsant, а к сирфидам — *Betasyrphus serarius* Wiedemann, *Episyrphus balteatus* De Geer и *Metasyrphus confrater* Wiedemann. Наиболее эффективными для естественного подавления *A. pomi* являются кокциеллиды *C. sexmaculata*, *C. bissellata*, *C. saucia* и *H. Dimidiata* [10].

В Онтарио (Канада) установлено (в том числе с проведением серологического анализа) несколько видов афидофагов *A. pomi*. Наиболее многочисленными хищниками являлись: *Acholla multispinosa* L., *Campylomma verbasci* (Meyer), *Coccinella septempunctata* L. и *Adalia bipunctata* L., а также личинки кокциеллид и златоглазок. Индекс эффективности, разработанный для оценки хищников-афидофагов, показал, что наибольшим потенциалом обладали личинки *Chrysopa* sp. и взрослые особи *C. septempunctata* в 1987 г., а также взрослые особи *C. septempunctata* и *C. verbasci* в 1988 г. [15].

В северо-центральной части штата Вашингтона (США) было обнаружено 39 хищников и два паразитоида, атакующих яблоневую тлю *A. pomi*. Ранневесенний контроль *A. pomi* зависел от паразитоидов тлей, которые не могли завершить развитие, но убивали своего хозяина. Запаздывание энтомофагов *A. pomi* в июне отмечавшееся в большинстве лет наблюдений способствовало быстрому росту колонии тли в это время. Хищники, включая Forficulidae, Nabidae, Lygaeidae и Phalangidae, помогали замедлить рост популяции тлей в этот период. В летнее время обеспечивали контроль различной эффективности Coccinellidae, Chrysopidae, Miridae, Syrphidae и Chamaemyiidae. Миграции эффективных хищников яблоневой тли происходили из персиковых садов, аборигенных деревьев и кустарников, некоторых декоративных растений и сорняков [16].

Одними из основных афидофагов на Юге России являются кокциеллиды. В условиях Краснодара отмечено 25 видов коровок, из которых 14 питаются тлями [17].

Традиционная защита яблоневых садов в основном проводится с помощью химических пестицидов, применение которых без учёта активных веществ, увеличения числа обработок и д.т. ведёт к быстрому увеличению резистентности тлей [18]. Альтернативными способами защиты яблони будут – выращивание устойчивых сортов, активизация деятельности энтомофагов, применение биопрепаратов. В связи с этим целью этой работы является изучение видового состава тлей, их афидофагов и влияния защиты колоний муравьями.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в яблоневых садах учхоза «Кубань» КубГАУ г. Краснодар с 2013 по 2020 гг. Площадь двух опытных участков составляла по 0,5 га. Первый участок «Органический сад» – без применения химических пестицидов; второй «Экологический» – используются биологические препараты и химические, но не выше 3 класса опасности. Объектами исследований являлись следующие виды тлей: *Aphis pomi*, *Dysaphis devecta*, *Dysaphis plantaginea* и *Eriosoma lanigerum*. Их численность учитывалась визуальным методом при маршрутных обследованиях на различных стадиях их развития, и оценивалась в баллах от I до V по

Полякову И.Я. (1958), где I балл от 1 до 5 экз., II от 6 до 25 экз., III от 26 до 50 экз., IV от 51 до 75 экз., V >76. Экземпляров на лист (исключение составляла кровавая тля).

Сбор афидофагов осуществлялся по стандартным методикам [19], их определение производилось по Определителю [20].

Фазы развития яблони [21; 22].

Мониторинг тлей проводился каждые семь суток.

Aphis pomi — это голоциклический и однодомный вид тли, широко распространенный в северном полушарии, может вызывать существенные экономические потери. Имаго зелёного цвета, около двух мм в длину. Зимуют оплодотворённые яйца на верхушках побегов яблони [23]. Зелёная яблонная тля в условиях Краснодарского края образует 16–17 поколений за сезон [24].

Dysaphis plantaginea является одним из основных вредителей яблони в северном полушарии. Даже при низкой численности тля вызывает скручивание листьев. Имаго зеленовато-коричневого цвета, личинки серовато-розового цвета, покрытые серым восковым налётом. Форма тела основательницы и бескрылой девственницы – грушевидная, размер тела до 2,3 мм. Зимуют яйца в трещинах коры скелетных ветвей и штамба яблони, а также на молодых побегах около почек. Весной и в начале лета на яблоне образуется от пяти до семи поколений, с середины мая по июнь происходит так же миграция на вторичного хозяина, виды *Plantago*, особенно *P. lanceolata* L. [25].

Dysaphis devecta – развивается только на яблони и не имеет альтернативного хозяина. Зимуют оплодотворённые яйца на яблоне. *D. devecta* редко упоминается в литературе, что может быть связано с несколькими причинами 1 – она менее вредоносна и 2 – трудно отличится от *D. plantaginea*. Они отличаются по повреждению листьев – у *D. devecta* скручиваются края листовой пластинки в разные стороны [26], образуя окрашенные плотные вздутия – галлы, а у *D. plantaginea* – продольное скручивание листьев без окрашивания и галлов.

Eriosoma lanigerum (Hausmann, 1802), она поражает как побеги, так и корневую часть яблони. Сильное заражение снижает вегетативный рост и жизнеспособность деревьев и, следовательно, продуктивность и качество плодов является важнейшим фитофагом-вредителем для яблоневых садов по всему миру, и считается критически важным для экономики производства яблок [27]. В Краснодарском крае только бесполое поколение, так как второй хозяин – американский или водяной вяз (*Ulmus americana* L.) у нас отсутствует по нескольким причинам – он мало декоративный, влаголюбивый и сейчас находится на грани исчезновения у себя на родине из-за восприимчивости к голландской болезни вяза (возб. гриб *Ophiostoma ulmi*) [28] В России есть очень похожие виды, например, европейский белый или гладкий вяз *Ulmus laevis* Pall., но для развития поколения красной кровавой тли необходим именно американский вид вяза, поэтому и развивается в условиях Юга России только бесполое поколение. Зимуют личинки на корнях, а весной поднимаются в крону деревьев.

Учеты проходов муравьев по стволу дерева к колониям зелёной яблонной тли (*Aphis pomi* Deg.), велись с помощью видеосъемки штамбов деревьев на

контроле и варианте (в 4-х повторностях) проводилась в течение 3 минут, затем определялось среднее число проходов муравьев по вариантам, после чего данные пересчитывались на 1 час.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период 2013 по 2020 гг. нами изучены взаимоотношения между видами тлей: зелёной яблонной (*A. pomi*) и красногалловой яблонной (*D. devecta*) и их энтомофагами. В течение 2018–2020 гг. были также изучены ещё два вида тлей: яблонно-подорожниковая (*D. plantaginea*) и кровавая тля (*E. lanigerum*) (табл. 1).

Выход тлей *Aphis pomi* из оплодотворённых яиц и совпадал с набуханием почек яблони в марте-апреле. Личинки собирались на их верхушках, высасывая сок, а при распускании – переходили на нижнюю часть листьев и побегов. В фазу «розовый бутон» отмечалось первое поколение бескрылых живородящих самок, дающих начало целому ряду девственных поколений. Расселение зелёной яблонной тли происходило с помощью крылатых партеногенетических самок-расселительниц, отрождающихся вместе бескрылыми. Крылатая тля заселяла новые растения и образовывала на них новые колонии. Популяции этого фитофага увеличивались в начале мая и достигали высоких пиков численности в июле. Существенной разницы в развитии зелёной яблонной тли на наблюдаемых участках не выявлено.

Максимальное количество крылатых морф на контрольных участках наблюдалась с мая по август (см. табл. 1), а их наибольшая численность была преимущественно в больших скученных колониях.

На заселённых яблонях отмечалась повышенная активность муравьёв, защищающих колонии тлей, в основном это лазиус чёрный (*Lasius niger* Linnaeus, 1758) встречавшийся на 60 % деревьев яблони с колониями тлей, защищаемых муравьями, а на 40 % деревьях – садовый муравей (*Formica cinerea* Mayr, 1853). Они нападают на афидофагов и других насекомых в колониях тлей и за её пределы. Муравьи получают дополнительное питание в виде медвяной росы, что способствует разрастанию муравейника. Нами проводились учёты проходов муравьёв по стволу дерева к колониям зелёной яблонной тли в 2006 году, которые показали, что в крупных муравейниках, находящихся возле ствола яблони, заселённой большими колониями тлей, за 1 час рабочие муравьи совершают в среднем 540 проходов. В нашем опыте изоляцией колоний тлей от муравьёв на длительный период, мы не только снижали численность тлей в результате деятельности афидофагов, но и ослабляли муравьиную семью, контролирующую данные колонии. Не давая использовать «медвяную росу», мы заставляли муравьёв искать другие источники питания. Если через время (около двух недель) появлялась возможность снова контролировать вновь возникающие колонии тлей, то число проходов муравьёв в среднем составляло 120 проходов за час, что в четыре с половиной раза меньше, чем в контроле. Кроме того, «медвяная роса», оставшаяся на листьях растений и недоступная муравьям, способствует привлечению, а также служит кормом для различных видов перепончатокрылых (в том числе наездников различных чешуекрылых) и мух (в том числе и паразитов). Это дает основание полагать, что опытные

деревья (с клеевыми кольцами) сыграли роль природного инсектария. Повысив общую плотность энтомофагов в саду. В органическом саду муравьиные семьи встречались чаще – на 20 деревьев в среднем 4 больших семьи, в экологическом 1–2. Число проходов муравьёв-фуражиров по стволу яблони таких семей во второй декаде мая составляло до 700 проходов в час в органическом саду, и до 300 в экологическом.

Dysaphis plantaginea яблонно-подорожниковая тля (рис. 1) на Юге России отрождалась в марте – апреле, практически совпадая с зелёной яблонной тлей (табл. 1). Первое или два поколения выявлялись на бутонах яблони и распускающихся листьях. К началу цветения, листья, заселённые тлей, начинали скручиваться, обеспечивая таким образом защиту для остальных поколений. К концу июня тля полностью переселялась на вторичного хозяина. В конце лета – начале осени, тля возвращалась на яблоню, где появлялось половое поколение – яйцекладущие самки. Питание тлей в основном на крупных жилках листьев.

Dysaphis devecta красногалловая тля (рис. 1) в Краснодарском крае выходила так же, как и зелёная яблонная тля – марте-апреле. При высокой численности образование колоний отмечалось с фазы «мышинного ушка». Эти колонии были видны издалека из-за окрашенных галлов от жёлтого до красного цветов. Обычно в колониях этих тлей начиналось питание муравьёв обоих видов *L. niger* и *F. cinerea*. Позже в конце марта – начале мая, когда образовывались колонии зелёной яблонной тли, то муравьи полностью переходили к ним. Питание красногалловой тли отмечалось в основном на мелких жилках листьев.

Eriosoma lanigerum наблюдалась нами с 2018 года на побегах яблони небольшими колониями на отдельных растениях в экологическом саду, в органическом она не выявлена.

За два года наблюдений с 2013 по 2014 численность *A. pomi* и *D. devecta* была незначительной и редкие колонии не превышали I–II баллов (рис. 2). Однако в 2015 году произошла вспышка численности *A. pomi* в органическом саду, достигшая своего пика во второй декаде июня с образованием колоний на отдельных побегах яблони до III–IV баллов. Сильное увеличение численности тлей в колониях наблюдалась очагово и только на отдельных деревьях, также в это время нами отмечалось большое видовое разнообразие афидофагов, хотя их численность несколько запаздывала по сравнению с развитием вредителя в крупных колониях, но была достаточной для предотвращения заражения соседних растений. Не смотря на защиту колоний муравьями, к концу третьей декады июня численность тлей уже не превышала II баллов, а в первой декаде июля колонии фитофага были полностью уничтожены. В экологическом саду численность тлей не превышала II баллов, а колонии были уничтожены так же в первой декаде июля.

В 2016 году снова наблюдалось повышение численности *A. pomi* на отдельных деревьях, но численность отдельных колоний не превышала III баллов. К концу второй декады июня численность тлей не превышала II баллов, а ко второй декаде июля колонии фитофага были полностью уничтожены комплексом афидофагов. В экологическом саду численность тлей не превышала II баллов.



Рисунок 1. Повреждения и колонии двух видов тлей: а, б – красногалловая тля (*D. devecta*);
с, д – яблонно-подорожниковая тля (*D. plantaginea*)

Figure 1. Damage and colonies of two species of aphids: а, б – red gall aphid (*D. devecta*);
с, д – apple-plantain aphid (*D. plantaginea*)

В 2015–2016 годах произошло увеличение численности муравьёв, с чем и связана вспышка численности тлей (рис. 3). В течение ряда лет, например, 2013–2014 годах, колонии муравьёв, охранявшие тлей резко снижали свою численность, и к третьей декаде мая практически исчезали, что позволяло энтомофагам эффективно сдерживать численность вредителя, но в 2015–2016 годах сложились благоприятные условия для развития нескольких муравейников, что и вызвало рост численности колоний тлей. Для примера, муравьиные семьи в молодых яблоневых садах центральной зоны Краснодарского края могут успешно разводить тлей до середины-конца августа, а в некоторых случаях и до октября месяца.

В 2017 году развитие *D. devecta* в садах сдерживалось афидофагами на хозяйственно неощутимом уровне. А в первой декаде июля численность *A. pomi* благодаря афидофагам не превышала I балла.

В 2018 году была зарегистрирована вспышка численности зелёной яблонной тли *A. pomi*, которая была подавлена за счёт обработки битоксибациллином, а затем и природными энтомофагами. В этом же году наблюдалось массовое появление *D. plantaginea* и очагово – красной кровяной тли (*E. lanigerum*). Оба вида регистрировались только на экологическом участке.

В 2019 году на экологическом участке была отмечена вспышка численности *E. lanigerum* – небольшие колонии встречались на отдельных растениях в

экологическом саду. Численность *E. lanigerum* на Юге России в основном сдерживает Афелинус (*Aphelinus mali* Haldeman, 1851) [29], но, возможно, этот год был неблагоприятным для популяции энтомофага. На участке органического сада этот вид тлей не был отмечен.

В 2020 году снова регистрировалось повышение численности *A. pomi* на обоих участках, но было подавлено деятельностью природных афидофагов. Основными энтомофагами зелёной яблонной тли в течение всего времени наблюдения с 2013 по 2020 годы являлись 13 видов и родов (где виды не были определены). Из всего этого списка афидофагов, приведённых в таблице 2, муравьи не трогают в колониях тлей в дневное время личинок: мух серебрянок, сцимнуса и хищной галлицы. Остальные виды могут питаться тлями после ухода муравьёв вечером и до утра, в дневное время находясь в различных укрытиях.

У красногалловой яблонной тли нами наблюдались 4 вида и рода энтомофагов. Эта малочисленность связана с образованием плотных галлов, под защитой которых находятся колонии данного вида тлей (табл. 2).

Основными энтомофагами яблонно-подорожниковой яблонной тли были 7 видов и родов (табл. 2). Возможно, этот вид тлей являлся плохим кормом для многих энтомофагов.

Единственным энтомофагом, наблюдавшимся у красной кровяной тли, являлся Афелинус.

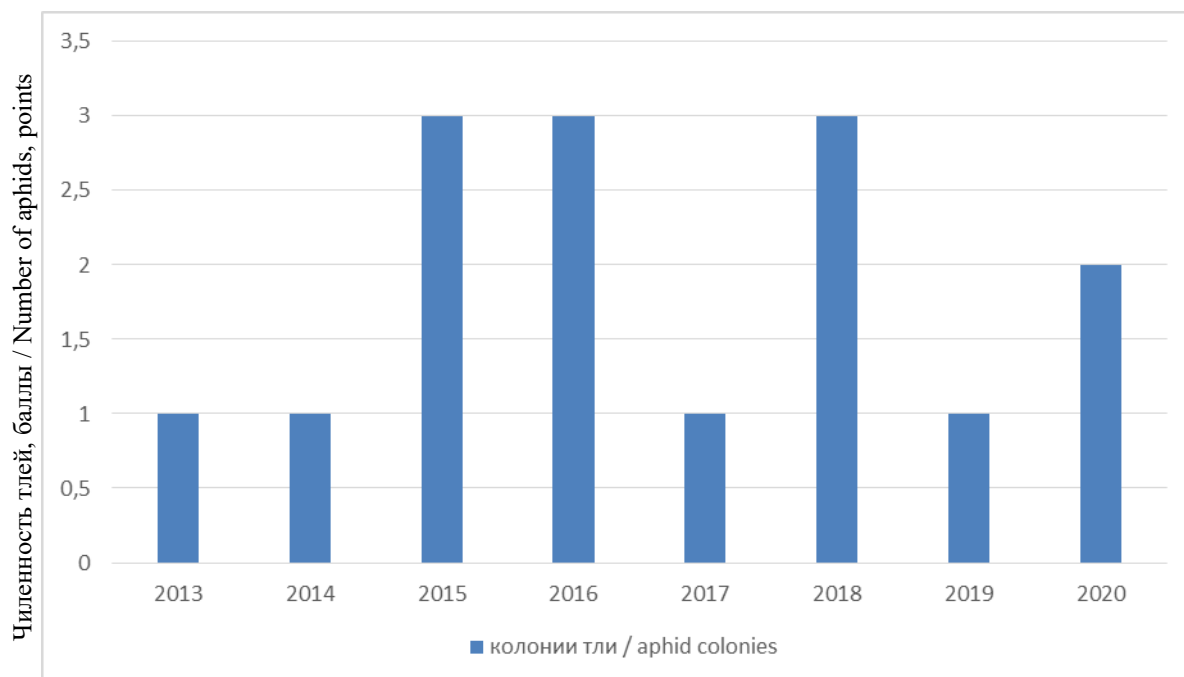


Рисунок 2. Численность колоний *A. pomi* в среднем по годам в органическом саду учхоза «Кубань» Баллы (2013–2020 гг). I декада мая – I декада июля

Figure 2. Average number of *A. pomi* colonies by years in the organic garden of the Kuban educational farm Values for 2013–2020. First ten days of May to first ten days of July

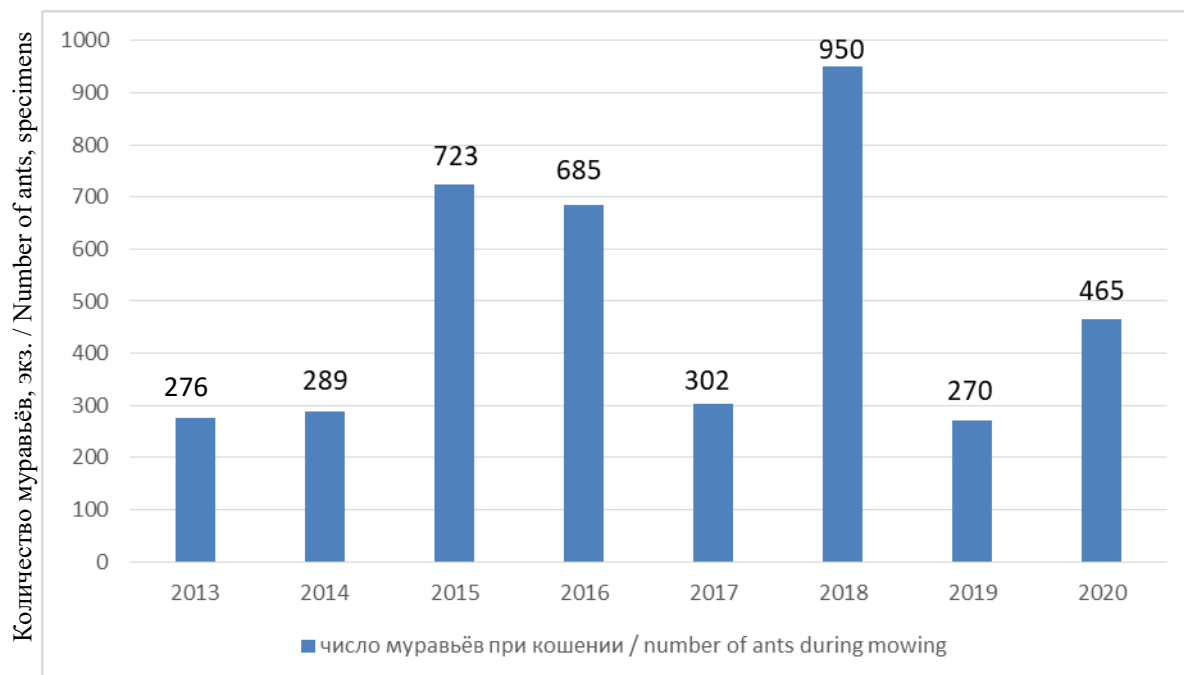


Рисунок 3. Общая численность муравьёв за I декаду мая – I декаду июля при кошении сачком на 50 взмахов по кронам в органическом саду Учхоза Кубань.экз (2013–2020 гг)

Figure 3. The total number of ants for the first ten days of May to the first ten days of July when moving 50 swings of a net along the crowns in the organic garden of the Kuban educational farm. Examples for 2013–2020

Кроме перечисленных энтомофагов в колониях первых трёх видов тлей, встречались и другие, например, мумифицированные отдельные экземпляры фитофагов и др., но численность была значительно ниже приведённых энтомофагов в списках.

Нами также проводились исследования основных энтомофагов тлей в самостоятельных колониях и охраняемых муравьями (табл. 3). Личинки

сирфид, как правило не выживали, достигая среднего возраста, т.к. уничтожались муравьями, тоже происходило с личинками всех возрастов и имаго божьих коровок. Исключением являлись личинки сцимнуса (*Scymnus* spp.) защищённые восковым налётом, при осмотре которых муравьи не принимали их за врагов для колоний тлей.

Таблица 1. Развитие комплекса тлей на яблоне на юге России (2013–2020 гг.)**Table 1.** Development of aphid complexes on apple trees in southern Russia (2013–2020)

Фаза развития яблони Apple tree development phase	Виды тлей и их формы Types of aphids and their forms			
	<i>Aphis pomi</i>	<i>Dysaphis devecta</i>	<i>Dysaphis plantaginea</i>	<i>Eriosoma lanigerum</i>
«набухание почек» "the swelling of the buds"	Я ¹ , ЛО ² младших возрастов Ya ¹ , LO ² younger ages	Я, ЛО младших возрастов Ya, LO younger ages	Я, ЛО младших возрастов Ya, LO younger ages	перезимовавшие личинки младших возрастов Overwintered larvae of younger ages
«распускание почек» фаза «зелёного конуса» "bud burst" "green cone" phases	ОС ³ и личинки БД ⁴ OS ³ and larvae BD ⁴	ОС и личинки БД OS and larvae BD	ОС и личинки БД OS and larvae BD	БД BD
«розовый бутон» "rosebud"	БД, СР ⁵ , Л ⁶ BD, SR ⁵ , L ⁶	БД, СР, Л BD, SR, L	БД, СР и Л BD, SR and L	БД и Л BD and L
«до цветения – цветение» "before flowers – bloom"	БД, СР, Л BD, SR, L	БД, СР, Л BD, SR, L	БД, СР и Л BD, SR and L	БД и Л BD and L
«после цветения – завязывание плодов» "after flowering – fruit setting"	БД, СР, Л BD, SR, L	БД и Л BD and L	БД, СР и Л BD, SR and L	БД и Л BD and L
размер плода «лещина» size of the fruit "hazel"	БД, СР, Л BD, SR, L	БД, СР, Л, ♂ ⁸ и ♀ ⁹ BD, SR, L, ♂ ⁸ and ♀ ⁹	БД, СР и Л BD, SR and L	БД и Л BD and L
размер плода «грецкий орех» fruit size "walnut"	БД, СР, Л BD, SR, L	БД, СР, Я, ♂ и ♀ BD, SR, Ya, ♂ and ♀	БД, СР BD, SR	БД и Л BD and L
«рост плодов» "fruit growth"	БД, СР, Л BD, SR, L	Я Ya	Не выявлено Not found	БД и Л BD and L
«налив плодов» "fruit filling"	БД, СР, Л BD, SR, L	Я Ya	Не выявлено Not found	БД и Л BD and L
«созревание плодов» "fruit ripening"	БД, СР, Л, ♂ и ♀ BD, SR, L, ♂ and ♀	Я Ya	П ⁷ P ⁷	БД, Л BD, L
«начало осеннего окрашивания листвы» "beginning of autumn leaf colouring"	БД, ♂ и ♀ BD, ♂ and ♀	Я Ya	П, ♂ и ♀ P, ♂ and ♀	БД, Л BD, L
«начало листопада» "beginning of leaf fall"	БД, ♂ и ♀, Я BD, ♂ and ♀, Ya	Я Ya	♂ и ♀, Я ♂ and ♀, Ya	БД, Л BD, L
«полное окрашивание листвы – конец листопада» "full colouration of foliage – end of leaf fall"	Я Ya	Я Ya	Я Ya	личинки первого и второго возрастов, уходящие на зимовку first and second stage larvae going into overwintering
количество поколений тлей number of generations of aphids	12–13 12–13	4 4	4–6 4–6	до 17 up to 17

Примечание: Я¹ – яйца, ЛО² – личинки основательницы, ОС³ – самки основательницы, БД⁴ – бескрылые девственницы;

СР⁵ – расселительницы; Л⁶ – личинки; П⁷ – полоноски, ♂⁸ самцы, ♀⁹ яйцекладущие самки

Note: Ya¹ – eggs, LO² – foundress larvae, OS³ – foundress females, BD⁴ – wingless virgins; SR⁵ – dispersers; L⁶ – larvae;

P⁷ – winged sex-bearing females, ♂⁸ males, ♀⁹ oviparous females

Таблица 2. Основные афидофаги тлей на юге России (2013–2020 гг.)**Table 2.** The main aphidophages of aphids in southern Russia (2013–2020)

№	Афидофаги Aphidophages	<i>Aphis pomi</i>	<i>Dysaphis devecta</i>	<i>Dysaphis plantaginea</i>	<i>Eriosoma lanigerum</i>
1	<i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus, 1758 (имаго / imago)	+			
2	<i>Adalia bipunctata</i> Linnaeus, 1758	+		+	
3	<i>Harmonia axyridis</i> Pallas, 1773	+		+	
4	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> Linnaeus, 1758	+			
5	<i>Scymnus</i> spp.	+			
6	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> Rondani, 1847	+		+	
7	<i>Chrysoperla carnea</i> Stephens, 1836	+	+	+	
8	Syrphidae, gen., sp.	+	+	+	
9	<i>Leucopis</i> sp.	+		+	
10	<i>Campylomma verbasci</i> Meyer-Dür, 1843	+	+	+	
11	<i>Orius niger</i> Wolff, 1811	+	+		
12	Salticidae, gen., sp.	+			
13	Trombidiidae	+			
14	<i>Aphelinus mali</i> Haldeman, 1851				+

Имаго некоторых видов, например, сирфид, златоглазок, мух серебрянок и д.р. сами не принимали участие в регуляции численности тлей т.к. не питаются ими, но также они практически не встречались в охраняемых колониях. В зависимости от численности муравьёв или в дневное время могут находиться в укрытиях (в стороне от маршрутов муравьёв), но рядом с колониями некоторые виды хищных клопов –

кампиломма, ориус, а также личинки златоглазок, иногда имаго божьих коровок, активизирующиеся в вечерние часы, после ухода муравьёв. Отсутствие личинок в колониях тлей некоторых видов кокциnellид объясняется тем, что зелёная яблонная тля для них не является основным кормовым видом – это *C. septempunctata* и *P. quatuordecimpunctata*.

Таблица 3. Энтомофаги зелёной яблонной тли в колониях, охраняемых муравьями и без них Органический и Экологический сады, на Юге России (2013–2020)**Table 3.** Entomophages of green apple aphid in colonies protected by and without ants in organic and ecological gardens in southern Russia (2013–2020)

Колонии тлей с муравьями Aphid colonies with ants	Частота встречаемости Frequency of occurrence		Колонии тлей без муравьёв Aphid colonies without ants	Частота встречаемости Frequency of occurrence	
	Органический сад Organic garden	Экологический сад Ecological garden		Органический сад Organic garden	Экологический сад Ecological garden
<i>C. septempunctata</i>			<i>C. septempunctata</i>		
И (I)	+	+	И (I)	+++	+++
Л (L)	-	-	Л (L)	-	-
<i>A. bipunctata</i>			<i>A. bipunctata</i>		
И (I)	+	+	И (I)	+++++	+++++
Л (L)	-	-	Л (L)	+++++	+++++
<i>H. axyridis</i>			<i>H. axyridis</i>		
И (I)	+	+	И (I)	+++++	+++++
Л (L)	-	-	Л (L)	+++++	+++++
<i>P. quatuordecimpunctata</i>			<i>P. quatuordecimpunctata</i>		
И (I)	-	-	И (I)	++	+
Л (L)	-	-	Л (L)	-	-
<i>Scymnus</i> spp.			<i>Scymnus</i> spp.		
И (I)	-	-	И (I)	++	+
Л (L)	++	++	Л (L)	+++	+++
<i>A. aphidimyza</i>			<i>A. aphidimyza</i>		
И (I)	-	-	И (I)	-	-
Л (L)	++++	+++	Л (L)	+++++	+++++
<i>C. carnea</i>			<i>C. carnea</i>		
И (I)	-	-	И (I)	+	+
Л (L)	-	-	Л (L)	++++	+++
Syrphidae, gen., sp.			Syrphidae, gen., sp.		
И (I)	-	-	И (I)	+++	+++
Л (L)	-	-	Л (L)	+++	+++

<i>Leucopis</i> sp.			<i>Leucopis</i> sp.		
И (I)	+	+	И (I)	++	++
Л (L)	+++	++	Л (L)	++++	++++
<i>C. verbasci</i>			<i>C. verbasci</i>		
И (I)	++	+++	И (I)	+++++	+++++
Л (L)	+	+	Л (L)	+++	+++
<i>Orius</i> sp.			<i>Orius</i> sp.		
И (I)	+	+	И (I)	+++++	+++++
Л (L)	-	-	Л (L)	+++	+++
Salticidae, gen., sp.			Salticidae, gen., sp.		
И (I)	+	+	И (I)	+++	+++
Л (L)	-	-	Л (L)	++	++
Trombidiidae			Trombidiidae		
И (I)	-	-	И (I)	++	+
Л (L)	-	-	Л (L)	-	-

Примечание: И – имаго, Л – личинки, – – не отмечено, + – очень редко встречается (10 % проб), ++ – редко встречается (11–25 %), +++ – обычно (26–50 %), ++++ – часто встречается (51–75 %), +++++ – очень часто встречается (больше 75 %)

Note: I – imago, L – larvae, – – not noted, + – very rare (10% of samples), ++ – rare (11–25%), +++ – common (26–50%), ++++ – often found (51–75%), +++++ – very often found (more than 75%)

Оба вида муравьёв *L. niger* и *F. cinerea* эффективно снижают численность афидофагов в защищаемых колониях и в то же время на соседних деревьях, где отсутствуют муравьи тлей нет. Размещение на стволах деревьев клеевых ловчих поясов, препятствующих проходу муравьёв в колонии тлей, приводит к резкому накоплению энтомофагов, преимущественно клопов (*C. verbasci* и *Orius niger*) и имаго кокцинеллид, уничтожающих тлей за 4–5 сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы наблюдали с 2013 по 2020 гг. четыре вида тлей, отличных в своём развитии и вредоносности. Наименьшее количество энтомофагов отмечалось у наиболее вредоносного адвентивного вида, развивающегося только бесполом путём – кровяной тли. Наибольшее у зелёной яблонной тли, колонии которой являются наиболее привлекательным видом для муравьёв *L. niger* и *F. cinerea* эффективно её защищавших. В охраняемых колониях количество энтомофагов и их разнообразие было значительно меньше, что приводило к росту колоний.

Проведённые исследования показали, что афидофаги в яблоневых садах играют значительную роль в регуляции численности тлей и применение биопрепаратов или химических пестицидов малого класса опасности точно, где это необходимо из-за муравьиных семей, например, может существенно снизить затраты на защиту сада от этих фитофагов. Активизация природный энтомофагов позволит стабилизировать экологическое состояние агроэкосистемы, повысить уровень рентабельности яблоневых садов и безопасности окружающей природной среды.

Полученные данные имеют важное значение для проведения мониторинга и планирования защитных мероприятий в садовой агроэкосистеме, так как дают представление об особенностях биологии основных видов тлей, их взаимодействии с муравьями и афидофагами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № ФГРН-2025-0007.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on the topic No FGRN-2025-0007.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Дьяконов К.П., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Романова С.А. Взаимоотношения в системе «Вирус — вектор — агробиоценоз» // Защита Растений. Известия ТСХА. 2005. N 3. С. 107–115.
- Малякко А.А., Жевора С.В., Марухленко А.В., Борисова Н.П., Ториков В.Е. Мониторинг переносчиков вирусов картофеля // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. Т. 90. N 2. С. 27–34. DOI: 10.52691/2500-2651-2022-90-2-27-34
- Зейналов А.С. Роль биологических и экологически безопасных средств в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. N 6. С. 46–49. DOI: 10.31857/S2500262721060089
- Rousselin A., Bevacqua D., Sauge M., Lescouret F., Mody K., Jordan M. Harnessing the aphid life cycle to reduce insecticide reliance in apple and peach orchards. A review // Agronomy for Sustainable Development. 2017. V. 37. Article number: 38. DOI: 10.1007/s13593-017-0444-8
- Shaw B., Nagy C., Fountain M. Organic Control Strategies for Use in IPM of Invertebrate Pests in Apple and Pear Orchards // Insects. 2021. V. 12. Article id: 1106. DOI: 10.3390/insects12121106
- Wojciechowicz-Zytka E., Wilk E. The Quantity and Quality Structure of Coccinellids (Coleoptera, Coccinellidae) in Apple Orchards with Integrated and Ecological Management and in Their Surroundings // Polish Journal of Environmental Studies. 2022. V. 31. P. 2895–2903. DOI: 10.15244/pjoes/143764
- Shields M., Johnson A., Pandey S., Cullen R., González-Chang M., Wratten S., Gurr G. History, current situation and challenges for conservation biological control // Biological Control. 2019. V. 131. P. 25–35. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.12.010
- Clem S., Harmon-Threatt A. Field Borders Provide Winter Refuge for Beneficial Predators and Parasitoids: A

- Case Study on Organic Farms // Journal of Insect Science. 2021. N 21. P. 1–6. DOI: 10.1093/jisesa/ieab027
9. Ben Halima Kamel M., Ben Hamouda M.H. A propos des arbres fruitiers de Tunisie // Notes fauniques de Gembloux. 2005. N 58. P. 11–16.
10. Kumari M. Records of predators of the green apple aphid, *Aphis pomi* De Geer, from Himachal Pradesh // Environment Conservation Journal. 2019. N 20. P. 31–33. DOI: 10.36953/ECJ.2019.1008.1205
11. Andreev R., Rasheva D., Kutinkova H. Occurrence and population density of aphids in apple orchards of south Bulgarian // Journal of Plant Protection Research. 2013. N 53(4). P. 353–356. DOI: 10.2478/jppr-2013-0053
12. Mdellel L., Ben H.K. Apple aphid's species and their natural enemies in Tunisian orchards. Journal of new sciences // Agriculture and Biotechnology. 2015. V 24(4). P. 1108–1114.
13. Shayesteh N., Ziaee M., Ranji H. Species diversity of aphids (Homoptera: Aphididae) and coccinellids in apple orchards of Urmia, Northwest of Iran // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2015. N 80(3). P. 163–167.
14. Балыкина Е.Б., Ягодинская Л.П., Данильчук А.А. Видовой состав тлей (отряд Homoptera, сем. Aphididae) в плодовых агроценозах Крыма // Бюллетень ГНБС. Ялта. 2020. Вып. 137. С. 16–22. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-137-16-22
15. Hagley E.A.C., Allen W.R. The green apple aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), as prey of polyphagous arthropod predators in Ontario // The Canadian Entomologist. 1990. V. 122. N 6. P. 1221–1228. DOI: 10.4039/Ent1221221-11
16. Devin P.C., Stanley C.H. Natural Enemies and Their Effects on Apple Aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), Colonies on Young Apple Trees in Central Washington // Environmental Entomology. 1984. V. 13. P. 469–481. DOI: 10.1093/ee/13.2.469
17. Цыгикало И.С., Попов И.Б., Хомицкий Е.Е. Божьи коровки (Coleoptera: Coccinellidae) города Краснодара и их роль в биологическом подавлении фитофагов // Экосистемы. 2021. Т. 28. С. 88–96.
18. Diba H., Sauphanorb B., Capowiez Y. Effect of management strategies on arthropod communities in the colonies of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in south-eastern France // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2016. V. 216. P. 203–206. DOI: 10.1016/j.agee.2015.10.003
19. Кустов С.Ю., Гладун В.В., Попов И.Б., Белый А.И. Сбор, учёт и коллекционирование насекомых. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2020, 82 с.
20. Амолин А.В., Антропов А.В., Арзанов Ю.Г. и др. Определитель насекомых юга России. Ростов-на-Дону: Foundation, 2016, 1036 с.
21. Кузин А.И., Трунов Ю.В. Влияние пофазных систем некорневых подкормок яблони на формирование компонентов продуктивности в интенсивном саду // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. N 5. С. 61–63.
22. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Черников Е.А., Дрыгина А.И., Лебедевский И.А., Узловатый Д.В., Мязина А.Н. Миграция биогенных элементов в чернозёме типичном при Фертигации плодовых насаждений // Агрохимия. 2021. N 3. С. 60–70. DOI: 10.31857/S0002188121040050
23. Milenković S., Marčić D., Ružićić L. Control of Green Apple Aphid (*Aphis pomi* De Geer) in Organic Apple Production // Pestic Phytomed. 2013. V. 28(4). P. 281–285.
24. Бергун С.А. Экологические аспекты мониторинга зеленой яблонной тли (*Aphis pomi* Deg.) в яблоне-садах центральной зоны Краснодарского края // Автореф... дис. кан. наук. Ставрополь, 2004. 22 с.
25. Ferrais L., Tougeron K., Gardin P., Hance T., Assessing the optimal frequency of early parasitoid releases in an apple orchard to control *Dysaphis plantaginea*: a proof-of-concept study // Biological Agriculture & Horticulture. 2022. V. 38. N 3. P. 189–201. DOI: 10.1080/01448765.2022.2039294
26. Forrest J.M.S. The effect of maternal and larval experience on morph determination in *Dysaphis devecta* // Journal of Insect Physiology. 1970. V. 16(12). P. 2281–2292.
27. Madalon F.Z., Damascena A.P., Madalon R.Z., Araujo Junior L.M., Romário de Carvalho J., Pratisoli D. First Report of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann, 1802) (Hemiptera: Aphisidae) on the Apple tree Crop in Espírito Santo State, Brazil // International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS). 2020. V. 7. Iss. 3. P. 297–300. DOI: 10.22161/ijaers.73.44
28. Copeland C.A., Harper R.W., Brazee N.J., Bowlick F.J. A review of Dutch elm disease and new prospects for *Ulmus americana* in the urban environment // Arboricultural Journal. 2020. V. 45. N 3. P. 1–19. DOI: 10.1080/03071375.2022.2082177
29. Кiek Д.А., Подгорная М.Е., Ковалёва А.И. Увеличение вредоносности *Eriosoma lanigerum* Hausmann в многолетних насаждениях Краснодарского края // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2021. Т. 33. С. 89–90. DOI: 10.30679/2587-9847-2021-33-86-90

REFERENCES

1. Dyakonov K.P., Volkov Yu.G., Kakareka N.N., Romanova S.A. Relationships in the "Virus – vector – agrobiocenosis" system. Plant Protection. [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy]. 2005, vol. 3, pp. 107–115. (In Russian)
2. Malyavko A.A., Zhevora S.V., Marukhlenko A.V., Borisova N.P., Torikov V.E. Monitoring potato virus vectors. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy, 2022, vol. 90, no. 2, pp. 27–34. (In Russian) DOI: 10.52691/2500-2651-2022-90-2-27-34
3. Zeynalov A.S. The role of biological and environmentally friendly means in optimizing the phytosanitary situation in strawberry plantings. Russian agricultural science, 2021, no. 6, pp. 46–49. (In Russian) DOI: 10.31857/S2500262721060089
4. Rousselin A., Bevacqua D., Sauge M., Lescourret F., Mody K., Jordan M. Harnessing the aphid life cycle to reduce insecticide reliance in apple and peach orchards. A review. Agronomy for Sustainable Development. 2017, vol. 37, article number: 38. DOI: 10.1007/s13593-017-0444-8
5. Shaw B., Nagy C., Fountain M. Organic Control Strategies for Use in IPM of Invertebrate Pests in Apple and Pear Orchards. Insects, 2021, vol. 12, article id: 1106. DOI: 10.3390/insects12121106
6. Wojciechowicz-Zytka E., Wilk E. The Quantity and Quality Structure of Coccinellids (Coleoptera, Coccinellidae) in Apple Orchards with Integrated and Ecological Management and in Their Surroundings. Polish Journal of Environmental Studies, 2022, vol. 31, pp. 2895–2903. DOI: 10.15244/pjoes/143764
7. Shields M., Johnson A., Pandey S., Cullen R., González-Chang M., Wratten S., Gurr G. History, current situation

- and challenges for conservation biological control. *Biological Control*, 2019, vol. 131, pp. 25–35. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.12.010
8. Clem S., Harmon-Threalt A. Field Borders Provide Winter Refuge for Beneficial Predators and Parasitoids: A Case Study on Organic Farms. *Journal of Insect Science*, 2021, no. 21, pp. 1–6. DOI: 10.1093/jisesa/ieab027
9. Ben Halima Kamel M., Ben Hamouda M.H. A propos des arbres fruitiers de Tunisie. *Notes fauniques de Gembloux*. 2005, no. 58, pp. 11–16.
10. Kumari M. Records of predators of the green apple aphid, *Aphis pomi* De Geer, from Himachal Pradesh. *Environment Conservation Journal*, 2019, no. 20, pp. 31–33. DOI: 10.36953/ECJ.2019.1008.1205
11. Andreev R., Rasheva D., Kutinkova H. Occurrence and population density of aphids in apple orchards of south bulgarian. *Journal of Plant Protection Research*, 2013, vol. 53(4), pp. 353–356. DOI: 10.2478/jppr-2013-0053
12. Mdellet L., Ben H.K. Apple aphid's species and their natural enemies in Tunisian orchards. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 2015, vol. 24(4), pp. 1108–1114.
13. Shayesteh N., Ziaee M., Ranji H. Species diversity of aphids (Homoptera: Aphididae) and coccinellids in apple orchards of Urmia, Northwest of Iran. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2015, vol. 80(3), pp. 163–167.
14. Balykina E.B., Yagodinskaya L.P., Danilchuk A.A. Species composition of aphids (order Homoptera, family Aphididae) in fruit agrocenoses of the Crimea. *GNBS Bulletin*, 2020, vol. 137, pp. 16–22. (In Russian) DOI: 10.36305/0513-1634-2020-137-16-22
15. Hagley E.A.C., Allen W.R. The green apple aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), as prey of polyphagous arthropod predators in Ontario. *The Canadian Entomologist*, 1990, vol. 122, no. 6, pp. 1221–1228. DOI: 10.4039/Ent1221221-11
16. Devin P.C., Stanley C.H. Natural Enemies and Their Effects on Apple Aphid, *Aphis pomi* DeGeer (Homoptera: Aphididae), Colonies on Young Apple Trees in Central Washington. *Environmental Entomology*, 1984, vol. 13, pp. 469–481. DOI: 10.1093/ee/13.2.469
17. Tsygikalo I.S., Popov I.B., Khomitsky E.E. Ladybugs (Coleoptera: Coccinellidae) of the city of Krasnodar and their role in the biological suppression of phytophages. *Ehkositemy [Ecosystems]*. 2021, no. 28, pp. 88–96. (In Russian)
18. Diba H., Sauphanorb B., Capowiez Y. Effect of management strategies on arthropod communities in the colonies of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) in south-eastern France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, vol. 216, pp. 203–206. DOI: 10.1016/j.agee.2015.10.003
19. Kustov S.Yu., Gladun V.V., Popov I.B., Bely A.I. *Sbor, uchet i kollektirovanie nasekomykh* [Collection, recording and collecting of insects]. Krasnodar: Kuban State University, 2020, 82 p. (In Russian)
20. Amolin A.V., Antropov A.V., Arzanov Yu.G. et al. *Opredelitel' nasekomykh yuga Rossii* [Key to insects of the south of Russia]. Rostov-on-Don, Foundation Publ., 2016, 1036 p. (In Russian)
21. Kuzin A.I., Trunov Yu.V. The influence of stage-by-stage systems of foliar feeding of apple trees on the formation of productivity components in an intensive garden. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]. 2016, vol. 30, no. 5, pp. 61–63. (In Russian)
22. Fomenko T.G., Popova V.P., Chernikov E.A., Drygina A.I., Lebedovsky I.A., Uzlovaty D.V., Myazina A.N. Migration of nutrients in typical chernozem during fertigation of fruit plants. *Agrochemistry*, 2021, no. 3, pp. 60–70. (In Russian) DOI: 10.31857/S0002188121040050
23. Milenković S., Marčić D., Ružičić L. Control of Green Apple Aphid (*Aphis pomi* De Geer) in Organic Apple Production. *Pestic Phytomed*. 2013, vol. 28(4), pp. 281–285.
24. Bergun S.A. *Ehkologicheskie aspekty monitoringa zelenoi yablonnoi tli (Aphis pomi Deg.) v yablonevykh sadakh tsentral'noi zony Krasnodarskogo kraya* [Ecological aspects of monitoring green apple aphids (*Aphis pomi* Deg.) in apple orchards in the central zone of the Krasnodar Territory]. Stavropol, 2004, 22 p. (In Russian)
25. Ferrais L., Tougeron K., Gardin P., Hance T., Assessing the optimal frequency of early parasitoid releases in an apple orchard to control *Dysaphis plantaginea*: a proof-of-concept study. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2022, vol. 38, no. 3, pp.189–201. DOI: 10.1080/01448765.2022.2039294
26. Forrest J.M.S. The effect of maternal and larval experience on morph determination in *Dysaphis devecta*. *Journal of Insect Physiology*. 1970, vol. 16, no. 12, pp. 2281–2292.
27. Madalon F.Z., Damascena A.P., Madalon R.Z., Araujo Junior L.M., Romário de Carvalho J., Pratisoli D. First Report of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann, 1802) (Hemiptera: Aphididae) on the Apple tree Crop in Espírito Santo State, Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 2020, vol. 7, iss. 3, pp. 297–300. DOI: 10.22161/ijaers.73.44
28. Copeland C.A., Harper R.W., Brazee N.J., Bowlick F.J. A review of Dutch elm disease and new prospects for *Ulmus americana* in theurban environment. *Arboricultural Journal*, 2020, vol. 45, no. 3, pp. 1–19. DOI: 10.1080/03071375.2022.2082177
29. Kiek D.A., Podgornaya M.E., Kovaleva A.I. Increasing the competitiveness of *Eriosoma lanigerum* Hausmann in perennial plantings of the Krasnodar region. *Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking*, 2021, vol. 33, pp. 89–90. (In Russian) DOI: 10.30679/2587-9847-2021-33-86-90

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ирина В. Балахнина определила концептуализацию, методологию, провела исследования, анализ, написала рукопись. Оксана Ю. Кремнева и Игорь Б. Попов определили концептуализацию, провели анализ, редактировали рукопись. Екатерина Г. Снесарева и Алёна Ю. Нестерова провели исследование. Все авторы в равной степени несут

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Irina V. Balakhnina undertook conceptualisation, methodology, research, analysis and writing of the manuscript. Oksana Yu. Kremneva and Igor B. Popov undertook conceptualisation of the research, conducted research, analysis and editing of the manuscript. Ekaterina G. Sneseareva and Alena Yu. Nesterova

ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

conducted research. All authors are equally 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. Балахнина / Irina V. Balakhnina <http://orcid.org/0000-0002-2326-221X>

Оксана Ю. Кремнева / Oksana Y. Kremneva <http://orcid.org/0000-0003-0982-6821>

Игорь Б. Попов / Igor B. Popov <https://orcid.org/0009-0006-8844-3827>

Алёна Ю. Нестерова / Alena Y. Nesterova <http://orcid.org/0000-0002-9965-4842>

Екатерина Г. Снесарева / Ekaterina G. Sneseareva <http://orcid.org/0000-0003-4617-3604>

Оригинальная статья / Original article

УДК 632. 937

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-6



Изучение видового состава таксонов энтомофагов-биоиндикаторов и их регуляторной активности в агроценозах центральной и западной зон Краснодарского края

Ирина С. Агасьева, Виктор С. Петрищев, Мария В. Петрищева,
Антон С. Настасий, Екатерина О. Голобородько
Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Антон С. Настасий, научный сотрудник, ФГБНУ
ФНЦБЗР; 350039 Россия, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. им. Калинина, 62.
Тел. +79288441358
Email nastasy.anton@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8324-0058>

Формат цитирования

Агасьева И.С., Петрищев В.С., Петрищева М.В.,
Настасий А.С., Голобородько Е.О. Изучение
видового состава таксонов энтомофагов-
биоиндикаторов и их регуляторной активности в
агроценозах центральной и западной зон
Краснодарского края // Юг России: экология,
развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 57-67. DOI:
10.18470/1992-1098-2025-1-6

Получена 30 января 2024 г.

Прошла рецензирование 18 июня 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: изучение видового состава и регулирующей активности биоиндикаторных таксонов энтомофагов агроценозов в центральной и западной зонах Краснодарского края.

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на базе экспериментального научного севооборота ФНЦБЗР (г. Краснодар), учхоз «Кубань», Динском, Абинском и Крымском районах Краснодарского края на различных сельскохозяйственных и плодовых культурах, сорной растительности.

Оценка биоразнообразия энтомофауны в агроэкостемах Центральной зоны Краснодарского края жуков-короедов семейства Coccinellidae показала, что из десяти выявленных восемь видов являются энтомофагами, сокращающими численность насекомых-вредителей (тлей, щитовок, белокрылок и др.), два вида – микофаги. Установлено, что доминирующим видом биоиндикатором, контролирующим тлей на полевых культурах является *C. septempunctata*, плотность популяции которой превосходил прочие девять видов и составлял 75%. Вторым биоиндикаторным видом, контролирующим численность чешуекрылых вредителей рода *Bracon* (Hymenoptera Braconidae). Из отряда Neuroptera: златоглазка обыкновенная – *Chrysopa carnea* Steph.; златоглазка семиточечная – *Chrysopa septempunctata* L.; златоглазка зеленая – *Chrysopa phyllochroma* Wesmael. Из подотряда короткоусых двукрылых к энтомофагам относится 39 % видов: семейство Empididae – 13 %; семейство Dolichopodidae – 6 %; семейство Asilidae – 10 %; семейство Bombyliidae – 7 %; семейство Syrphidae – 3 %.

В результате исследований выявлены основные биоиндикаторные виды энтомофагов среди семейств кокцинеллид (Coleoptera, Coccinellidae), браконид (Hymenoptera, Braconidae), хризопид (Neuroptera, Chrysopidae), и представителей подотряда короткоусых двукрылых (Diptera: Brachycer).

Ключевые слова

Биоразнообразие, афидофаги, кокцинеллиды, перепончатокрылые, двукрылые, Краснодарский край.

Study of entomophage bioindicator taxa species composition and their regulatory activity in the central and western zones of Krasnodar Territory agrocenoses

Irina S. Agasyeva, Viktor S. Petrishchev, Maria V. Petrishcheva,
Anton S. Nastasiy and Ekaterina O. Goloborodko

Federal Research Center of Biological Plant Protection (FRCBPP), Krasnodar, Russia

Principal contact

Anton S. Nastasiy, Researcher, Federal Research Center of Biological Plant Protection (FRCBPP); 62 Kalinina St, Krasnodar, Krasnodar Region, Russia, 350039.
Tel. +79288441358
Email nastasy.anton@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8324-0058>

How to cite this article

Agasyeva I.S., Petrishchev V.S., Petrishcheva M.V., Nastasiy A.S., Goloborodko E.O. Study of entomophage bioindicator taxa species composition and their regulatory activity in the central and western zones of Krasnodar Territory agrocenoses. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):57-67. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-6

Received 30 January 2024

Revised 18 June 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The study of the species composition and regulatory activity of entomophages as bioindicator taxa in agrocenoses of the central and western zones of Krasnodar Territory.

The research was carried out in 2021–2023 on various agricultural and fruit crops and weed on the basis of experimental scientific crop rotation of the FRCBPP (Krasnodar), the Kuban educational and experimental farm (Krasnodar) and in the Dinsky, Abinsky and Crimean districts of the Krasnodar Territory.

An assessment of the biodiversity of ladybugs of the Coccinellidae family among the entomofauna in agroecosystems of the central zone of the Krasnodar Territory showed that out of ten identified species eight are entomophages that reduce the number of insect pests (aphids, scale insects, whiteflies, etc.), while two species are mycophages. It was found that the dominant bioindicator species controlling aphids in field crops is *C. septempunctata*, whose population density exceeded the other nine species, amounting to 75 %. The second bioindicator species controlling the number of lepidopteran pests of the genus Bracon (Hymenoptera Braconidae). From the order Neuroptera: green lacewing, *Chrysopa carnea* Steph.; seven-point lacewing, *Chrysopa septempunctata* L.; lacewing, *Chrysopa phyllochroma* Wesmael. Of the suborder of short-whiskered diptera: 39 % of the species belong to entomophage ladybugs of the Coccinellidae family; 13 % of the Empididae family; 6 % of the Dolichopodidae family; 10 % of the Asilidae family; 7 % of the Bombyliidae family and 3 % of the Syrphidae family.

As a result of the research, the main bioindicator species of entomophages were identified among the families of Coccinellidae (Coleoptera, Coccinellidae), Braconidae (Hymenoptera, Braconidae), Chrysopidae (Neuroptera, Chrysopidae), and representatives of the suborder of short-whiskered diptera (Diptera, Brachycera).

Key Words

Biodiversity, aphidophages, Coccinellidae, Hymenoptera, Diptera, Krasnodar Territory.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных критериев стабильности биоценоза является биоценотическое разнообразие сообществ живых организмов, которое характеризуется числом видов и их значимостью в экосистеме [1–4].

Исследования по изучению естественных биоценозов с высоким биоразнообразием различных групп насекомых, показывают, что эффективность энтомофагов в снижении численности насекомых напрямую зависит от видового богатства среды [5–7]. Насекомые-зоофаги занимают существенную позицию в сохранении равновесия экосистем, а также заметно уменьшают численность сельскохозяйственных вредителей [8–10].

Исследование направленные на регуляцию численности насекомых-вредителей с помощью энтомофагов важны как с экологической, так и с экономической точки зрения. Фаунистические исследования в отдельных регионах по некоторым систематическим группам и изучение эффективности энтомофагов из этих групп до сих пор мало разработаны [11].

Насекомые являются постоянным и многочисленным компонентом экосистем в связи, с чем концепция управления популяциями вредных видов ориентирована на максимальное использование естественной регуляции с помощью природных насекомых-энтомофагов. Точная диагностика видов – зоофагов, т.е. таксономия, биоразнообразие и регуляторная активность являются базовым условием их эффективного использования.

Достаточно просто реализуемым на практике направлением биометода является использование природных популяций энтомофагов. Особая роль среди естественных биоагентов принадлежит многоядным хищникам, которые первыми сдерживают увеличение численности фитофагов [5].

Основную роль в контроле численности насекомых из надсемейства Aphidoidea в агроэкосистемах играют афидофаги. Факторы, от которых зависит снижение количества афидид

насекомыми-энтомофагами включают климат, состояние популяции, многообразные биоценотические связи. В связи с этим выявить зависимость в уменьшение численности фитофага при росте популяции афидофага удается не всегда. Основные группы насекомых, уменьшающие численность тли, включают паразитических перепончатокрылых [12] семейства Aphiliidae, жуков семейства Coccinellidae, хризоп, мух-журчалок, клопов-набид и антокорид. Из этих членистоногих наиболее высокой прожорливостью отличаются кокцинеллиды. У них так же выражено явное увеличение численности представителей вслед за количеством насекомых-жертв. Для контроля бахчевой, люцерновой, персиковой и других тлей также можно использовать паразитических наездников – афидиусов. Паразитические перепончатокрылые могут контролировать как открыто живущих тлей, так и особей, находящихся в галлах и свернутых листьях [13]. Отдельные виды кокцинеллид на личиночной стадии тоже способны проникать к защищенной тлей, в первую очередь *Harmonia axyridis* Pall. [14]. Среди других афидофагов в агроценозах часто отмечают личинок мух-сирфид, личинок златоглазок [12; 15].

Целью исследований являлось изучение видового состава и регулирующей активности биоиндикаторных таксонов энтомофагов агроценозов в центральных и западных зонах Краснодарского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2021–2023 гг. на базе экспериментального научного севооборота ФНЦБЗР (г. Краснодар), учхоз «Кубань», Динском, Абинском и Крымском районах Краснодарского края на различных сельскохозяйственных и плодовых культурах, сорной растительности. Сбор биоматериала осуществляли с апреля по сентябрь с помощью ловушек Малеза, Мерике, кошением энтомологическим сачком и ручным сбором с растений и различных объектов, методами индивидуального и массового выведения (рис. 1).



Рисунок 1. Установка ловушки Малеза для сбора энтомологического материала, Абинский район, Краснодарский край

Figure 1. Installation of a Malaise trap for collecting entomological material, Abinskiy district, Krasnodar Territory

Учеты кокцинеллид производили в фазе взрослых жуков (имаго) и преимагинальных стадий, для их коллекционирования применялись стандартные методики энтомологических исследований, главным образом, кошение энтомологическим сачком и ручной сбор с растений и различных объектов (рис. 2) [16; 17].

Исследования проводили в агроценозах культурных растений севооборота ФГБНУ ФНЦБЗР (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза, люцерна, горох, рапс), а также на древесно-кустарниковой растительности и разнотравье.



Рисунок 2. Учеты божьих коровок энтомологическим сачком, Крымский район
Figure 2. Counting ladybugs caught with an entomological sweeping net, Krimskiy district

Для определения насекомых применялись идентификационные таблицы из различных источников [18–26]. Для паразитических перепончатокрылых использовали Определитель паразитов вредителей плодового сада [18].

Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы Microsoft Office Excel 2010.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За 2 года исследования в Центральной зоне Краснодарского края нами выявлено десять видов кокцинеллид и определена их трофическая специализация, из них 8 являются афидофагами, 2 – микофаги (табл. 1).

Таблица 1. Трофическая специализация Coccinellidae, обитающих в Центральной зоне Краснодарского края
Table 1. Trophic specialisation of Coccinellidae living in the central zone of Krasnodar Territory

Таксономический статус Taxonomic status	Трофическая специализация Trophic specialization
Триба Tribe Coccinellini Latreille, 1807	
1. <i>Coccinella septempunctata</i> L.	Aphididae Latreille (тли / aphids)
2. <i>Harmonia axyridis</i> Pal.	Diaspididae T. (щитовки / armored scale)
3. <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> L.	Aleyrodidae W. (белокрылки / whiteflies)
4. <i>Adalia bipunctata</i> L.	Metcalfa pruinosa S. (цикадки / leaf-hoppers)
5. <i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> L.	Lepidoptera L. (яйца чешуекрылых / eggs of lepidopterans)
6. <i>Tytthaspis sedecimpunctata</i> L.	Tetranychidae D. (паутинные клещи / spider mites)
7. <i>Hippodamia variegata</i> G.	Aphididae Latreille (тли / aphids)
8. <i>Hippodamia tredecimpunctata</i> L.	Aphididae Latreille (тли / aphids)
Триба Tribe Psyllborini Gade, 1921	
9. <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> L.	Erysiphaceae Tul. & C. Tul. (мучнисто-росяные грибы / powdery mildew fungi)
10. <i>Vibidia duodecimguttata</i> Poda.	

Среди представленных видов наиболее часто встречались пять видов, среди которых *Coccinella septempunctata* L., *Harmonia axyridis* Pallas, *Propylea*

quatuordecimpunctata L., *Hippodamia variegata* Goeze, *Adalia bipunctata* L. (рис. 3).



Рисунок 3. Coccinellidae, обнаруженные в учебном хозяйстве Кубань, Краснодар, 2022 г.:

а) *P. quatuordecimpunctata*; б) *A. bipunctata*

Figure 3. Coccinellidae discovered at the Kuban educational and experimental farm, Krasnodar, 2022:

(a) *P. quatuordecimpunctata*, (b) *A. bipunctata*

В ходе наблюдений было выявлено, что семиточечная божья коровка *C. septempunctata* занимала преимущественно полевые культуры (горох, озимая пшеница, ячмень, рапс, кукуруза, подсолнечник, соя), в

то время как большое количество особей *H. axyridis* наблюдалось на древесно-кустарниковой растительности (плодовые деревья: яблоня, черешня, вишня, абрикос, персик и проч., розы) (рис. 4).

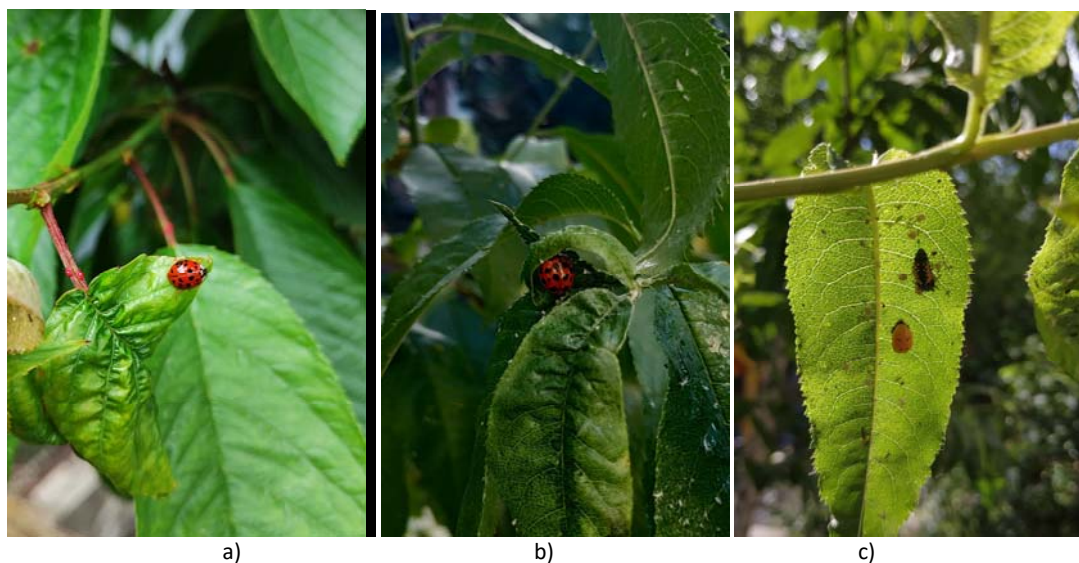


Рисунок 4. *H. axyridis* на плодовых деревьях (персик): а) и б) имаго; с) личинка и куколка

Figure 4. *H. axyridis* on fruit trees (peach): (a) & (b) imago, (c) larva and pupa

На основе учета численности божьих коровок проведен анализ миграции кокцинеллид. В начале весны первые особи божьих коровок были обнаружены в лесополосе. Затем происходила их миграция на культуры: горох, пшеница, ячмень, рапс, кукуруза, соя. Наибольший показатель численности фиксировался в период цветения перечисленных ранее культур.

В конце вегетационного сезона Coccinellidae мигрируют в лесополосы и зимуют под листовой

подстилкой.

Таким образом, доминирующим видом на полевых культурах оказалась *C. septempunctata*, в численном отношении данный вид превосходил прочие восемь, обнаруженных видов коровок и составлял 75 % (322 экз.) от общего числа обнаруженных кокцинеллид. *P. quatuordecimpunctata* составила 11 % (45 экз.) по числу зафиксированных особей, а коровка *H. axyridis* – 9 % (36 экз.) (рис. 5).

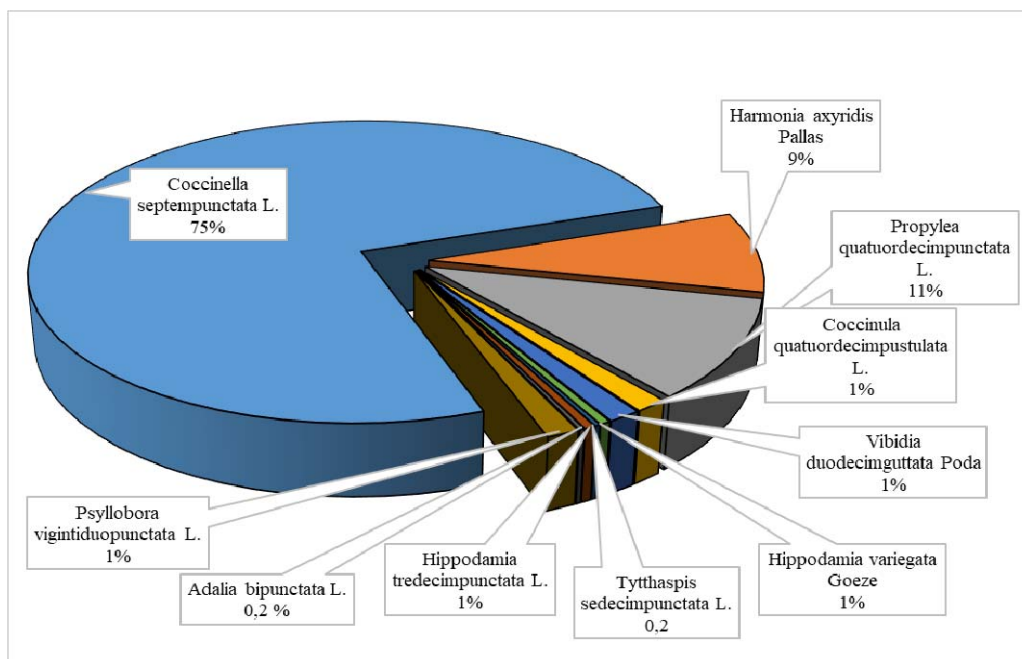


Рисунок 5. Соотношение количества особей различных видов Coleoptera, Coccinellidae, обнаруженных на обследуемых участках в центральной зоне Краснодарского края

Figure 5. Ratio of individuals of various species of Coleoptera: Coccinellidae found in areas surveyed in the central zone of Krasnodar Territory

Вторым биоиндикаторным таксоном были выбраны виды рода *Bracon* (Hymenoptera, Braconidae), семейство паразитических наездников надсемейства Ichneumoidea. Браконида можно разделить на 2 группы различающихся по характеру паразитирования, особенностям биологии и строению личинок: эктопаразиты (Braconinae и Doryctinae) и эндопаразиты (большинство других подсемейств). Большинство видов браконид – это паразитоиды жесткокрылых, двукрылых и перепончатокрылых.

Bracon hebetor Say способен успешно развиваться более чем на 300 видах насекомых-хозяев из различных отрядов. Его жертвами становятся членистоногие обитающие в естественных и искусственных экосистемах. Этот паразит является эффективным естественным регулятором численности вредителей отряда Lepidoptera.

Для изучения динамики численности видов-индикаторов из семейства Braconidae (рис. 6) использовали ловушки Малеза.

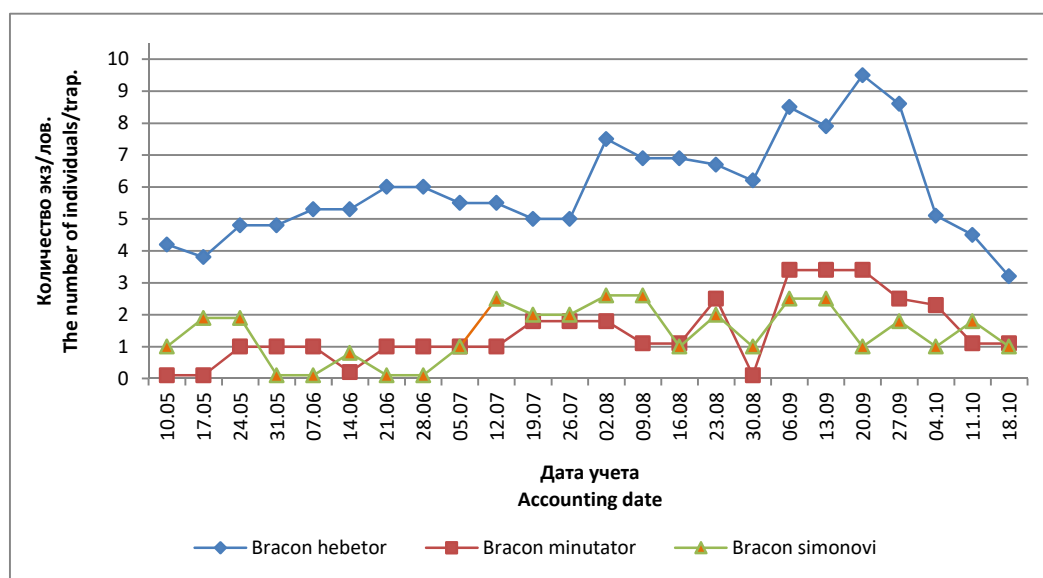


Рисунок 6. Динамика численности *Bracon hebetor* Say, *Bracon minutator* Fabr., *Bracon simonovi* Kokujev Say Fabr. Kokujev

Figure 6. Population dynamics of *Bracon hebetor* Say, *Bracon minutator* Fabr and *Bracon simonovi* Kokujev

Как видно, из данных представленных на рисунке 6, лет природной популяции *B. hebetor* начался 10 мая и был непрерывным в течении всего вегетационного периода

с пиками лета 2 августа и 13 сентября. Численность его в основном составляла в среднем 6–7 экз./лов.

Количество *B. minutator* и *B. simonovi* было невысоким в среднем 2–3 экз./лов.

Данные результаты наблюдений за динамикой численности видов-индикаторов можно использовать для краткосрочного и долгосрочного прогноза численности различных видов совок и огневков.

Среди других полезных энтомофагов, контролирующих численность тли в агроценозах были отмечены представители отряда Neuroptera семейства Chrysopidae: златоглазка обыкновенная – *Chrysopa*

carnea Steph.; златоглазка семиточечная – *Chrysopa septempunctata* L.; златоглазка зеленая – *Chrysopa phyllochroma* Wesmael. Чаще всего представители семейства Chrysopidae отмечались в ценозе гороха. Наиболее массовым был вид *Chrysopa carnea* Steph. его численность составила 1,1 шт/м².

Из отряда Hymenoptera был отмечен только один вид афидофага – *Aphidius colemani* Viereck. Тли зараженные афидиусом часто отмечались в ценозе кукурузы, а также на дикорастущих растениях (рис. 7).



Рисунок 7. Тли, зараженные *Aphidius colemani* Viereck
Figure 7. Aphids infected with *Aphidius colemani* Viereck

Двукрылые насекомые одна из наиболее разнообразных и широко распространенных групп членистоногих. Для них характерно хищничество, фитофагия и различные варианты сапрофагии (копрофагия, некрофагия, ксилофагия и пр.) [25; 26].

На территориях сельскохозяйственных угодий исследуемых территорий был выявлен следующий состав Diptera.

Сем. Empididae: *Empis socrus*, *E. livida*, *E. tessellata*, *E. albopilosa*, *Empis (Euempis) pleurica*, *Rhaphomyia sulcata*, *Rh. Sullcatina*, *Hilara brevistyla*.

Вылет семейства Dolichopodidae наблюдается в начале 1-й декады мая, наиболее многочисленным видом является *Medetera jacula* (Fallen, 1823), по литературным данным вид наиболее часто встречается на лугах и в старых садах, на деревьях. В пищу взрослым мухам этого вида идут клещи, тли, трипсы. Личинки хищники, живут и питаются в ходах короедов. Вторым по численности, является вид *Dolichopus latilimbatus* Macquart, представители рода *Dolichopus* являются настоящими хищниками, питаются в основном личинками и имаго низших двукрылых (комары, галлицы, мошки, москиты), а также яйцами и личинки слепней, трипсов, сеноедов некоторых равнокрылых. Лет Dolichopodidae продолжался до 3-й декады июня. Данные виды Dolichopodidae в силу широкого списка кормовых объектов и высокой численности можно использовать в качестве

биоиндикаторов. Всего на территориях сельскохозяйственных угодий центральной зоны Краснодарского края было отмечено 7 видов мух зеленушек *Dolichopus latilimbatus* Macq., *D. nubilis* Meigen, *Campsicnemus filipes* Loew, *C. simplicissimus* Strobl, *Syntormon pallipes* Fabricius, *Medetera flavipes* Meigen, *Medetera jacula* Fallen из которых 3 вида (*Dolichopus latilimbatus*, *D. nubilis*, *Medetera jacula*) являются энтомофагами.

Для представителей семейства мух-журчалок (Diptera, Syrphidae) на территориях сельскохозяйственных угодий центральной зоны Краснодарского края был получен следующий таксономический состав: *Sphaerophoria menthastri* L., *Myathropa florea* L., *Eristalis tenax* L., *Eristalis arbustorum* L., *Episyrphus balteatus* De Geer, *Syrphus ribesii* L., *Eupeodes corollae* Fabr., *Sphaerophoria scripta* L.

Представители семейства Syrphidae, успевают в течение периода активности дать несколько поколений; их вылет начался в третьей декаде марта у видов *E. tenax* L., *S. ribesii*, в первой декаде мая для видов *S. scripta*, *M. florea*, *Syrphus pipiens* L.

После анализа материалов были получены следующие результаты: к энтомофагам относится 39 % видов: семейство Empididae – 13%; семейство Dolichopodidae – 6 %; семейство Asilidae – 10 %; семейство Bombyliidae – 7 %; семейство Syrphidae – 3 % (рис. 8).

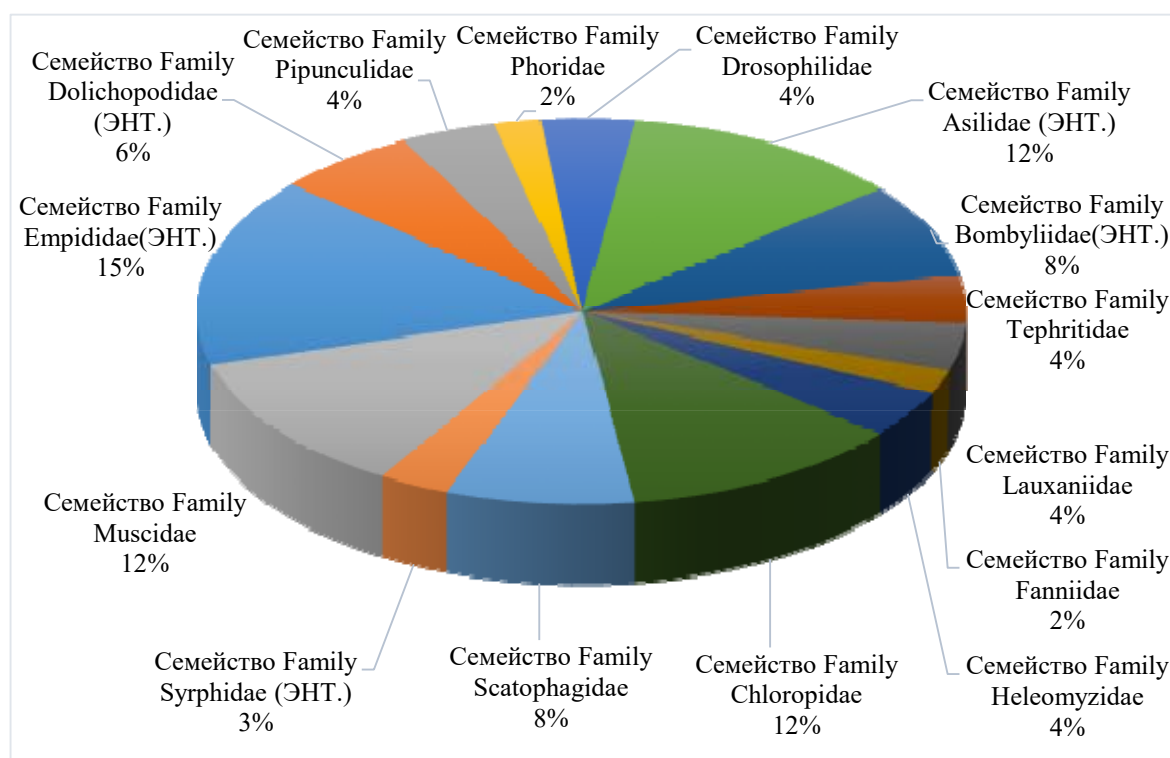


Рисунок 8. Соотношение видов в семействах короткоусых двукрылых (Diptera: Brachycera) в центральной зоне Краснодарского края

Figure 8. The ratio of species of the families of short-whiskered Diptera (Diptera: Brachycera) in the central zone of Krasnodar Territory

ВЫВОДЫ

В результате исследований выявлены основные биоиндикаторные виды энтомофагов среди семейств кокцинеллид (Coleoptera, Coccinellidae), браконид (Hymenoptera, Braconidae), хризопид (Neuroptera, Chrysopidae), и представителей подотряда короткоусых двукрылых (Diptera: Brachycera), которые были выбраны в соответствии с доминирующим видовым составом фитофагов.

Оценка биоразнообразия энтомофауны в агроэкосистемах Центральной зоны Краснодарского края жуков-коровок семейства Coccinellidae показала, что из десяти выявленных восемь видов являются энтомофагами, сокращающими численность насекомых-вредителей (тлей, щитовок, белокрылок и др.), два вида – микофаги. Установлено, что доминирующим видом биоиндикатором, контролирующим тлей на полевых культурах является *C. septempunctata*, плотность популяции которой превосходил прочие девять видов и составлял 75 %. Вторым биоиндикаторным видом, контролирующим численность чешуекрылых вредителей рода *Bracon* (Hymenoptera Braconidae). Из отряда Neuroptera: златоглазка обыкновенная – *Chrysopa carnea* Steph.; златоглазка семиточечная – *Chrysopa septempunctata* L.; златоглазка зеленая – *Chrysopa phyllochroa* Wesmael. Из подотряда короткоусых двукрылых к энтомофагам относится 39 % видов: семейство Empididae – 13 %; семейство Dolichopodidae – 6 %; семейство Asilidae – 10 %; семейство Bombyliidae – 7 %; семейство Syrphidae – 3 %.

Результаты наблюдений за динамикой численности видов-индикаторов можно использовать

для краткосрочного и долгосрочного прогноза численности различных видов тлей, совок и огневков.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2025-0005.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work on topic № FGRN-2025-0005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bolton R.L., Mooney A., Pettit M.T., Bolton A.E., Morgan L., Drake G.J., Appeltant R., Walker S.L., Gillis J.D., Hvilson C. Resurrecting biodiversity: advanced assisted reproductive technologies and biobanking // *Reproduction and Fertility*. 2022. V. 3(3). P. 121–146. <https://doi.org/10.1530/RAF-22-0005>
2. Dubey P.K., Singh A., Raghubanshi A., Abhilash P.C. Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem Restoration // *Journal Environmental Management*. 2021. V. 280. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111798> Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01479720317230> (accessed 26.01.2024)
3. Liu J., Yong D.L., Choi C.Y., Gibson L. Transboundary Frontiers: An Emerging Priority for Biodiversity Conservation // *Trends in Ecology and Evolution*. 2020. V. 35(8). P. 679–690.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.03.004>

4. Vincent C., Lasnier J., de Coussergues C.H., Baril A. Biodiversity in a Cool-Climate Vineyard: A Case Study from Quebec // *Insects*. 2021. V. 12(8). <https://doi.org/10.3390/insects12080750> Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/8/750> (accessed 29.01.2024)
5. Dunn L., Lequerica M., Reid C.R., Latty T. Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents // *Pest Management Science*. 2020. V. 76(6). P. 1973–1979. <https://doi.org/10.1002/ps.5807>
6. Duffus N.E., Echeverri A., Dempewolf L., Noriega J.A., Furumo P.R., Morimoto J. The Present and Future of Insect Biodiversity Conservation in the Neotropics: Policy Gaps and Recommendations // *Neotropical Entomology*. 2023. V. 52(3). P. 407–421. <https://doi.org/10.1007/s13744-023-01031-7>
7. Pierre J.F., Jacobsen K.L., Latournerie-Moreno L., Torres-Cab W.J., Chan-Canché R., Ruiz-Sánchez E. A review of the impact of maize-legume intercrops on the diversity and abundance of entomophagous and phytophagous insects // *Sustainability*. 2023. V. 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912385> Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12385> (accessed 26.01.2024)
8. Vargas G., Rivera-Pedroza L.F., García L.F., Jahnke S.M. Conservation Biological Control as an Important Tool in the Neotropical Region // *Neotropical Entomology*. 2023. V. 52(2) P. 134–151. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01005-1>
9. Fountain M.T. Impacts of Wildflower Interventions on Beneficial Insects in Fruit Crops: A Review // *Insects*. 2022. V. 13(3). <https://doi.org/10.3390/insects13030304> Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/13/3/304> (accessed 26.01.2024)
10. Попов И.Б., Кремнева О.Ю., Пачкин А.А., Ермаков Я.С., Лептягин Д.Л. Роль посевов подсолнечника в поддержании биоразнообразия перепончатокрылых насекомых в агроценозах Краснодарского края // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. N 2. С. 127–139. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-127-139>
11. Misrieva B., Shamsudinova M. Study of the role of perspective types of entomophages in agrobiocenosis of dagestan // *Vegetable crops of Russia*. 2017. N 3. P. 87–91.
12. Исмаилов В.Я., Команцев А.А. Влияние беспищидной системы защиты овощного гороха на восстановление биоразнообразия и механизмов естественной биоценотической регуляции // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. N 4. С. 94–99. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_94
13. Alvarez-Baca J.K., Montealegre X., Alfaro-Tapia A., Zepeda-Paulo F., Van Baaren J., Lavandero B., Le Lann C. Composition and Food Web Structure of Aphid-Parasitoid Populations on Plum Orchards in Chile // *Insects*. 2023. V. 14(3). <https://doi.org/10.3390/insects14030288> Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/3/288> (accessed 26.01.2024)
14. Агасьева И.С., Исмаилов В.Я., Нефедова М.В., Настасий А.С., Федоренко Е.В. Оценка эффективности энтомофагов и акарифагов в системах биологической защиты яблоневого сада // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. N 2. С. 47–51. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10207>
15. Barriault S., Soares A.O., Gaimari S.D. et al. Leucopis glyphinivora Tanasijtshuk (Diptera: Chamaemyiidae), a new

- aphidophagous biocontrol agent; development, survival and comparison with *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) // *Bulletin of Entomological Research*. 2019. V. 109(4). P. 472–478. <https://doi.org/10.1017/S0007485318000767>
16. Прасолова А.Э. Вредители кукурузы в центральной зоне Краснодарского края // *Материалы международной научно-практической конференции «Защита растений от вредных организмов», Краснодар, 21–25 июня, 2021. С. 302–304.*
17. Цыгикало И.С., Попов И.Б., Хомицкий Е.Е. Божьи коровки (Coleoptera: Coccinellidae) города Краснодара и их роль в биологическом подавлении фитофагов // *Экосистемы*. 2021. N 28. С. 88–96.
18. Костюков В.В., Кошелева О.В., Балахнина И.В. Определитель паразитов вредителей плодового сада. Ростов-на-Дону, 2007. 254 с.
19. Заславский В.А. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки: Определитель насекомых Европейской части СССР. Т. 2. Москва-Ленинград: Наука, 1965. С. 319–326.
20. Кузнецов В.Н. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки: Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Т. 3. Жесткокрылые или жуки, Ч. 2. СПб: Наука, 1992. С. 333–376.
21. Хабибуллин В.Ф., Муравицкий О.С. Атлас-определитель кокцинеллид (божьих коровок) (Coleoptera: Coccinellidae) и жуков-листоедов (Coleoptera: Chrysomelidae) Башкортостана // *Жуки (Coleoptera) и колеоптерология*. URL: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/muravit1.htm> (дата обращения: 29.01.2024)
22. Беньковский А.О. Определитель божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) европейской части России и Северного Кавказа. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2020. 140 с.
23. Нарчук Э.П. Определитель семейств двукрылых насекомых (Insecta: Diptera) фауны России и сопредельных стран (с кратким обзором семейств мировой фауны) // *Труды Зоологического института РАН*. 2003. Т. 294. 250 с.
24. Михайличенко Т.В., Кустов С.Ю. Таксономический состав и особенности экологии двукрылых насекомых (Insecta: Diptera) природного заказника «Камышанова поляна» // *Кавказский энтомологический бюллетень*. 2012. Т. 8. N 2. С. 333–338.
25. Кривошеина Н.П., Кривошеина М.Г. Определитель двукрылых насекомых подотряда Brachycera-Orthorrhapha по личинкам. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 384 с.
26. Петрищев В.С. Агасьева И.С. Материалы к диптерофауне (Diptera: Brachycera) урбо- и агроэкосистем Краснодара и окрестностей Эльхотово (Северная Осетия) // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. N 4. С. 22–26. <https://doi.org/10.31857/S2500262722040044>

REFERENCES

1. Bolton R.L., Mooney A., Pettit M.T., Bolton A.E., Morgan L., Drake G.J., Appeltant R., Walker S.L., Gillis J.D., Hvilson C. Resurrecting biodiversity: advanced assisted reproductive technologies and biobanking. *Reproduction and Fertility*, 2022, vol. 3, no. 3, pp. 121–146. <https://doi.org/10.1530/RAF-22-0005>
2. Dubey P.K., Singh A., Raghubanshi A., Abhilash P.C. [Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem

- Restoration]. *Journal Environmental Management*, 2021, no. 280.
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720317230> (accessed 26.01.2024)
3. Liu J., Yong D.L., Choi C.Y., Gibson L. Transboundary Frontiers: An Emerging Priority for Biodiversity Conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 2020, vol. 35, no. 8, pp. 679–690.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.03.004>
4. Vincent C., Lasnier J., de Coussergues C.H., Baril A. [Biodiversity in a Cool-Climate Vineyard: A Case Study from Quebec]. *Insects*, 2021, no. 8. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/12/8/750> (accessed 29.01.2024)
5. Dunn L., Lequerica M., Reid C.R., Latty T. Dual ecosystem services of syrphid flies (Diptera: Syrphidae): pollinators and biological control agents. *Pest Management Science*, 2020, vol. 76, no. 6, pp. 1973–1979.
<https://doi.org/10.1002/ps.5807>
6. Duffus N.E., Echeverri A., Dempewolf L., Noriega J.A., Furumo P.R., Morimoto J. The Present and Future of Insect Biodiversity Conservation in the Neotropics: Policy Gaps and Recommendations. *Neotropical Entomology*, 2023, vol. 52, no. 3, pp. 407–421. <https://doi.org/10.1007/s13744-023-01031-7>
7. Pierre J.F., Jacobsen K.L., Latournerie-Moreno L., Torres-Cab W.J., Chan-Canché R., Ruiz-Sánchez E. [A review of the impact of maize-legume intercrops on the diversity and abundance of entomophagous and phytophagous insects]. *Sustainability*, 2023, no. 19. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12385> (accessed 26.01.2024)
8. Vargas G., Rivera-Pedroza L.F., García L.F., Jahnke S.M. Conservation Biological Control as an Important Tool in the Neotropical Region. *Neotropical Entomology*, 2023, vol. 52, no. 2, pp. 134–151. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-01005-1>
9. Fountain M.T. [Impacts of Wildflower Interventions on Beneficial Insects in Fruit Crops: A Review]. *Insects*, 2022, no. 3. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/13/3/304> (accessed 26.01.2024)
10. Popov I.B., Kremneva O.Yu., Pachkin A.A., Ermakov Ya.S., Leptyagin D.O. The role of sunflower crops in maintaining the biodiversity of hymenopterous insects in agroecosystems of Krasnodar Territory. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 127–139. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-127-139>
11. Misrieva B., Shamsudinova M. Study of the role of perspective types of entomophages in agrobiocenosis of Dagestan. *Vegetable crops of Russia*, 2017, no. 3, pp. 87–91.
12. Ismailov V.Ya., Komantsev A.A. Influence of the green pea pesticide-free protection system on the restoration of biodiversity and mechanisms of natural biocenotic regulation. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*, 2022, vol. 36, no. 4, pp. 94–99. (In Russian) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_94
13. Alvarez-Baca J.K., Montealegre X., Alfaro-Tapia A., Zepeda-Paulo F., Van Baaren J., Lavandero B., Le Lann C. Composition and Food Web Structure of Aphid-Parasitoid Populations on Plum Orchards in Chile. *Insects*, 2023, no. 3. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-4450/14/3/288> (accessed 26.01.2024)
14. Agas'eva I.S., Ismailov V.Ya., Nefedova M.V., Nastasij A.S., Fedorenko E.V. Evaluation of the effectiveness of entomophages and acariphages in biological protection systems of an apple orchard. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*, 2021, vol. 35, no. 2, pp. 47–51. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10207>
15. Barriault S., Soares A.O., Gaimari S.D. et al. Leucopis glyphinivora Tanasijtshuk (Diptera: Chamaemyiidae), a new aphidophagous biocontrol agent; development, survival and comparison with *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae). *Bulletin of Entomological Research*, 2019, vol. 109, no. 4, pp. 472–478.
<https://doi.org/10.1017/S0007485318000767>
16. Prasolova A.E. Vrediteli kukuruzy v central'noj zone Krasnodarskogo kraja [Pests of corn in the central zone of Krasnodar Territory]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Zashchita rastenij ot vrednyh organizmov»*, Krasnodar, 21–25 iyunya 2021. [Proceedings of Interregional Conference «Crop protection against hazardous organisms», Krasnodar, 21–25 June 2021]. Krasnodar, 2021, pp. 302–304. (In Russian)
17. Tsygikalo I.S., Popov I.B., Khomitskii E.E. Ladybugs (Coleoptera: Coccinellidae) in Krasnodar and their role in biological suppression of phytophages. *Ekosistemy*. 2021, no. 28, pp. 88–96. (In Russian)
18. Kostyukov V.V., Kosheleva O.V., Balakhnina I.V. *Opredelitel' parazitov vrediteli plodovogo sada* [Determinant of parasites of orchard pests]. Rostov-on-Don, 2007, 254 p. (In Russian)
19. Zaslavskii V.A. *Sem. Coccinellidae – Bozh'i korovki: Opredelitel' nasekomykh Evropejskoi chasti SSSR* [Coccinellidae – Ladybugs: Key to insects of the European part of the USSR]. Moscow-Leningrad, Nauka Publ., 1965, vol. 2, pp. 319–326. (In Russian)
20. Kuznetsov V.N. *Sem. Coccinellidae – Bozh'i korovki: Opredelitel' nasekomykh Dal'nego Vostoka SSSR. T. 3. Zhestkokrylye ili zhuki, Ch. 2* [Fam. Coccinellidae - Ladybugs: Key to insects of the Far East of the USSR. Vol. 3. Coleoptera or beetles, Part 2]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1992, pp. 333–376. (In Russian)
21. Khabibullin V.F., Muravitskii O.S. *Atlas-opredelitel' koktsinellid (bozh'ikh korovok) (Coleoptera: Coccinellidae) i zhukov-listoedov (Coleoptera: Chrysomelidae) Bashkortostana. Zhuki (Coleoptera) i koleopterologiya* [Atlas-identifier of coccinellids (ladybugs) (Coleoptera: Coccinellidae) and leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) of Bashkortostan. Beetles (Coleoptera) and coleopterology.]. (In Russian) Available at: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/muravit1.htm> (accessed: 29.01.2024)
22. Ben'kovskii A.O. *Opredelitel' bozh'ikh korovok (Coleoptera, Coccinellidae) evropejskoi chasti Rossii i Severnogo Kavkaza* [Key to ladybirds (Coleoptera, Coccinellidae) of the European part of Russia and the North Caucasus]. Livny, 2020, 140 p. (In Russian)
23. Narchuk E.P. [Key to the families of dipteran insects (Insecta: Diptera) of the fauna of Russia and neighboring countries (with a brief overview of the families of the world fauna)]. In: *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN* [Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences]. Moscow, 2003, vol. 294, 250 p. (In Russian)
24. Mikhailichenko T.V., Kustov S.Yu. Taxonomic composition and ecology features of dipteran insects (Insecta: Diptera) of the natural reserve «Kamyshanova

polyana». Kavkazskii ehntomologicheskii byulleten' [Caucasian Entomological Bulletin]. Krasnodar, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 333–338. (In Russian)

25. Krivosheina N.P., Krivosheina M.G. *Opredelitel' dvukrylykh nasekomykh podotryada Brachycera-Orthorrhapha po lichinkam* [Key to dipteran insects of the suborder Brachycera-Orthorrhapha based on larvae]. Moscow, KMK Publ., 2015, 384 p. (In Russian)

26. Petrishchev V.S., Agas'eva I.S. Materials for the diptera fauna (Diptera: Brachycera) of urban and agroecosystems of Krasnodar and the environs of Elkhotoovo (North Ossetia). *Russian Agricultural Science*, 2022, no. 4, pp. 22–26. (In Russian)

<https://doi.org/10.31857/S2500262722040044>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Ирина С. Агасьева разработала концепцию, определила методологию, провела исследование, проанализировала данные, написала рукопись. Виктор С. Петрищев провел исследования, проанализировал данные. Мария В. Петрищева редактировала рукопись. Антон С. Настасий и Екатерина О. Голобородько провели исследование. 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

Irina S. Agasieva developed the concept, defined the methodology, conducted the study, analysed the data and wrote the manuscript. Victor S. Petrishchev conducted research and analysed the data. Maria V. Petrischeva edited the manuscript. Anton S. Nastasy and Ekaterina O. Goloborodko undertook research. 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

Ирина С. Агасьева / Irina S. Agasyeva <https://orcid.org/0000-0002-1216-1106>

Виктор С. Петрищев / Viktor S. Petrishchev <https://orcid.org/0000-0002-8298-1337>

Мария В. Петрищева / Maria V. Petrishcheva <https://orcid.org/0000-0001-5390-233X>

Антон С. Настасий / Anton S. Nastasiy <https://orcid.org/0000-0001-8324-0058>

Екатерина О. Голобородько / Ekaterina O. Goloborodko <https://orcid.org/000-0003-3438-7453>

Оригинальная статья / Original article
УДК 528.94:504 (571.150)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-7



Углеродный баланс в степных и лесостепных агроэкосистемах Алтайского края

Бэлла А. Краснаярова, Антон Е. Назаренко, Татьяна Г. Плуталова, Софья Н. Шарабарина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

Контактное лицо

Антон Е. Назаренко, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, лаборатория ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук; 656038 Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1.
Тел. +79039112358
Email nazarenko.iwep@gmail.com
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8613-6667>

Формат цитирования

Краснаярова Б.А., Назаренко А.Е., Плуталова Т.Г., Шарабарина С.Н. Углеродный баланс в степных и лесостепных агроэкосистемах Алтайского края // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 68-79. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-7

Получена 29 марта 2024 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Оценка углеродного баланса почв пахотных земель модельных сельхозпредприятий в различных природных условиях в границах Алтайского края с целью снижения эмиссии углерода.

Исследование охватывает 4 предприятия, более 30 тыс. га пахотных земель и 13 сельскохозяйственных культур. В качестве методической основы оценок выступает методика определения объемов выбросов и поглощений парниковых газов, утвержденная Минприроды РФ в 2022 г.

На каждом из модельных предприятий почва под различными культурами имеет уникальный углеродный баланс, в связи с чем выбор выращиваемых культур и технологий их возделывания предопределяет углеродный баланс сельхозпредприятия. Максимальный вклад в накопление углерода вносит поступление в почву растительных остатков, важную роль также играет и внесение минеральных удобрений. Основными составляющими эмиссии углерода выступают его потери с сенокошением, эрозией и дефляцией. Дыхание почвы в общем углеродном балансе занимает незначительную долю.

В сухостепной зоне для всех видов исследованных культур, кроме яровой пшеницы, выявлен отрицательный углеродный баланс. В лесостепной зоне накопление углерода отмечено для пшеницы, рапса и ячменя, потери – для гречихи и гороха. В предгорной степной зоне увеличение углерода в почве также характерно для пшеницы, ячменя и подсолнечника, снижение – для гречихи, сои, рапса, люцерны и сенажа. Наибольшими потерями углерода характеризуются поля, занятые кормовыми культурами, что является следствием изъятия растительных остатков при уборке.

Ключевые слова

Агроэкосистемы, углеродный баланс, сельское хозяйство, степь, лесостепь, дистанционное зондирование.

Carbon balance in steppe and forest-steppe agroecosystems of Altai Territory

Bella A. Krasnoyarova, Anton E. Nazarenko, Tatiana G. Plutalova and Sofia N. Sharabarina

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

Principal contact

Anton E. Nazarenko, PhD, Junior Researcher,
Laboratory of Landscape-Water-Environmental
Research and Nature Management, Institute
for Water and Environmental Problems,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences;
21 Molodegnaya St, Barnaul, Russia 656038.
Tel. +79039112358

Email nazarenko.iwep@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8613-6667>

How to cite this article

Krasnoyarova B.A., Nazarenko A.E., Plutalova T.G.,
Sharabarina S.N. Carbon balance in steppe and
forest-steppe agroecosystems of Altai Territory.
South of Russia: ecology, development. 2025;
20(1):68-79. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-
2025-1-7

Received 29 March 2024

Revised 14 September 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

Carbon balance assessment of farms in various natural conditions within the boundaries of the Altai Territory in order to reduce carbon emissions.

The study covers 4 farms, more than 30 thousand hectares of arable land and 13 agricultural crops. The methodological basis for the assessments is the methodology for determining the volumes of emissions and absorption of greenhouse gases approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation in 2022.

On each farm, the soil under different crops has a unique carbon balance and therefore the choice of crops grown and their cultivation technologies determines the carbon balance of the farm. The maximum contribution to carbon accumulation comes from the entry of plant residues into the soil; the application of mineral fertilizers also plays an important role. The main components of carbon emissions are its losses through haymaking, erosion and deflation. Soil respiration takes up a small share in the overall carbon balance.

In the dry steppe zone, a negative carbon balance was revealed for all types of crops studied, except for spring wheat. In the forest-steppe zone, carbon accumulation was noted for wheat, rapeseed and barley, and losses were noted for buckwheat and peas. In the foothill steppe zone, an increase in carbon in the soil is also typical for wheat, barley and sunflower, while a decrease is typical for buckwheat, soybeans, rapeseed, alfalfa and haylage. The greatest carbon losses occur in fields occupied by forage crops, which is associated with the removal of plant residues during harvesting.

Key Words

Agroecosystems, carbon balance, agriculture, steppe, forest-steppe, remote sensing.

ВВЕДЕНИЕ

Борьбе с повышением концентрации парниковых газов (CO_2 , N_2O , CH_4) в атмосфере в настоящее время уделяется пристальное внимание, как в науке, так и в политике. Этому вопросу посвящен ряд международных соглашений: Рамочная конвенция ООН об изменении климата (1992) [1], Киотский протокол (1997) [2], Парижское соглашение (2015) [3] и др. На постоянной основе проводит исследования Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC [4]), по итогам пятого оценочного доклада которой и было заключено вышеуказанное Парижское соглашение.

Развиваются и механизмы учета и снижения объемов выбросов парниковых газов. В ряде стран утверждаются методики инвентаризации парниковых газов на основе рекомендаций МГЭИК, постепенно вводится обязательная отчетность для ряда отраслей по данной категории выбросов. В России это направление исследований получило активное развитие с созданием карбоновых полигонов – территорий, на которых проводится разработка и испытание технологий контроля баланса климатически активных газов природных экосистем. На данный момент на территории страны действует 18 таких полигонов общей площадью более 39 тыс. га [5]. Развиваются и системы мониторинга парниковых газов – RuFlux [6], ИАС «Углерод-Э» [7].

Что касается практики учета парниковых газов применительно к хозяйствующим субъектам, в России, как и в ряде европейских стран, рекомендации по добровольной инвентаризации парниковых газов были утверждены Минприроды в 2015 году [8], а с 2023 года предприятия, имеющие объемы выбросов более 150 тыс. тонн $\text{CO}_2\text{экв.}$ и относящиеся к регулируемым отраслям, обязаны ежегодно предоставлять отчетность о выбросах парниковых газов. К регулируемым относят отрасли, производство в которых сопровождается стационарным сжиганием топлива: нефте- и газодобывающую отрасль; угольную промышленность; металлургию; производство минеральных материалов (цемента, извести, стекла и др.); химическую промышленность; транспорт; обращение с отходами [9].

На основе проводимого учета в дальнейшей перспективе предполагается развитие механизмов компенсационных платежей за выбросы парниковых газов, средства которых планируется направить на разработку и внедрение новых технологий, позволяющих снизить выбросы. Данные механизмы реализуются в ряде стран, в том числе в Китае, ЕС, США, Новой Зеландии, Канаде, Южной Корее и в некоторых других странах в виде бирж торговли углеродными квотами [10].

С октября 2023 года в ЕС действует механизм трансграничной корректировки углеродных выбросов (СВАМ), в соответствии с которым компании, импортирующие определенную продукцию в ЕС (сталь, алюминий, удобрения, цемент, водород, электроэнергия), обязаны отчитываться об углеродном следе данной продукции, а с 2026 года – оплачивать её углеродный след покупкой специальных сертификатов. Данная мера в значительной степени снижает конкурентоспособность продукции стран-экспортеров,

поставляющих продукцию в ЕС, в связи с чем Китай, Индия, Турция и Казахстан разрабатывают собственное аналогичное углеродное регулирование. Возможность введения платы за выбросы парниковых газов и организацию торговли углеродными квотами обсуждаются и в Правительстве РФ [11].

В качестве научной основы данных решений и механизмов, как и в основе всех стремлений предотвратить дальнейшее повышение концентрации парниковых газов в атмосфере лежит концепция «углеродной нейтральности», которая предполагает переход к таким технологиям хозяйства, при которых содержание парниковых газов в атмосфере стабилизируется [12].

Под углеродным балансом понимают соотношение в количестве накопленного и потерянного углерода в течение времени в сложных природных системах – почве, лесах, водоемах и др., которые выступают в качестве резервуаров, «пулов» углерода [13–15]. Изменение количества углерода в данных резервуарах, как правило, характеризует интенсивность поглощения CO_2 из атмосферы или (в случае отрицательных значений баланса) его эмиссию, а также характеризует изменение плодородия почв. Этой тематике посвящен ряд работ отечественных исследователей [15–22].

Также большое внимание уделяется исследованиям технологий и подходов повышения поглощающей способности территорий. В этом отношении агро(эко)системы представляют большой потенциал для изучения, так как секвестрация углерода из атмосферы – одна из важнейших функций почвы. Фоновые виды землепользования, в частности – сельское и лесное хозяйство, являются мощным поглотителем CO_2 : глобальные модели оценивают их углероддепонирующую способность в $11,2 \pm 2,6 \text{ ГтCO}_2/\text{год}$ из атмосферы в течение 2007–2016 годов [23]. При этом, почвы обладают и значительными запасами уже накопленного углерода, которые, по разным оценкам, кратно превышают общую наземную биомассу [15].

Выращивание сельскохозяйственных культур – распашка, внесение удобрений, средств защиты посевов, уборка урожая – вносит ряд изменений в естественный процесс круговорота углерода в почвах пахотных земель. В связи с этим важно проведение оценок углеродного баланса растениеводческих предприятий, осуществляющих деятельность в различных природных условиях и с различным набором выращиваемых культур, с целью изучения антропогенной составляющей круговорота углерода и разработки методов и технологий снижения эмиссии парниковых газов сельхозпредприятиями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевые районы для оценок углеродного баланса сельского хозяйства были выбраны с учетом представленности основных природных условий в границах Алтайского края (рис. 1). Алтайский край входит в топ-10 аграрно-ориентированных регионов страны, расположен в пределах степной, лесостепной природных зон и горных областей Алтая и Салаира и отличается широким спектром агроклиматических условий.

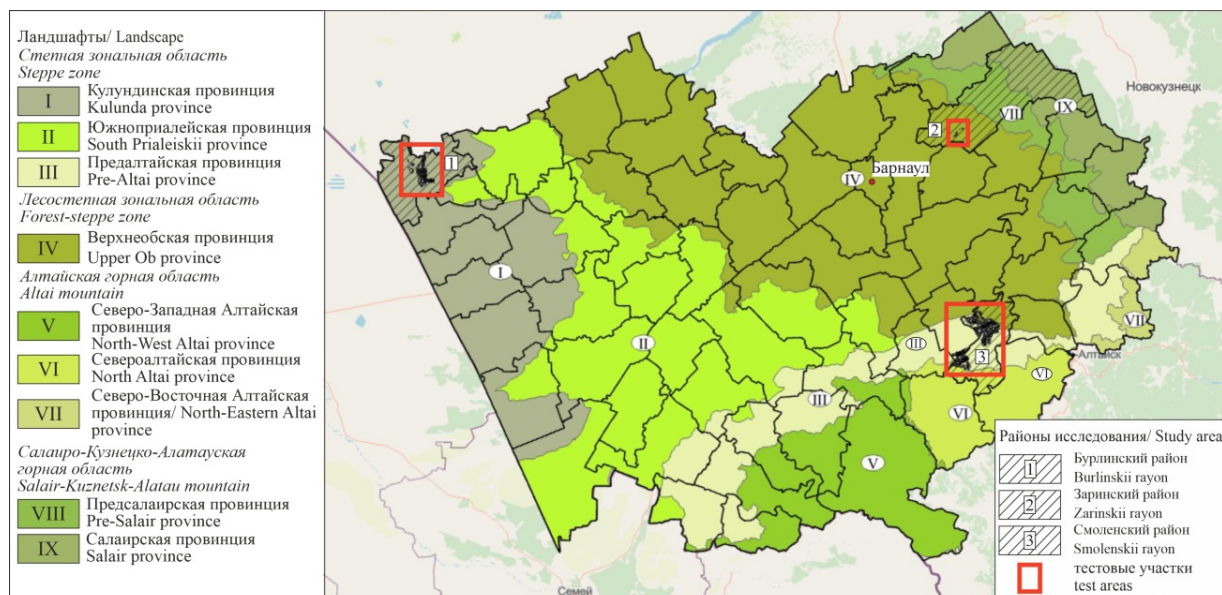


Рисунок 1. Территория исследования (на основе ландшафтной карты Алтайского края. Масштаб 1:500000 [24])

Figure 1. Study area (based on the landscape map of the Altai Territory. Scale 1:500000 [24])

Бурлинский район расположен в западной части Алтайского края на границе с Казахстаном в степной природной зоне (Кулундинская сухостепная ландшафтная провинция); Заринский район – в восточной части края в лесостепной природной зоне (Верхнеобская лесостепная ландшафтная провинция) на границе с Салаирской горной областью; Смоленский район – в южной части региона в предгорной зоне

большей частью в Предалтайской степной ландшафтной провинции на границе с Северо-Алтайской горной провинцией.

На территории данных районов были выбраны 4 сельскохозяйственных предприятия разных организационно-хозяйственных форм, структура посевных площадей которых включает практически все основные выращиваемые в Алтайском крае культуры (табл. 1).

Таблица 1. Структура посевных площадей модельных предприятий, 2022 г.

Table 1. Structure of cultivated areas of model farms, 2022

Предприятие Farm	Выращиваемые культуры Crops	Площадь, га Area, ha	Доля в структуре посевов предприятия, % Share in the structure of farm crops, %
ИП Дайрабаев М.М. (Бурлинский район) SE Dajrabaev M.M. (Burlinskiy region)	Пшеница яровая / Spring wheat	500	14,71
	Подсолнечник / Sunflower	1200	35,29
	Сенаж / Haylage	200	5,88
	Лён / Flax	1100	32,35
	Суданская трава / Sudanese sorghum	400	11,76
АО «ПЗ Бурлинский» (Бурлинский район) JSC PZ Burlinskiy (Burlinskiy region)	Пшеница яровая / Spring wheat	734	13,98
	Подсолнечник / Sunflower	856	16,30
	Сенаж / Haylage	1800	34,29
	Кукуруза / Corn	1400	26,67
	Ячмень / Barley	460	8,76
КФХ Тузовский Я.М. (Заринский район) Tuzovskiy Ia.M. farm (Zarinskii region)	Пшеница яровая / Spring wheat	70	12,99
	Гречиха / Buckwheat	125	23,19
	Рапс / Rapeseed	162	30,06
	Ячмень / Barley	138	25,60
	Горох / Peas	44	8,16
ООО «Агро-Сибирь» (Смоленский район) Agro-Sibir LLC (Smolenskii region)	Пшеница яровая / Spring wheat	7069,1	33,38
	Пшеница озимая / Winter wheat	1138,1	5,37
	Ячмень / Barley	470,5	2,22
	Гречиха / Buckwheat	3651	17,24
	Подсолнечник / Sunflower	2404,2	11,35
	Соя / Soybean	1526,9	7,21
	Рапс / Rapeseed	746	3,52
	Люцерна / Alfalfa	1433,9	6,77
	Сенаж / Haylage	2738,4	12,93

В целом, следует отметить, что выбор выращиваемых культур на предприятиях обусловлен агроклимати-

ческими и почвенными условиями: при недостаточном увлажнении степных районов предпочтение отдают

техническим культурам, в условиях достаточного увлажнения и более насыщенных гумусом почв – зерновым и зернобобовым. Кроме того, важным аспектом выбора выращиваемых культур выступает их рентабельность. Так, в Заринском районе выращивают большие площади рапса по причине его высокой рентабельности и экспортоориентированности.

Углеродный баланс почв под выращиваемыми культурами рассчитан по методике, отраженной в Приказе Минприроды РФ от 27 мая 2022 г. N 371 [25]. Рассмотрение модели ROTHС [26] показало, что она не подходит для целей исследования в силу того, что последнее обновление алгоритма и баз данных датировано 2009 годом и не учитывает ряд более

поздних результатов. Данная модель рассчитывает только процесс выбросов парниковых газов от разложения растительных остатков, и не принимает во внимание два других критически важных фактора – внесение удобрений и средств защиты посевов, сжигание топлива.

В соответствии с методикой Минприроды, основными компонентами расчета углеродного баланса почв пахотных земель выступают поступление углерода с удобрениями и растительными остатками (как поверхностными, так и корневыми), вымывание углерода в процессе ветровой и водной эрозии, дыхание почв, потери углерода при сенокошении (1):

$$\Delta C = (C_{fert} + C_{plant}) - (C_{resp} + C_{eroston} + C_{hey}) \quad (1)$$

где ΔC – изменение запасов углерода в углеродном пуле почвы, тонн С/год; C_{fert} – поступление углерода с органическими и минеральными удобрениями, тонн С/год; C_{plant} – поступление углерода с приповерхностными и корневыми растительными остатками; C_{resp} – потери углерода с дыханием почв, тонн С/год;

$C_{eroston}$ – механические потери почвенного углерода в результате эрозии и дефляции, тонн С/год; C_{hey} – потери углерода с сенокошением, тонн С/год.

Алгоритм расчета составляющих углеродного баланса почв представлен в таблице 2.

Таблица 2. Формулы расчета компонентов углеродного баланса почвы [25]

Table 2. Formulas for calculating soil carbon balance components [25]

Формулы / Formulas	Показатели / Characteristics
$C_{fert} = \frac{M_i \times C_i}{100}$	M_i – масса внесенных удобрений по видам (i), тонн/год / mass of applied fertilizers by type (i), tons/year; C_i – содержание углерода в удобрениях, % / carbon content of fertilizers, %
$C_{plant} = C_{ab} + C_{un}$	C_{ab} – масса углерода, поступающего в почву с поверхностными растительными остатками, кг С/год / mass of carbon entering the soil with surface plant residues, kg C/year; C_{un} – масса углерода, поступающего в почву с корневыми растительными остатками, кг С/год / mass of carbon entering the soil with root plant residues, kg C/year;
$C_{ab} \text{ или } C_{un} = ((A_i \times Y_i + B_i) \times C_i) \times S_i$	Y_i – урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га / crop yield, hundred kg/ha; A_i, B_i – коэффициенты для расчета массы поверхностных и корневых растительных остатков сельскохозяйственной культуры i при определенном уровне урожайности [25] / coefficients for calculating the mass of surface and root plant residues of agricultural crop i at a certain yield level [25]. C_i – содержание углерода в биомассе культуры i, кг С / кг сухой массы / carbon content of crop biomass i, kg C / kg dry weight; S_i – площадь посевов культуры i, га / crop area i, ha
$C_{resp} = \frac{Area_i \times AC_{CO_2} \times Veg \times 0,6 \times 1,43}{100} \times \frac{12}{44}$	$Area_i$ – площадь почв пахотных земель типа i, га / the area of arable land soils of the type i, ha; AC_{CO_2} – серия средних коэффициентов по дыханию микрофлоры почв пахотных земель, мг CO ₂ / м ² / час / series of average coefficients for respiration of microflora of arable soils, mg CO ₂ / m ² / hour; Veg – продолжительность вегетационного периода, часов / duration of the growing season, hours; 0,6 – безразмерный коэффициент для исключения дыхания корней / dimensionless coefficient for eliminating root respiration; 1,43 – безразмерный коэффициент для включения холодного периода года в расчет дыхания почв / dimensionless coefficient for inclusion of the cold period of the year

	in the calculation of soil respiration; 12/44 – коэффициент пересчета единиц CO ₂ в углерод / CO ₂ to carbon conversion coefficient
$C_{eroston} = S_i \times EF_{eroston}$	S_i – площадь посевов культуры i , га / crop area i , ha. $EF_{eroston}$ – коэффициент потерь углерода при эрозии и дефляции, тонн C/га/год / coefficient of carbon loss due to erosion and deflation, tons C/ha/year
$C_{hey} = Y_{hey} \times 0,45$	Y_{hey} – валовой сбор сена, тонн сухого вещества в год / gross hay harvest, tons of dry weight per year; 0,45 – коэффициент учета содержания углерода в сене, кг C/кг сухого вещества / coefficient of accounting for carbon content in hay, kg C/kg dry weigh

Проведенные авторами оценки углеродного баланса основаны на данных, полученных в ходе экспедиционных исследований в период с 14.07.2023 по 21.07.2023. С применением данных ДЗЗ были созданы карты сельскохозяйственных угодий каждого предприятия, для чего была собрана база данных

эталонов Landsat 8-9 (250 точек), которая содержит координаты посевных культур, их фотографии и фрагменты безоблачного снимка Landsat 8 OLI от 17 или 19 июля 2023 г. Фрагменты базы данных приведены в табл. 3., рис. 2.

Таблица 3. База данных посевов сельскохозяйственных культур (фрагмент)
Table 3. Agricultural crops database (fragment)

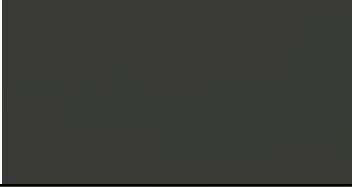
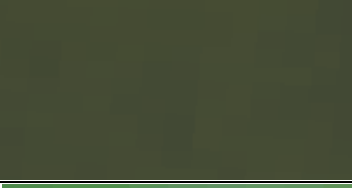
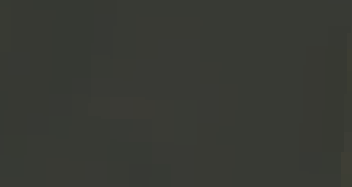
Эталон Landsat 8 OLI 19.07.2023 Landsat 8 OLI 19.07.2023	Фото на местности Location photo	Культура Crop
		гречиха buckwheat
		подсолнечник sunflower
		соя soybean
		рапс rapeseed
		горох peas
		ячмень barley



Рисунок 2. Расположение точек-образцов посевов сельскохозяйственных культур ООО Агро-Сибирь (фрагмент)
Figure 2. Location of sampling points of agricultural crops LLC Agro-Sibir (fragment)

Для получения данных о применяемых технологиях выращивания посевных культур, удобрениях и средствах защиты посевов, которые необходимы для расчета углеродного баланса растениеводства в соответствии с методикой Минприроды, было проведено анкетирование руководителей и агрономов модельных предприятий. По результатам составлена база данных показателей для оценки углеродного баланса, фрагмент которой приведен в табл. 4.

Таблица 4. Показатели для оценки углеродного баланса модельных сельскохозяйственных предприятий (фрагмент базы данных)

Table 4. Indicators for assessing carbon balance of model farms (database fragment)

Культуры Crops	S, га S, ha	Урожай, тонн Yield, tons	Обращение с растительными остатками Plant residues management	Годовой расход топлива (ДТ), л Fuel consumption per year (diesel oil), l	Удобрения, объем внесения, кг/га Fertilizers, application volume, kg/ha	Средства защиты посевов, объем внесения Crop protection products, application volume
Пшеница яровая Spring wheat	500	1300	измельчаются, запахиваются mulching	18000	NPK 16-16-16(6), 100	Торнадо-540 (1,5 кг/га) Балерина Форте (1л/га) Борей Нео (0,1 л/га) Tornado-540 (1,5 kg/ha) Balerina Forte (1 l/ha) Borej Neo (0,1 l/ha)
Подсолнечник Sunflower	1200	1320	измельчаются, запахиваются mulching	16800	NP(S) 20:20 (14), 70	Торнадо-540 (1,5 кг/га) Балий (0,6л/га) Борей Нео

						(0,1 л/га) Мортира (0,05 кг/га) Квик-степ (0,8л/га) Tornado-540 (1,5 kg/ha) Balij (0,6l/ha) Borej Neo (0,1 l/ha) Mortira (0,05 kg/ha) Kvik-step (0,8l/ha)
Сенаж Haylage	200	1600	скашиваются (продукция) mowing (products)	3000	АМУ 40%, 80	Борей Нео (0,1 л/га) Балерина Форте (1л/га) Borej Neo (0,1 l/ha) Balerina Forte (1l/ha)

На основе созданных баз данных проведено картографирование посевных площадей модельных сельхозпредприятий и оценен углеродный баланс почв для каждой выращиваемой культуры.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ
Результаты расчета углеродного баланса почв по культурам, выращиваемым на модельных предприя-
тиях, представлены на рисунке 3.

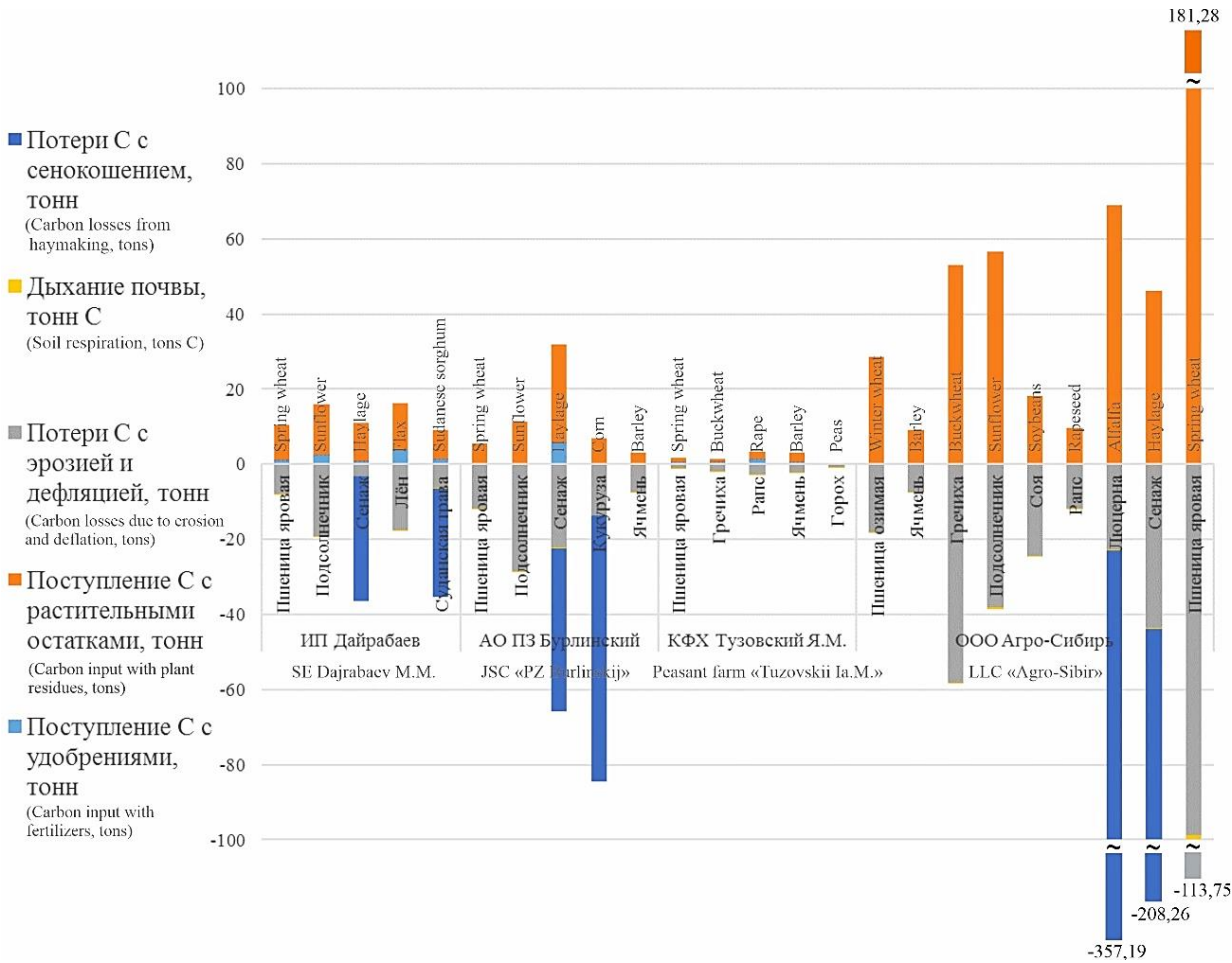


Рисунок 3. Составляющие углеродного баланса почв на модельных предприятиях, тонн С/год
Figure 3. Components of soil carbon balance of model farms, tons C per year

Наибольший вклад в накопление углерода в почве во всех модельных хозяйствах и по всем выращиваемым культурам вносит поступление в почву растительных остатков (поверхностных и корневых) посевных культур.

В связи с тем, что при выращивании различных культур и в различных природных и технологических условиях образуется разное количество растительных остатков, объемы накопления углерода в почве под данными

культурами различаются. Важную роль в накоплении углерода в процессе растениеводства также играет и внесение минеральных и органических удобрений, последние на модельных сельхозпредприятиях не вносятся.

Основными источниками эмиссии углерода выступают его потери с сенокошением, эрозией и

дефляцией. Дыхание почвы в общем углеродном балансе по данным проведенных расчетов занимает незначительную долю (0,05–1,18 % потерь углерода).

В расчете на 1 га посевной площади карта-схема углеродного баланса модельных хозяйств представлена на рисунке 4.

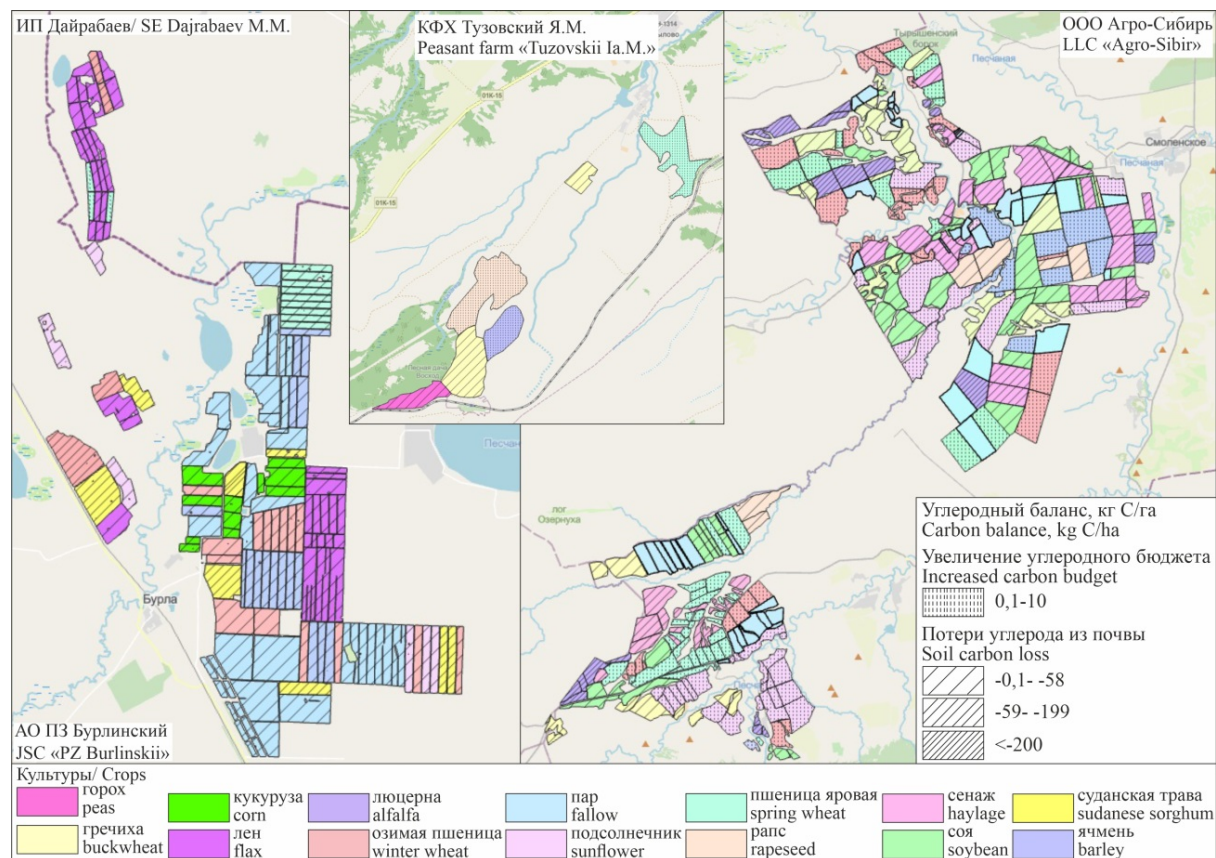


Рисунок 4. Карта-схема углеродного баланса модельных хозяйств

Figure 4. Carbon balance map of model farms

В Бурлинском районе отрицательный углеродный баланс отмечен для всех культур, кроме пшеницы яровой в ИП Дайрабаев М.М. (накопление углерода 4,72 кг C/га).

В Заринском районе накопление углерода отмечено для пшеницы (10,15 кг C/га), рапса (4,65 кг C/га) и ячменя (5,49 кг C/га), минимальные потери – для гречихи (-3,44 кг C/га) и гороха (-5,98 кг C/га). Прежде всего, это связано с культурой ведения сельского хозяйства – растительные остатки после уборки запахиваются в почву, выступают в роли удобрений и участвуют в накоплении гумуса.

В Смоленском районе, в ООО «Агро-Сибирь», накопление углерода в почве отмечено также для пшеницы яровой (9,55 кг C/га), пшеницы озимой (9,02 кг C/га), ячменя (3,59 кг C/га) и подсолнечника (7,58 кг C/га), потери – для гречихи (-1,46 кг C/га), сои (-4,18 кг C/га), рапса (-3,11 кг C/га), люцерны (-200,97 кг C/га) и сенажа (-59,15 кг C/га). Наибольшими потерями углерода характеризуются поля, занятые кормовыми культурами (люцерна, суданская трава, фуражный овес), что связано с изъятием большей части растительных остатков при уборке.

Сравнение полученных результатов с данными других исследований, например, выполненных научным коллективом под руководством Суховеевой

О.Э. с использованием углеродной модели DNDC, показало их сопоставимость. Оценки углеродного баланса почв агроценозов в хозяйствах Курской, Тульской, Рязанской областей и Чувашской республики по модели DNDC за период 1973–2023 гг. составили $89,7 \pm 244,6$ кг C/га/год [27]. Для модельных хозяйств Алтайского края с применением методики Минприроды в 2023 гг. получены значения $-95,41 \pm 105,56$ кг C/га/год, что подтверждает сопоставимость результатов при их некоторых различиях, обусловленных природными условиями, выращиваемыми культурами и моделями оценки.

ВЫВОДЫ

По результатам исследования выявлено, что на модельных предприятиях наибольший вклад в накопление углерода в почве вносит поступление растительных остатков. В связи с тем, что при выращивании культур в различных природных условиях возникает разная масса растительных остатков (и отличаются методы обращения с ними), объемы накопления углерода в почве под данными культурами значительно разнятся. Важную роль в накоплении углерода в процессе растениеводства также играет и внесение минеральных (азотных, фосфорных, калийных) удобрений. Основными источниками

эмиссии углерода выступают его потери с сенокосением, эрозией и дефляцией. Дыхание почвы в общем углеродном балансе занимает незначительную долю.

Для всех видов исследованных культур в сухостепной зоне, за исключением яровой пшеницы (ИП Дайрабаев М.М), отмечен отрицательный углеродный баланс, который характеризуется превышением потерь углерода над его накоплением. В лесостепной зоне накопление углерода отмечено для пшеницы, рапса и ячменя, потери – для гречихи и гороха, что связано, в том числе и с применяемыми методами обращения с растительными остатками: они после уборки урожая запахиваются в почву и участвуют в накоплении гумуса. В предгорной степной зоне накопление углерода в почве отмечено также для пшеницы, ячменя и подсолнечника, потери – для гречихи, сои, рапса, люцерны и сенажа. Наибольшими потерями углерода характеризуются поля, занятые кормовыми культурами, что связано с изъятием растительных остатков при уборке.

Таким образом, выращивание кормовых культур, в частности подразумевающих скашивание биомассы в качестве продукции, приводит к значительным потерям почвенного углерода, в то время как возделывание зерновых, в том числе яровой и озимой пшеницы, ячменя, способствует накоплению углерода в почвах.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00253 «Трансформация системы землепользования как инструмент регулирования углеродного баланса аграрного региона» <https://rscf.ru/project/23-27-00253/> в Институте водных и экологических проблем СО РАН.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out through the Russian Science Foundation grant No. 23-27-00253 “Transformation of the Land Use System as a Tool for Regulating the Carbon Balance of an Agricultural Region” <https://rscf.ru/project/23-27-00253/> at the Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.РКИК ООН // Рамочная Конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. 1992. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения 18.01.2024)
- 2.Киотский протокол // Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. 1997. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (дата обращения 18.01.2024)
- 3.Парижское соглашение // Организация Объединенных Наций. 2015. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (дата обращения 18.01.2024).
- 4.IPCC. Climate Change 2023. Synthesis Report. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC>

- 5.С_AR6_SYR_LongerReport.pdf (дата обращения 12.02.2024)
- 5.Карбоновые полигоны Российской Федерации. URL: <https://carbon-polygons.ru/polygons/> (дата обращения 12.02.2024)
- 6.Сайт российской сети экологических наблюдений. Мониторинг потоков парниковых газов в России. URL: <https://ruflux.net/> (дата обращения: 27.02.2024)
- 7.Консорциум «Ритм углерода». ИАС «Углерод-Э» URL: <http://carbon.geosmis.ru/> (дата обращения: 27.02.2024)
- 8.Распоряжение Минприроды РФ от 16.04.2015 N 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/ (дата обращения: 18.01.2024)
- 9.Постановление Правительства РФ от 14.03.2022 N 355 «О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым организациям». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411616/e12184983259a6cabb68fa8b5c7791b2c55b7751/#dst100018 (дата обращения: 18.01.2024)
10. Назаренко А.Е., Красноярова Б.А. Стоимостная оценка экосистемных услуг по депонированию углерода экосистемами Алтайского края как составляющая перехода к устойчивому развитию // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2018. Т. 4 (14). N 4. С. 89–99.
11. Ведомости. В Минэкономике оценили перспективы введения платы за углеродные выбросы. URL: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2024/02/11/1019652-v-minekonomiki-schitayut> (дата обращения 12.02.2024)
12. Наумов А.В. Углеродный статус России и динамическое равновесие биосферы // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5. N. 2. С. 62–67.
13. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. N. 9. С. 1049–1060.
14. Коломыц Э.Г. Углеродный баланс лесных экосистем Волжского бассейна в условиях глобального потепления: прогнозное ландшафтно-экологическое моделирование // Сибирский лесной журнал. 2021. N. 3. С. 56–75.
15. Калов Р.О., Гакаев Р.А. Место природных травяных экосистем в глобальном углеродном балансе // Проблемы региональной экологии. 2022. N. 6. С. 50–54.
16. Замолотчиков Д. Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергетика. 2021. N. 2. С. 53–69.
17. Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Шварцбург Я.Д. Углеродный баланс карбоновой фермы // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. N. 9. С. 28–32.
18. Гуня А.Н., Гайрабеков У.Т., Гагаева З.Ш. Изучение ландшафтной структуры для оценки углеродного баланса горных экосистем // Геология и Геофизика Юга России. 2022. Т. 12. N. 3. С. 170–181.
19. Куричева О.А. и др. Мониторинг экосистемных потоков парниковых газов на территории России: сеть RuFlux // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. N. 4. С. 512–535. <https://doi.org/10.31857/S2587556623040052>

20. Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научный консультант», 2017. 82 с.
21. Занилов А.Х. и др. Динамика углеродного статуса почвы на ранней стадии роста растений ячменя под влиянием средств биоактивации почвы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. N 5. С. 5–17.
22. Золотухин А.Н., Суховеева О.Э., Карелин Д.В. Площадные показатели эмиссии CO₂ из почвы различных биотопов Медвенского района Курской области // Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства. Сборник докладов. 2021. С. 120–124.
23. IPCC 2019. Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems URL: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/> (дата обращения 18.01.2024)
24. Цимбалей Ю.М. Ландшафтная карта Алтайского края. Масштаб 1:500000; ред.: Л.Ф. Лубенец, С.В. Цибликина, Н.Ю. Курепина. Научное редактирование: Ю.И. Винокуров. Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2016.
25. Приказ Минприроды РФ от 27 мая 2022 г. N 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423207/ (дата обращения: 18.01.2024)
26. Rothamsted carbon model (ROTHC). URL: <https://www.rothamsted.ac.uk/> (дата обращения: 18.01.2024)
27. РНФ. Карточка проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанного Российским научным фондом. URL: <https://www.rscf.ru/project/23-26-00191/> (дата обращения: 18.01.2024)

REFERENCES

1. United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (accessed 18.01.2024)
2. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 1997. Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (accessed 18.01.2024)
3. The Paris Agreement. 2015. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf (accessed 18.01.2024)
4. IPCC. Climate Change 2023. Synthesis Report. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPC_C_AR6_SYR_LongerReport.pdf (accessed 12.02.2024)
5. *Karbonovye poligony Rossiiskoi Federatsii* [Carbon polygons of the Russian Federation]. Available at: <https://carbon-polygons.ru/polygons/> (accessed 12.02.2024)
6. *Sait rossiiskoi seti ekologicheskikh nablyudenii. Monitoring potokov parnikovyykh gazov v Rossii* [Website of the Russian environmental observation network. Monitoring greenhouse gas flows in Russia]. Available at: <https://ruflux.net/> (accessed 27.02.2024)
7. *Konsortsiy «Ritm ugleroda». IAS «Uglerod-E»* [Consortium «Rhythm of Carbon». IAS «Uglerod-E»].

- Available at: <http://carbon.geosmis.ru/> (accessed 27.02.2024)
8. *Rasporyazhenie Minprirody RF ot 16.04.2015 N 15-r «Ob utverzhdenii metodicheskikh rekomendatsii po provedeniyu dobrovol'noi inventarizatsii ob"ema vybrosov parnikovyykh gazov v sub"ektakh Rossiiskoi Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated April 16, 2015 N 15-r «On approval of methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the constituent entities of the Russian Federation»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/ (accessed 18.01.2024)
9. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14.03.2022 N 355 «O kriteriyakh otneseniya yuridicheskikh lits i individual'nykh predprinimatelei k reguliruemyim organizatsiyam»* [Decree of the Government of the Russian Federation of March 14, 2022 N 355 «On the criteria for classifying legal entities and individual entrepreneurs as regulated organizations»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_411616/e12184983259a6cabb68fa8b5c7791b2c55b7751/#dst100018 (accessed 18.01.2024)
10. Nazarenko A.E., Krasnoyarova B.A. Valuation of ecosystem services for carbon sequestration by ecosystems of the Altai Krai as a component of the transition to sustainable development. *Geopolitics and Ecogeodynamics of regions*, 2018, vol. 4 (14), no 4, pp. 89–99. (In Russian)
11. Vedomosti. *V Minekonomiki otsenili perspektivy vvedeniya platy za uglerodnye vybrosy* [Vedomosti The Ministry of Economy assessed the prospects for introducing a fee for carbon emissions]. Available at: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2024/02/11/1019652-v-minekonomiki-schitayut> (accessed 12.02.2024)
12. Naumov A.V. Carbon status of Russia and the dynamic balance of the biosphere. *The Journal of Soils and Environment*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. 62–67. (In Russian)
13. Kudayarov V.N. The current state of the carbon balance and the maximum capacity of soils to absorb carbon in Russia. *Eurasian Soil Science*, 2015, no. 9, pp. 1049–1060. (In Russian)
14. Kolomyts E.G. Carbon balance of forest ecosystems of the Volga basin under conditions of global warming: predictive landscape-ecological modeling. *Siberian Journal of Forest Science*, 2021, no. 3, pp. 56–75. (In Russian)
15. Kalov R.O., Gakaev R.A. The place of natural grass ecosystems in the global carbon balance. *Regional Environmental Issues*, 2022, no. 6, pp. 50–54. (In Russian)
16. Zamolodchikov D. G. Carbon cycle and climate change. *Environment and Energy Science*, 2021, no. 2, pp. 53–69. (In Russian)
17. Kalinina E.V., Rudakova L.V., Shvartsburd Ya.D. Carbon balance of a carbon farm. *Ecology and industry of Russia*, 2023, Vol. 27, no. 9, pp. 28–32. (In Russian)
18. Gunya A.N., Gairabekov U.T., Gagaeva Z.Sh. Studying landscape structure to assess the carbon balance of mountain ecosystems. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 2022, Vol. 12, no. 3, pp. 170–181. (In Russian)
19. Kuricheva O.A. et al. Monitoring ecosystem fluxes of greenhouse gases in Russia: RuFlux network. *News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 512–535. <https://doi.org/10.31857/S2587556623040052> (In Russian)
20. Fedorov B.G. *Rossiiskii uglerodnyi balans* [Russian carbon balance]. Moscow, 2017, 82 p. (In Russian)

21. Zanirov A.Kh. et al. Dynamics of soil carbon status at the early stage of barley plant growth under the influence of soil bioactivation agents. *News of the Timiryazev Agricultural Academy*, 2023, no. 5, pp. 5–17. (In Russian)
22. Zolotukhin A.N., Sukhoveeva O.E., Karelin D.V. Ploshchadnye pokazateli emissii SO₂ iz pochvy razlichnykh biotopov Medvenskogo raiona Kurskoi oblasti [Areal indicators of CO₂ emission from the soil of various biotopes of the Medvensky district of the Kursk region]. *Ratsional'noe zemlepol'zovanie: optimizatsiya zemledeliya i rastenievodstva. Sbornik dokladov* [Rational land use: optimization of agriculture and crop production. Collection of reports]. 2021, pp. 120–124. (In Russian)
23. IPCC 2019. Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/> (accessed 18.01.2024)
24. Tsimbalei Yu.M. Landscape map of the Altai Territory. Scale 1:500000; ed.: L.F. Lubenets, S.V. Tsilikina, N.Yu. Kurepina. Scientific editing: Yu.I. Vinokurov. Barnaul, IWEP SB RAS, 2016.
25. *Prikaz Minprirody RF ot 27 maya 2022 g. N 371 «Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovykh gazov i pogloshchenii parnikovykh gazov»* [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated May 27, 2022 N 371 «On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals»]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_423207/ (accessed 18.01.2024)
26. Rothamsted carbon model (ROTHC). Available at: <https://www.rothamsted.ac.uk/> (accessed 18.01.2024)
27. *RNF. Kartochka proekta fundamental'nykh i poiskovykh nauchnykh issledovaniy, podderzhannogo Rossiiskim nauchnym fondom* [RSF. Card of the project of fundamental and exploratory scientific research supported by the Russian Science Foundation]. Available at: <https://www.rscf.ru/project/23-26-00191/> (accessed 18.01.2024)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Бэлла А. Красноярова, Антон Е. Назаренко, Татьяна Г. Плуталова, Софья Н. Шарабарина совместно собрали материалы исследования. Антон Е. Назаренко провел расчеты углеродного баланса. Татьяна Г. Плуталова картографировала результаты. 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

Bella A. Krasnoyaroova, Anton E. Nazarenko, Tatiana G. Plutalova and Sofia N. Sharabarina jointly collected the research materials. Anton E. Nazarenko carried out the carbon balance calculations. Tatiana G. Plutalova mapped the results. 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

Бэлла А. Красноярова / Bella A. Krasnoyaroova <https://orcid.org/0000-0002-0008-1635>
 Антон Е. Назаренко / Anton E. Nazarenko <https://orcid.org/0000-0002-8613-6667>
 Татьяна Г. Плуталова / Tatiana G. Plutalova <https://orcid.org/0000-0002-2349-9823>
 Софья Н. Шарабарина / Sofia N. Sharabarina <https://orcid.org/0000-0002-9322-3953>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.7+574.9+911.9

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-8



Подходы к сохранению биоразнообразия в управляемом степном агроландшафте

Елена Г. Королева¹, Ирина Ф. Петрова²¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия²Институт географии РАН, Москва, Россия

Контактное лицо

Елена Г. Королева, кандидат географических наук, доцент, кафедра биогеографии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; 119899 Россия, г. Москва, Ленинские Горы, 1, Географический факультет.

Тел. +79015315283

Email koroleva@cs.msu.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-9004-4581>

Формат цитирования

Королева Е.Г., Петрова И.Ф. Подходы к сохранению биоразнообразия в управляемом степном агроландшафте // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 80-97.
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-8

Получена 14 июня 2024 г.

Прошла рецензирование 14 сентября 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: мониторинг, оценка и картографирование регионального биологического разнообразия в южном степном агроландшафте с высокой долей распаханной территории для выделения типов экосистем, играющих ключевую роль в сохранении биоразнообразия, и разработки картографических моделей экологического каркаса на трех масштабных уровнях (региональном, базовом и локальном).

Исследование проведено на основе полевых исследований и картографического анализа с использованием ГИС-технологий.

Показано, что мало нарушенные и не используемые в практике сельского хозяйства лесополосы, островные леса, долины рек, балки, межи и фрагменты деградированных степей, занимающие около 7 % территории, выполняют в аграрном ландшафте роль резервуаров региональной флоры и фауны, буферных зон и транзитных коридоров. Для более чем 100 видов редких, реликтовых и исчезающих видов сосудистых растений и наземных животных они представляют потенциальные местообитания, соответствующие их экологии, географическому ареалу и экологической валентности. Таким образом, сохранение высокого флористического и фаунистического разнообразия степного биотопа могут поддерживать, наряду с системой ООПТ, структурированные по природоохранной роли и приоритетности восемь типов природных экосистем или их сохранившиеся фрагменты даже в условиях высокоинтенсивного и продуктивного сельскохозяйственного производства.

Предлагаемые экологические подходы и малозатратные мероприятия сохранения биоразнообразия, разработанные для каждого элемента экологического каркаса, могут найти применение в аграрном секторе юга России при разработке природоохранных программ и концепций на региональном, муниципальном и локальном уровнях.

Ключевые слова

Биоразнообразие, агроландшафт, экологический каркас, экологический коридор, картографирование.

Approaches to biodiversity conservation in a managed steppe agricultural landscape

Elena G. Koroleva¹ and Irina F. Petrova²

¹Moscow State Lomonosov University, Moscow, Russia

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Principal contact

Elena G. Koroleva, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Biogeography, Moscow State Lomonosov University; 1 Leninskiye Gory St, Faculty of Geography, Moscow, Russia 119899.

Tel. +79015315283

Email koroleva@cs.msu.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9004-4581>

How to cite this article

Koroleva E.G., Petrova I.F. Approaches to biodiversity conservation in a managed steppe agricultural landscape. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):80-97. (In Russ.)

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-8

Received 14 June 2024

Revised 14 September 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

Aim. To monitor, assess and map regional biological diversity in the southern steppe agricultural landscape, which has a high proportion of arable land; to highlight types of key ecosystems for its conservation; and to develop cartographic models of the ecological framework at regional, basic and local scale levels.

The study was carried out on the basis of field research, cartographic analysis and GIS technologies.

The results showed that forest belts, island forests, river valleys, gullies, boundaries and fragments of degraded steppes on 7 % of the territory, which are little disturbed and not used in agricultural practice, perform the role of reservoirs of regional flora and fauna, buffer zones and transit corridors in the agricultural landscape. For more than 100 species of rare, relict and endangered species of vascular plants and terrestrial animals, they represent potential habitats. 8 types of habitats were identified corresponding to their ecology, geographical area and ecological valence. They are structured according to the environmental role played and priority of protection. Even in conditions of intensive and productive agricultural production, it is possible to preserve the high floral and faunal diversity of the steppe biome not only in protected areas, but also in the types of natural ecosystems studied as elements of the ecological framework.

Ecological approaches and low-cost biodiversity conservation measures are proposed for each element identified. The approaches developed can be applied in the agricultural sector of the south of Russia in environmental protection programs and policies at the regional, municipal and local levels.

Key Words

Biodiversity, agricultural landscapes, ecological framework, ecological corridor, mapping.

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственные земли степных регионов нашей страны обладают исключительно богатым и ценным биологическим богатством, составляющим значительную долю национального агробиоразнообразия. Биоразнообразие как ценнейшее природное наследие служит базовым первичным источником значительной доли сельскохозяйственной продукции и обеспечивает многообразные процессы стабилизации агроландшафтов, необходимые для устойчивого сельского хозяйства. В последние годы ряд российских и зарубежных сельхозпроизводителей переходят в своей деятельности к стратегии устойчивого производства, в которой сохранение биологического разнообразия естественных экосистем в целом и составляющих их компонентов рассматривается в качестве одного из приоритетов и ключевых принципов своей деятельности для целей обеспечения экологической безопасности в регионе. С этих позиций территории интенсивно используемых степных аграрных регионов, где активная сельскохозяйственная деятельность на протяжении более двух столетий привела к катастрофическому сокращению естественных природных комплексов, в первоочередном порядке требуют применения ландшафтно-ориентированных мероприятий, которые будут способствовать сохранению биологического разнообразия в контексте устойчивого сельского хозяйства.

Как и в других отраслях хозяйства, современное индустриализированное и технически оснащенное сельскохозяйственное производство имеет ряд негативных для окружающей среды последствий, среди которых – деградация экосистем и связанная с этим утрата биологического и генетического разнообразия, снижение ландшафтного разнообразия, многочисленные проблемы нарушения местообитаний и жизнедеятельности растений и животных, а также экосистем в целом [1]. Поэтому проблема минимизации негативных рисков, методологическая и практическая разработка путей сохранения биоразнообразия при первоочередном развитии сельскохозяйственной деятельности остается актуальной повесткой и продолжает развиваться в настоящее время. Для агроландшафтов, расположенных в степных и лесостепных биомах, где распаханность территории может превышать 90 %, эта проблема считается одной из приоритетных.

Целью и задачами настоящего исследования является поиск, оценка и картографирование эффективных, экологических и малозатратных подходов для охраны регионального биологического разнообразия в типичном сельскохозяйственном районе юга России. При их разработке и обосновании во внимание принимались основные природоохранные концепции: 1) сохранения видового (флористического и фаунистического) разнообразия, прежде всего редких, эндемичных и исчезающих видов растений и животных в их естественных местообитаниях; и 2) сохранение экологического (ландшафтного) разнообразия методами локализации, систематизации и картографирования комплекса типичных, ценных и уникальных природных комплексов в агроландшафте как элементов экологического каркаса региона. Предлагаемые подходы должны найти применение в аграрном секторе при разработке природоохранных программ на

региональном, муниципальном и локальном уровнях.

Характеристика региона исследований

В качестве модельной территории выбран Белоглинский район (БГР) Краснодарского края, расположенный в Прикубанской низменности на рельефе полого-волнистой пластовой равнины, слабо расчлененной долинами рек и балками. Материнскими почвообразующими породами являются лессовидные глины, которые подстилаются красно-бурными гипсоносными глинами. Ландшафтная структура территории достаточно однообразна: широкие речные долины с пологими склонами и фрагментарно выраженный пойменно-террасовый комплекс. Коренные склоны имеют длину до 1 км, перепад высот составляет 40–60 м. По геоботаническому районированию Северного Кавказа территория относится к Западно-Предкавказскому округу Степной Северо-Кавказской подпровинции, Восточно-Европейской провинции, входящей в область Евразийских степей. Территория БГР расположена в зоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей с господством дерновинных степных злаков. В прошлом здесь господствовали ковыли (*Stipa pennata* L., *S. pulcherrima* K. Koch, *S. lessingiana* Trin. & Rupr.), типчак (*Festuca valesiaca* Gaudin); из корневищных злаков были обильны костер береговой (*Bromus riparius* Rehmman), реже мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.), в небольшом количестве присутствовала осока приземистая (*Carex supina* Willd. ex Wahlenb.).

Из всех районов равнинной части Краснодарского края БГР является самым засушливым. Он отличается высоким уровнем хозяйственного освоения территории при низкой плотности населения (19,8 чел/км², что меньше аналогичного показателя только в соседнем Новопокровском районе, и наименьшей в крае общей протяженностью автомобильных дорог. Исторически сложилось, что подавляющую часть территории занимают земли сельскохозяйственного назначения, и в настоящее время практически они все (86,21 %) распаханы, здесь выращивается преимущественно зерно, подсолнечник, сахарная свекла, кукуруза. Производством сельскохозяйственной продукции в районе занимаются 6 крупных и средних коллективных хозяйств, 11 малых хозяйств, 267 индивидуальных предпринимателей и более 11 000 личных подсобных хозяйств. Остатки деградированных степей в настоящее время используются под пастбища и рекреацию, что еще сильнее приводит к их антропогенной трансформации. Фрагменты естественных растительных сообществ сохранились, как правило, на участках, не пригодных к сельскохозяйственному освоению. Видовая и ценоотическая структура этих сообществ также претерпела различные изменения: исчез целый ряд коренных аборигенных видов, практически повсеместно внедрились сорные и рудеральные виды. Малые размеры и изменившаяся структура естественных растительных сообществ делают их слабо устойчивыми к различным воздействиям.

Выбор БГР для исследования объясняется, наряду с типичными чертами южного продуктивного степного агроландшафта его географическими и природно-обусловленными особенностями: высоким флористическим, фаунистическим и экосистемным

потенциалом разнообразия, о чем свидетельствует нахождение территории в зоне «Горячих точек» биоразнообразия (Biodiversity Hotspots) и его непосредственная близость к Мировому центру разнообразия растительности [2], наличием водно-болотных угодий международного значения и ключевых орнитологических территорий России (КОТР), особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [3], а

также окружением соседних сходных по сельскохозяйственной направленности районов Ростовской области, Ставропольского края и Республики Калмыкия, что позволяет рассматривать изучаемый регион БГР не изолированно, а как важную составную и репрезентативную часть экологического каркаса степной зоны юга России (рис. 1).

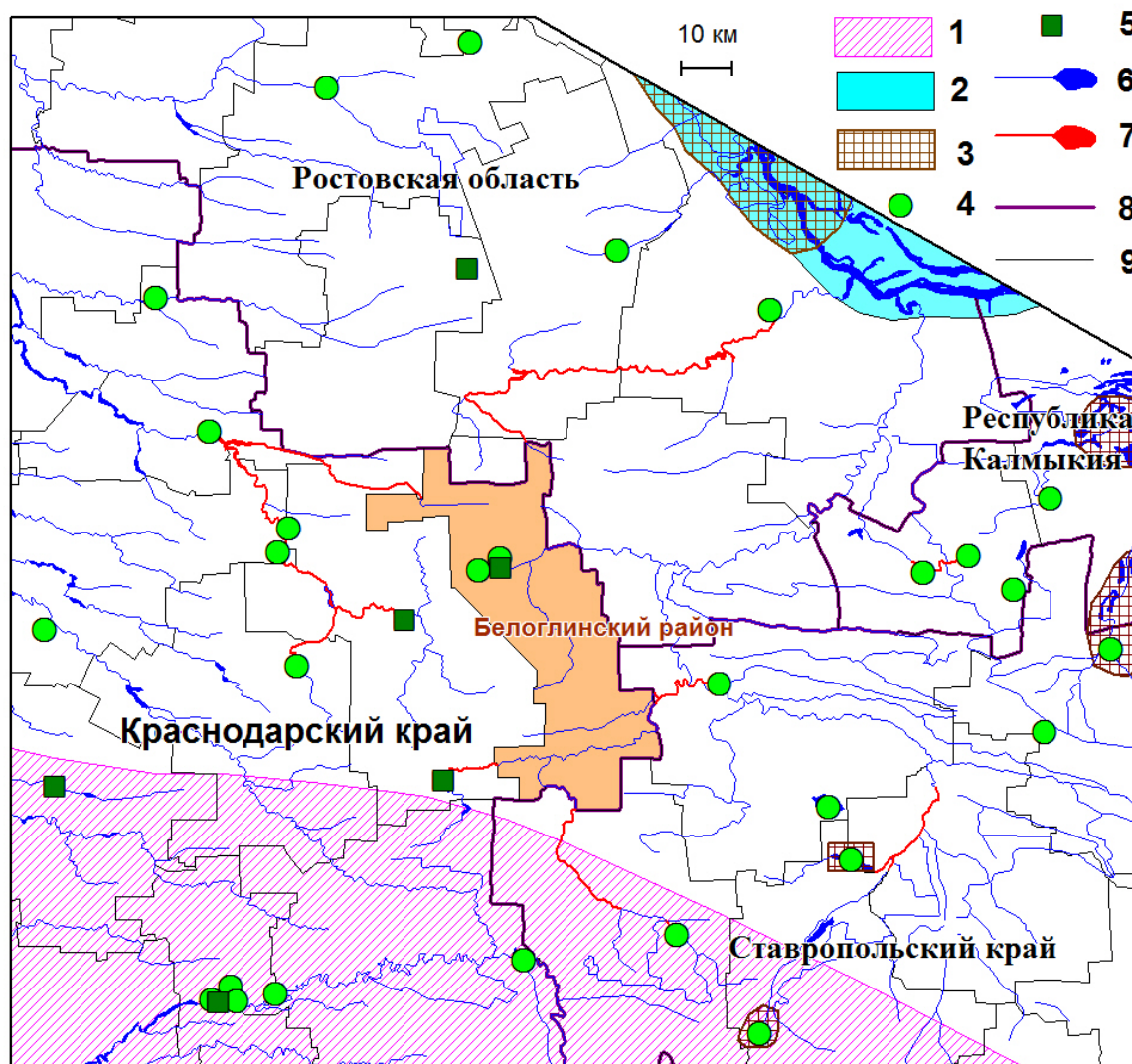


Рисунок 1. Географическое положение Белоглинского района Краснодарского края и природоохранных территорий разного ранга: 1 – территория Мирового центра разнообразия растительности; 2 – водно-болотные угодья международного значения (Рамсарские); 3 – ключевые орнитологические территории России; 4 – ООПТ регионального, краевого или республиканского значения; 5 – ООПТ местного значения; 6 – гидросеть; 7 – долинно-балочные комплексы, соединяющие ООПТ с Белоглинским районом; 8 – границы субъектов РФ; 9 – границы административных районов

Figure 1. Geographical location of the Beloglinsky district, Krasnodar Territory and nature conservation areas of various ranks: 1 – the territory of the World Centre of Vegetation Diversity; 2 – Ramsar wetlands of international importance; 3 – key ornithological territories of Russia; 4 – protected areas of regional, regional or republican significance; 5 – protected areas of local importance; 6 – hydrological objects; 7 – valley-wetland complexes connecting protected areas within Beloglinsky district; 8 – borders of the subjects of the Russian Federation; 9 – borders of administrative districts

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подходы к сохранению биологического разнообразия в агроландшафтах БГР и природоохранные мероприятия разрабатывались на основе полевых исследований авторов, экспертной оценки и тематического картографирования прилегающих к сельскохозяй-

ственным полям участков природных территорий и их анализа. В ходе полевых работ было обследовано 12 участков естественной растительности в агроландшафтах, выбранных по критериям географической и региональной репрезентативности, близости к ООПТ, наличию охраняемых видов растений

и животных и сохранности ценных в природоохранном плане экосистем.

Натурные полевые исследования проводились в полевой сезон 2023 г. во всех сохранившихся естественных фрагментах экосистем между сельскохозяйственными полями, вокруг них и в ближайшем окружении. Применялись методы полных и кратких маршрутных описаний растительных сообществ, закладки геоботанических площадок, методик регистрации наземных позвоночных животных, в т.ч. визуальных встреч и следов жизнедеятельности на комплексных зоологических маршрутах. Для каждого местообитания давалась характеристика природных условий и особенностей антропогенного использования. Запись трека и маршрутных точек велась с помощью GPS-приемника Garmin Etrex-30, фотофиксация объектов исследования и характерных биотопов – с помощью цифровой фотокамеры Nikon D80 с объективом Nikon NIKKOR UltraZoom 18-200 и фотокамеры смартфона Samsung Galaxy M21. Информация о ходе маршрута записывалась на цифровой диктофон Sony ICD-PX2240 с последующим занесением данных в бланк учетного маршрута.

Аналитический этап включал в себя обработку полевых описаний, составление флористических и фаунистических списков охраняемых видов растений и животных, картографирование и эколого-географический анализ собранных данных, типизацию природоохранных элементов экологического каркаса, их роли в сохранении биоразнообразия и разработку мероприятий по охране каждого из рассмотренных элементов. Оценка локального биоразнообразия проведена по флористическим и фаунистическим единицам с природоохранной ценностью, к которым отнесены *редкие, исчезающие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных*, потенциально характерные для территории района исследования. Во флористико-фаунистический анализ включены виды, занесенные в Красные книги: а) Российской Федерации [4–6]; б) Краснодарского края [7; 8]; в) Ставропольского края [9; 10]; г) Ростовской области [11; 12]; республики Калмыкия [13; 14]. За основу оценок была взята традиционная шкала статуса редкости: 1 – находящиеся под угрозой исчезновения; 2 – сокращающиеся в численности и/или распространении (уязвимые); 3 – редкие; 4 – неопределенные по статусу. Поскольку в каждой региональной Красной книге применена собственная шкала категорий статусов видов, они тоже были учтены в анализе. На основании материалов Красных книг для каждого охраняемого вида отмечены местообитания, в которых этот вид встречается, и сходные местообитания выделены на картах и снимках в сохранившихся естественных экосистемах на территории БГР или вблизи него.

Для аккумуляции и визуализации имеющейся информации был проведен картографический анализ с использованием ГИС-технологий на базе программы MapInfo Professional 15.0. Полученная в результате ГИС «Экологический каркас БГР» состоит из карт трех масштабных уровней. Обзорный (региональный) уровень (масштаб 1:1000000) дает общее представление об экологических связях БГР

с сопредельными природными территориями. На карте основного (базового) уровня (масштаб 1:100000) подробно показаны элементы экологического каркаса района. Локальный уровень (масштаб 1:10000) позволяет провести детальный анализ, включая в рассмотрение микроразмерные объекты. При создании карт использовались находящиеся в открытом доступе топографические карты, данные интернет-ресурса OpenStreetMap, данные дистанционного зондирования, включая снимки высокого разрешения, Публичная кадастровая карта РФ, схемы землеустройства сельскохозяйственных предприятий, материалы полевых исследований.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство примеров успешного агробизнеса показывают, что природоохранные программы должны основываться на результатах мониторинга биоразнообразия в агроландшафтах, который определяет наиболее уязвимые его компоненты (в первую очередь редкие и охраняемые виды), сохранившиеся участки естественных ландшафтов и ценные в природоохранном плане фрагменты – потенциальные элементы экологического каркаса территории [15–20]. Работ флористико-фаунистической и ландшафтной направленности на территории БГР и в аналогичных ландшафтах не проводилось, поэтому настоящее исследование, направленное на сохранение природно-обусловленного богатства территории, закладывает основу для последующего изучения сельскохозяйственного региона и его географического окружения. Ключевыми индикаторами и показателями эффективности планируемых природоохранных мероприятий выбраны высшие растения, различные группы беспозвоночных и птицы, как это принято в мировой практике [21; 22].

Редкие и охраняемые виды растений и животных как наиболее уязвимые компоненты экосистем. Список охраняемых видов растений, которые потенциально могут обитать на исследуемой территории, насчитывает 69 видов, относящихся к 29 семействам, самым многочисленным из которых является семейство бобовых (10 видов) (табл. 1). В Красную книгу РФ (2023 г.) занесены 13 видов [6] (в предыдущем варианте Красной книги 2008 г. было 15 видов); 9 из них упомянуты во всех 4-х региональных Красных книгах.

Большинству видов растений, занесенных в Красные книги, присвоен статус редких и сокращающихся в численности. 12 видов (безвременник яркий, *Colchicum laetum* Stev.; беллевалия великолепная, *Bellevia speciosa* Woronow ex Grossh.; касатик карликовый, *Iris pumila* L.; касатик ложный, *Iris notha* Bieb.; ковыль красивейший, *Stipa pulcherrima* C. Koch; ковыль перистый, *Stipa pennata* L.; майкараган волжский, *Calophaca wolgarica* (L. fil.) DC.; пион тонколистый, *Paeonia tenuifolia* L.; тюльпан Геснера, *Tulipa gesneriana* L.), астрагал чашечковый, *Astragalus calycinus* Bieb.; риндера четырехщитковая, *Rindera tetraspis* Pall; тюльпан Биберштейна, *Tulipa biebersteiniana* Schult. et Schult. f.) занесены во все рассмотренные региональные Красные книги и (за исключением трех последних в перечне видов) еще и в Красную книгу РФ.

Таблица 1. Распространение и статус охраняемых видов сосудистых растений (фрагмент)**Table 1.** Distribution and status of protected vascular plant species (fragment)

№ п/п No	Виды сосудистых растений Vascular plants	Красная книга РФ The Red Book of the Russian Federation		Красные книги регионов* Regional Red Books				Местообитание Habitat
		Категория статуса редкости Rarity status category	Категория статуса угрозы исчезновения Category of endangered status	КК КТ	СК СТ	РО RR	РК RK	
1	<u>Сем. Лютиковые</u> <u>Family Ranunculaceae</u> Горицвет весенний <i>Adonis vernalis</i> L. 1753			+	+	+		степи, распахившиеся лесополюсы steppes, decayed forest belts
2	Ломонос цельнолистный <i>Clematis integrifolia</i> L.			+	+			степи, опушки и распахившиеся лесополюсы steppes, edges and decayed forest belts
3	Прострел луговой <i>Pulsatilla pratensis</i> (L.) Mill 1768	3 – Редкий Rare	У – Уязвимый Vulnerable	+		+		степи, опушки и распахившиеся лесополюсы steppes, edges and decayed forest belts
4	<u>Сем. Бобовые</u> <u>Family: Legumes</u> Астрагал чашечковый <i>Astragalus calycinus</i> Bieb. 1808			+	+	+	+	степи steppes
5	Майкараган волжский <i>Calophaca wolgarica</i> (L. fil.) DC. 1825	2 – Сокращаю- щийся в численности и/или распростран ении Decreasing in numbers and/or distribution	У – Уязвимый Vulnerable	+	+	+	+	степи steppes
6	<u>Сем. Злаковые</u> <u>Family: Cereals</u> Ковыль красивейший <i>Stipa pulcherrima</i> C. Koch, 1848	3 – Редкий Rare	БУ – Нахо- дящийся в состоянии, близком к угрожаемому Nearly endangered	+	+	+	+	степи steppes
7	Ковыль украинский <i>Stipa ucrainica</i> P. Smirn (<i>Stipa zalesskii</i> Wilensky)				+	+	+	степи, опушки и распахившиеся лесополюсы steppes, edges and decayed forest belts
8	<u>Сем. Наядовые</u> <u>Family: Naiads</u> Каулиния малая <i>Caulinia minor</i> (All.)Coss. et Germ.				+		+	водоемы reservoirs
9	Наяда большая <i>Najas major</i> L.				+			водоемы reservoirs
10	<u>Сем. Росянковые</u> <u>Family Droseraceae</u> Альдранда пузырчатая <i>Aldrovanda vesiculosa</i> L.	3 – Редкий Rare	И – Исчеза- ющий Disappearing	+		+	+	водоемы reservoirs
11	<u>Сем. Гиацинтовые</u> <u>Family Hyacinthaceae</u>	2 – Сокращаю-	У – Уязвимый Vulnerable	+	+	+		сухие травянистые холмы (курганы), степи

Беллевалия великопепная, сарматская <i>Bellevalia speciosa</i> Woronow ex Grossh. 1925 (<i>Bellevalia sarmatica</i> (Georgi) Woronow)	ущийся в численности и/или распространении Decreasing in numbers and/or distribution	dry grassy hills (mounds), steppes
---	---	------------------------------------

Примечание: КК – Краснодарский край; СК – Ставропольский край; РО – Ростовская область; РК – Республика Калмыкия
Note: KK – Krasnodar Territory; SK – Stavropol Territory; RR – Rostov region; RK – Republic of Kalmykia

Таблица 2. Распространение и статус охраняемых видов позвоночных животных (фрагмент)

Table 2. Distribution and status of protected vertebrate species (fragment)

№ п/п No	Виды позвоночных животных Vertebrate species	The Red Book of the Russian Federation		Занесение в Красные книги*				Местообитание Habitat
		Красная книга РФ		Regional Red Books				
		Категория статуса редкости Rarity status category	Категория статуса угрозы исчезновения Category of endangered status	КК КТ	СК СТ	РО RR	РК RK	
1	<u>Класс Земноводные</u> <u>Сем. Ужевые</u> <u>Class Amphibians</u> <u>Family Snakes</u> Полз желтобрюхий или каспийский <i>Hierophis caspius</i> Gmelin, 1789			+	+	+	+	разреженные лесные массивы, опушки, просеки sparse woodlands, edges, clearings
2	<u>Класс Птицы</u> <u>Сем. Цаплевые</u> <u>Class Birds</u> <u>Family Heron</u> Желтая цапля <i>Ardeola ralloides</i> Scopoli, 1769			+		+	+	водоемы, заросли тростника, лесонасаждения reservoirs, reed beds, forest plantations
3	<u>Сем. Утиные</u> <u>Family: Duck</u> Малый лебедь <i>Cygnus bewickii</i> Yarritll, 1830	3 – Редкий Rare	У – Уязвимый Vulnerable	+			+	крупные водоемы large bodies of water
4	Пискулька <i>Anser erythropus</i> Linnaeus, 1758	2 – Сокращаю щийся в числен ности и распрост ранении Decreasing in number and distribution	И – Исчезающий Disappearing	+		+	+	долины ручьев и высокие крутые склоны, скалы, луга и кустарниковые заросли речных пойм stream valleys and high steep slopes, cliffs, meadows and shrubby thickets of river floodplains
5	<u>Сем. Скопиные</u> Скопа Family Osprey Osprey <i>Pandion haliaetus</i> Linnaeus, 1758	3 – Редкий Rare	3 – Уязвимый Vulnerable	+			+	долины степных рек, водохранилищ valleys of steppe rivers and reservoirs
6	<u>Сем. Ястребиные</u> <u>Family: Hawk</u> Малый подорлик <i>Aquila pomarina</i> C.L. Brehm, 1831	3 – Редкий Rare	БУ – находящийся в состоянии, близком к угрожаемому Nearly endangered	+			+	лесные массивы и открытые увлажненные участки woodlands and open moist areas

7	Змееяд <i>Circaetus gallicus</i> Gmelin, 1788	3 – Редкий Rare	У – уязвимый Vulnerable	+		+	сухие балки, речные долины, влажные луга dry gullies, river valleys, wet meadows
8	Курганник <i>Buteo rufinus</i> Cretzschmar, 1827	3 – Редкий Rare	У – уязвимый Vulnerable	+		+	придорожные участки между полями с лесополосами roadside areas between fields with forest belts
9	Орлан-белохвост <i>Haliaeetus albicilla</i> Linnaeus, 1758	5 – Восстанавливаемый и восстанавливающийся Recoverable and regenerating	НО – Вызывающий наименьшие опасения Least concern	+		+	крупные водоемы large bodies of water
10	<u>Сем. Совиные</u> <u>Family Owls</u> Филин <i>Bubo bubo</i> Linnaeus, 1758	3 – Редкий Rare	У – уязвимый Vulnerable	+	+	+	склоны речных террас, коренных берегов вблизи пойменных лесов, агроценозов, лесополос slopes of river terraces, indigenous shores near floodplain forests, agrocenoses, forest belts
11	Класс Млекопитающие <u>Сем. Куньи</u> <u>Class Mammalia</u> <u>Family Mustelidae</u> Норка европейская кавказская <i>Mustela lutreola turovi</i> Kusnetsov, 1939	2 – Сокращающиеся в численности и/или распространении Decreasing in number and distribution	НД – Недостаточно данных Insufficient information	+	+	+	заросшие водоемы с высокими берегами, канавы overgrown reservoirs with high banks, ditches
12	Перевязка южно-русская <i>Vormela peregusna</i> <i>peregusna</i> Gildenstadt, 1770	4 – Неопределенный по статусу Species of undetermined status	НД – Недостаточно данных Insufficient information	+		+	пустоши, неудобья, балки, лесополосы wastelands, inconveniences, gullies, forest belts

Примечание: КК – Краснодарский край; СК – Ставропольский край; РО – Ростовская область; РК – Республика Калмыкия

Note: KK – Krasnodar Territory; SK – Stavropol Territory; RR – Rostov region; RK – Republic of Kalmykia

Список охраняемых видов позвоночных животных насчитывает 22 вида, относящихся к 13-ти семействам, среди которых самым многочисленным таксономическим разнообразием выделяются птицы (13 видов, 7 семейств). Большинство охраняемых животных имеет статус «редкий» и может быть встречено в околородных местообитаниях и лесном массиве (табл. 2). Те же местообитания и степные участки предпочитают еще 24 вида из 17 семейств насекомых. Каспийский полоз и кавказская европейская норка занесены во все четыре региональные Красные книги; норка, перевязка и еще 8 видов птиц включены в последнее издание Красной книги РФ (Животные).

Итоги анализа охраняемой флоры и фауны показывают, что более 100 видов охраняемых видов

растений и животных в сельскохозяйственном районе, каким является БГР, необходимо рассматривать в качестве единиц локального биоразнообразия и опираться при его сохранении на комплексную охрану местообитаний этих видов. Учет и локализация редких, охраняемых и реликтовых видов растительного и животного мира проводится в ходе инвентаризации флоры и фауны региона, далее состояние и характеристики их биоразнообразия контролируются в ходе биоэкологического мониторинга.

Сообщества и экосистемы, обеспечивающие сохранение биоразнообразия как потенциальные элементы экологического каркаса. Сельскохозяйственные угодья БГР граничат с разнообразными природными выделами, которые, как показано в

предыдущем разделе, могут рассматриваться как элементы экологического каркаса. Для Краснодарского края в 2014 г. была разработана структура экологического каркаса, включающая: элементы средообразующих природных объектов (система базовых элементов), обеспечивающих благоприятный экологический фон территории; элементы ключевых природных объектов, представляющие собой резерваты дикой природы и играющие роль генетических хранилищ биоразнообразия; вспомогательные функциональные природные элементы ПЭК; природно-антропогенные элементы, требующие реабилитации [23]. Применительно к БГР эта структура включает в качестве базовых и вспомогательных функциональных природных элементов единственный в районе лесной массив и три ООПТ общей площадью менее 3 га. Более детальное исследование БГР с применением геоботанических, зоогеографических и комплексных экологических

методов позволило выделить восемь типов сохранившихся природных экосистем, включающих уже упомянутые, но расширенные за счет включения в эту типологию *лесополос, островных лесов, долин рек, балок, травянистых буферных зон и межей, участков деградированных степей, памятников археологии, охранных зон небольших по площади инфраструктурных объектов (отдельно стоящие водонапорные башни, трансформаторные будки и др.)*, которые могут выполнять функции элементов экологического каркаса [24; 25]. Эти биотопы и границы полей с ними повсеместно и всесезонно используются растениями и животными как пригодные местообитания в интенсивно используемых агроландшафтах, выполняют роль кормовых участков, защитных убежищ, станций переживания неблагоприятных условий, территорий размножения и очагов расселения. С этих позиций именно они должны стать основными местами приложения природоохранных мероприятий.

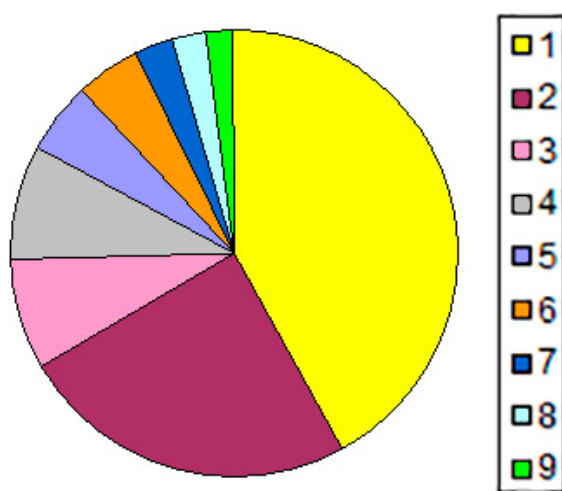


Рисунок 2. Соотношение типов местообитаний редких и охраняемых видов растений
 1 – степи; 2 – опушки лесополос, участки распавшихся лесополос; 3 – кустарниковые заросли; 4 – балки;
 5 – лесопосадки, лесополосы; 6 – залежи, обочины дорог; 7 – водоемы; 8 – берега рек и прудов; 9 – луга
Figure 2. Ratio of habitat types of rare and protected plant species
 1 – steppes; 2 – edges of forest belts, areas of decayed forest belts; 3 – shrubby thickets; 4 – gullies;
 5 – plantations, forest belts; 6 – deposits, roadsides; 7 – reservoirs; 8 – banks of rivers and ponds; 9 – meadows

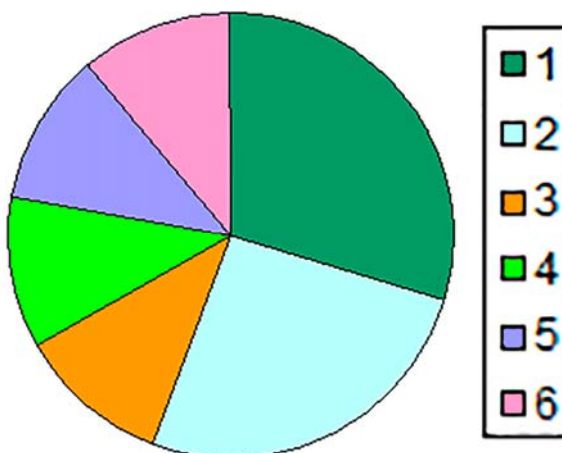


Рисунок 3. Соотношение типов местообитаний редких и охраняемых видов позвоночных животных
 1 – леса; 2 – долинные комплексы; 3 – залежи, балки, овраги; 4 – луга; 5 – лесополосы; 6 – кустарниковые заросли, обочины дорог
Figure 3. Ratio of habitat types of rare and protected vertebrate species
 1 – forests; 2 – valley complexes; 3 – deposits, gullies, ravines; 4 – meadows; 5 – forest belts; 6 – shrubby thickets, roadsides

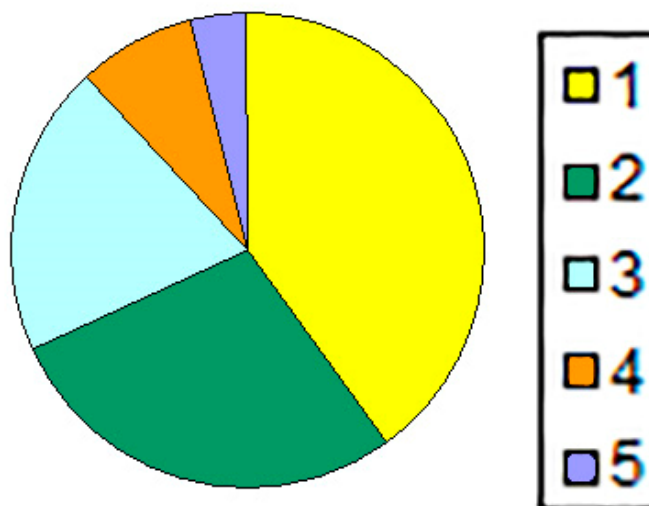


Рисунок 4. Соотношение типов местообитаний редких и охраняемых видов насекомых

1 – степи; 2 – леса; 3 – водоемы и долинные комплексы; 4 – залежи; 5 – лесополосы

Figure 4. Ratio of habitat types of rare and protected insect species

1 – steppes; 2 – forests; 3 – reservoirs and valley complexes; 4 – deposits; 5 – forest belts

Наиболее распространенными типами местообитаний редких и охраняемых видов растений являются степные, опушечные и лесополосы, особенно распавшиеся – в них могут обитать более 65 % видов (рис. 2). Для позвоночных животных наиболее значимы лесные и долинные комплексы, которые могут служить убежищем для более, чем 55 % видов (рис. 3); для насекомых – степные, лесные, долинные комплексы и водоемы (более 85 %) (рис. 4).

Важную природоохранную роль играют даже такие нарушенные человеком местообитания, как залежи и обочины дорог: здесь могут поселиться до 5 % редких и охраняемых видов растений (глядициум рогатый, *Glaucium corniculatum* (L.) J. Rudolph; ворсянка разрезная, *Dipsacus laciniatus* L.; резеда желтая, *Reseda lutea* L. и др.), около 10 % позвоночных животных и 8 % насекомых. Все выделенные участки, абсолютно типичные и репрезентативные для любого степного сельскохозяйственного региона, на примере территории БГР они показаны на рис. 5.

Природоохранное значение основных элементов экологического каркаса БГР. Структуризация, типология и классификация сохранившихся экосистем позволяют выделить среди них по критериям сохранности ландшафтных комплексов, выполнения природоохранных функций и наличия потенциала для сохранения биоразнообразия две группы (основную и вспомогательную). В основную включаются лесополосы различного назначения, буферные зоны у естественных водных объектов (прибрежно-водные комплексы), балки и лесные сообщества; во вспомогательную – межи, изолированные фрагменты деградированных степных сообществ и охранные зоны инфраструктурных объектов, на которых начались восстановительные сукцессии растительности. Принадлежность к той или иной группе тесно связывается с приоритетностью их управления и внедрением разрабатываемых природоохранных мер.

Полезационные лесополосы, выполняющие в основном ветрозащитную функцию, высаживались на Кубани с конца XIX в., и защитное лесоразведение с разной степенью активности, включающее чистку и

уход за лесополосами, продолжались до конца XX в. По состоянию на 2008 г. общая площадь лесополос Краснодарского края составила 150 000 га, однако вследствие отсутствия ухода и преобладания старовозрастных древесных пород эффективность защитных функций лесных насаждений утратилась [26]. Более того, из-за неухаживаемых лесополос, зарастания их краев травянистой растительностью, кустарниками и мелкоколесом, в частности, робинией лжеакацией из оборота стала выводиться пашня (до 2 % в некоторых агрохозяйствах на территории БГР). С другой стороны, ухудшение состояния лесополос расширило возможности охраны сохранившихся до наших дней естественных и в разной степени нарушенных человеком местообитаний в их границах. Зарастающие закрайки и участки распавшихся лесных полос стали способствовать увеличению биоразнообразия в них, в том числе за счет увеличения ландшафтного разнообразия и усиления экотонного эффекта на границах контрастных экосистем. Помимо этого, полезационные насаждения представляют собой транзитные пути и каналы миграции, по которым происходит проникновение видов на смежные территории.

Полезационные лесополосы в БГР состоят из 3–7 рядов деревьев разных пород (вяз приземистый, или карагач (*Ulmus pumila* L.), робиния лжеакация, или акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.), гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris* Lam.), ясени зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borkh.) и обыкновенный (*F. excelsior* L.), шелковица белая (*Morus alba* L.), груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* Mill.). Протяженность, ширина, высота древесного яруса и возраст пород варьируют в достаточно широких пределах: протяженность субмеридиональных (самых длинных) лесополос 1500–2000 м (редко более 3000 м); ширина 15–30 м (редко 40–80 м); средняя высота 9–16 м; возраст 30–60 лет. Хотя встречаются разрушенные и значительно разрушенные лесополосы, промежутки которых заняты травянистыми ценозами, зарослями кустарников или стихийными дорогами,

сохранность древесного полога лесополос в целом выше средней (50–75 %). Из кустарников произрастают терн или слива колючая (*Prunus spinosa* L.), шиповник собачий (*Rosa canina* L.), скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria* Scop.), боярышник мягковатый (*Crataegus submollis* Sarg.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), бересклет европейский (*Euonymus*

europaeus L.) в дубовых лесополосах. В травостое доминируют корневищные злаки, луговые и сорные виды. Хорошо представлен комплекс мелких млекопитающих, гнездящихся птиц (б. 50 видов) и герпетофауны, на опушках лесополос, полянах и в зарослях кустарников встречаются многочисленные виды насекомых.

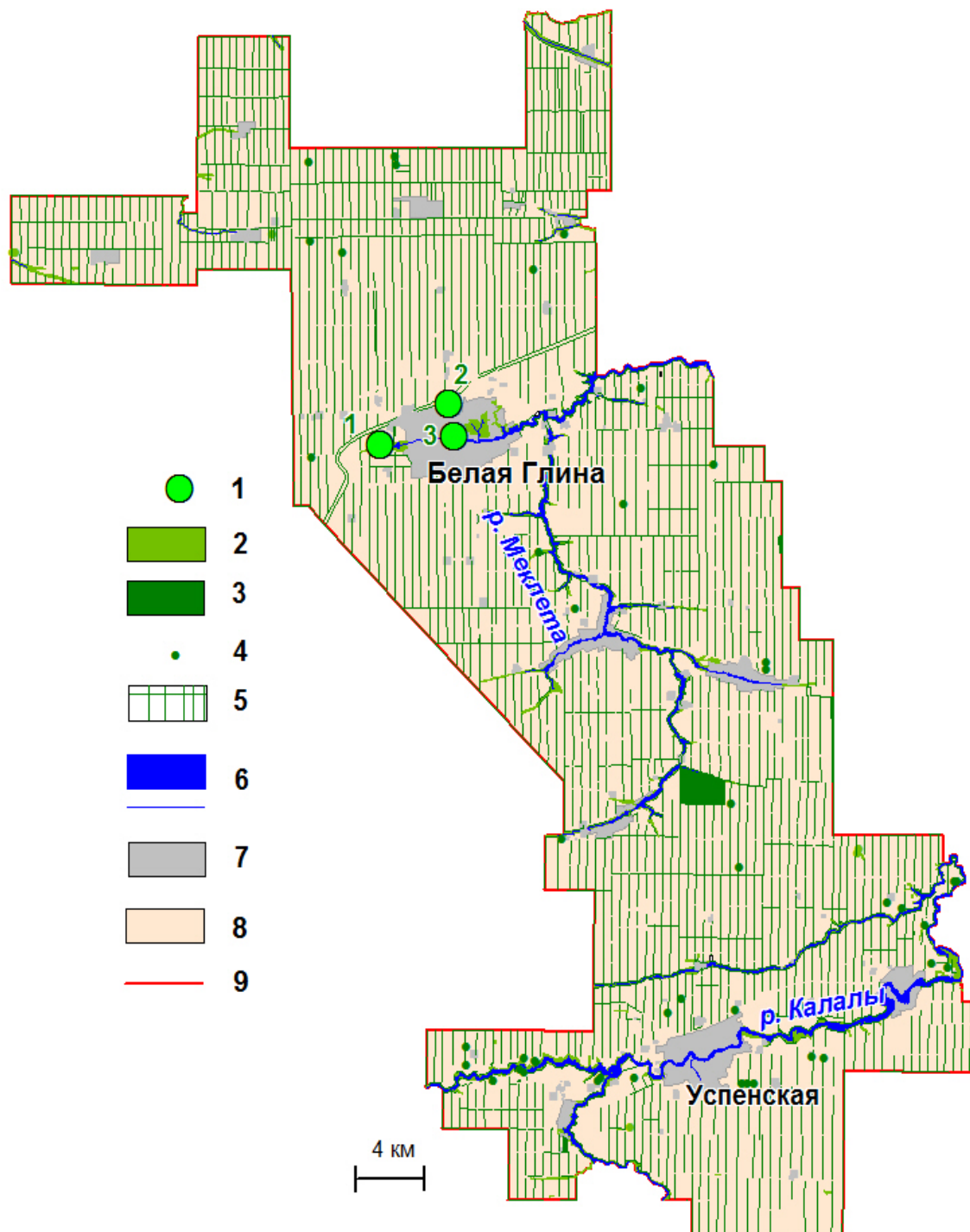


Рисунок 5. Структурные элементы экологического каркаса района [24]

1 – ООПТ (1 – Родник колхоза «Россия», 2 – Родник колхоза им. В.И. Ленина, 3 – «Платановая набережная»); 2 – долинно-балочный комплекс; 3 – леса; 4 – изолированные участки лесов среди полей; 5 – лесополосы; 6 – гидросеть; 7 – населенные пункты и промышленные объекты; 8 – граница Белоглинского района

Figure 5. Structural elements of ecological framework of the district [24]

1 – protected areas (1 – spring of the Russia collective farm, 2 – spring of the V.I. Lenin collective farms, 3 – Platanovaya Embankment); 2 – valley-beam complex; 3 – forests; 4 – isolated areas of forests among fields; 5 – forest belts; 6 – hydrological object; 7 – populated areas settlements and industrial facilities; 8 – the border of Beloglinsky district

Помимо ползащитных, к лесополосам с природоохранным потенциалом можно отнести придорожные (вдоль Северо-Кавказской железной дороги) и прибрежные, которые входят в состав единого прибрежно-долинного экологического коридора. По последним рассчитан индекс их залесения (отношение лесопокрытой площади прибрежных полос малых рек к площади прибрежных полос, требующих залесения), который составляет 49,261 [27]. Лесополосы увеличивают облесенность степных территорий: без них этот показатель составил бы 0,3 га на 100 га пашни, а с учетом них он возрастает до 3,4, что сравнимо с оптимальным нормативом для пахотных земель (5 га леса / 100 га пашни) [28].

На основе флористического анализа редких и охраняемых видов одного из основных элементов экологического каркаса БГР можно сделать вывод, что в пределах лесополос, включая уже распавшиеся, может быть повсеместно встречено 33 вида растений, занесенных в Красные книги (табл. 1), из них только 3 вида (тюльпан Геснера, *Tulipa gesneriana* L.; володушка круглолистная, *Vulpurum rotundifolium* L. и синеголовник плосколистный, *Eryngium planum* L.) узколокализованы и могут быть встречены на прогреваемых опушках и прогалинах в лесополосах из дуба черешчатого, а остальные распространены

достаточно широко. Учитывая общую протяженность (ок. 3 тыс. км) и площадь всех лесополос в БГР (51,46 км²), их природоохранная функция как: 1) резервуаров региональной флоры и фауны; 2) экологических коридоров между изолированными участками естественных экосистем и 3) канала распространения живых организмов в исследуемом степном регионе высока.

Прибрежно-водные комплексы и примыкающие к ним балки с водотоками являются вторым по значимости элементом экологической сети. Протекающие на территории БГР и вдоль его границ реки (табл.3) характеризуются слабым течением (скорость не выше 0,6–0,7 м/с) и небольшими глубинами (1–1,5 м) [29]. К их долинам примыкают крупные балки с водотоками: Сага (приток р. Плоская), Водяная, Молоканская (приток р. Средний Егорлык), Ближние и Дальние Копани (приток р. Колошка), Рассыпная, Водная, Фоменкова, Бурая, Кулешовка, Антуз (приток р. Меклета) и множество мелких балок без постоянных водотоков. Неглубокие мелкие балки берут начало на водоразделах и характеризуются неширокими склонами с уклоном 1–1,5°. Местами на территории полей остались фрагменты неглубоких балок, часть которых распалась.

Таблица 3. Характеристика речной сети района [30]

Table 3. Characteristics of the district river network

№ п/п No	Название реки River	Бассейновый округ Basin district	Речной бассейн River basin	Речной подбассейн River sub-basin	Длина водотока, км Water- course length, km	Водосборная площадь, км ² Catchment area, km ²	ВОЗ*, м WPZ*, m	ПЗП**, м CPS**, m
1	Калалы (Калали, Калялы) Kalali	Донской Don (5)	Дон (Российская часть бассейна) Don (Russian part of the basin) (1)	Дон ниже впадения Северского Донца Don below the confluence of the Northern Donets (5)	111	2060	200	50
2	Татарка Tatarka				31	169	100	50
3	Расшеватка Rasshevatka				74	962	200	50
4	Рассыпная (Меклета) Rassipnaya Mekleta				62	1210	200	50

Примечание: * ВОЗ – водоохранная зона, ** ПЗП – прибрежно-защитные полосы

Note: * – water protection zone, ** – coastal protection strip

Границы водоохранных зон и прибрежно-защитных полос не совпадают с существующими на сегодняшний день границами элементов экологического каркаса, в большинстве случаев в их пределах ведется интенсивная хозяйственная деятельность, редко границы элементов экологического каркаса выходят за пределы этих зон (рис. 6, 7).

Общая протяженность долинно-балочной сети Белоглинского района составляет 266 км, в том числе 43 км – в пределах границ населенных пунктов, ее площадь – 29,34 км² (с учетом площади акваторий 47,12 км²), что составляет 3,2 % территории района). Водные ресурсы степных рек используются в основном для нужд сельского хозяйства и коммунальных служб. Берега рек и прилегающие балки, а также отдельные фрагменты неглубоких балок с высоким залеганием грунтовых вод зарастают тростником обыкновенным

(*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Он образует высокие, местами непроходимые заросли от 1,5 до 5 м не только на суше, но и в прибрежной зоне. Ширина полосы тростника варьирует от 1–2 м в пределах населенных пунктов и достигает 300 м вне зоны прямого антропогенного воздействия на поворотах рек. Разрастанию тростника благоприятствует заиление русел рек наносами плоскостной эрозии [30]. Изредка через заросли тростника к акватории ведут узкие тропинки, проложенные рыбаками. Заросли тростника являются хорошим убежищем для многих представителей животного мира, даже вблизи населенных пунктов и в них самих, поскольку они малопроезжимы и часто занимают подтопленные территории и мелкие акватории, не используемые человеком. К примеру, в долинах рек в зарослях

тростника и высоких травянистых растений обитают фазан и серая куропатка.

Прибрежно-водные комплексы и балки выступают в качестве буферных зон у естественных водных объектов, а также экологических коридоров, соединяющих значительные естественные пространства и дающих возможность миграциям живым организмам. Некоторые ООПТ, расположенные за пределами БГР, сохраняют связь с его природными комплексами именно по долинам рек (см. рис. 1). Помимо множества типичных для региона представителей растительного и животного мира, в прибрежно-водных комплексах и балках БГР могут встречаться охраняемые виды растений (альдрованда пузырчатая, *Aldrovanda vesiculosa* L.; каулиния малая, *Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ.; наяда большая, *Najas major* L.; кендырь сарматский, *Trachomitum sarmatiense* Woodson), птиц (малый лебедь, гусь-пискулька, горлица) и млекопитающих (выдра).

Лесные массивы и островные леса. На территории БГР находится единственный лесной массив – Меклета, который относится к категории защитных лесов. Его площадь 446 га, что дает значение естественной лесистости территории 0,3 % [25]. Этот лес выполняет функции защиты природных объектов, среди которых, помимо лесных экосистем и типичных видов флоры и фауны, зарегистрировано большое разнообразие редких насекомых, а также отмечена большая вероятность гнездования малого подорлика и обитания лесного кота (табл. 2).

Островные участки лесной растительности среди распаханых полей выполняют для растительного и животного мира роль микрорезерватов, которые также ценны и могут служить элементами экологического каркаса территории. Значение лесных сообществ и их изолированных фрагментов в степном аграрном регионе очень высоко, и все они должны иметь охранный статус. В этом направлении работы в регионе ведутся, примером чему является находящийся в 23 км к западу от БГР лесной массив Новопокровский, для которого подготовлено обоснование присвоения статуса памятника природы [31].

К дополнительным элементам экологического каркаса мы относим фрагменты деградированных степных сообществ, межи и охранные зоны инфраструктурных объектов. В большинстве случаев вторичные травянистые сообщества двух последних элементов представляют собой злаково-разнотравные залежи с господством свинороя пальчатого (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), мятлика обыкновенного (*Poa trivialis* L.), реке овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.), щетинника низкого (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult.), плевела многолетнего (*Lolium perenne* L.), местами синантропных растений (межи), рудеральной растительности (окрестности трансформаторных будок, водокачек, створов газопровода и т.п.), в небольшом количестве в них присутствуют луговые и лугово-степные виды. На высоких берегах рек местами сохранились остатки деградированных разнотравно-типчаково-ковыльных степей, которые служат убежищами многих степных

охраняемых растений (по нашим данным там могут встречаться не менее 45 видов из 16 семейств) и насекомых. То же относится и к курганам, представляющим собой сухие травянистые холмы с ксерофильной растительностью среди обрабатываемых полей. Часть из них внесена в региональные списки памятников истории и культуры, но в целом эти объекты пока недостаточно изучены, хотя они хорошо идентифицируются по топографическим картам, данным дистанционного зондирования и непосредственно на местности. К группе дополнительных элементов относятся также два памятника природы: («Родник колхоза им. В.И. Ленина» на территории села Белая Глина и «Родник колхоза «Россия») и природная рекреационная зона местного значения «Платановая набережная».

Транзитную функцию в экологическом каркасе БГР выполняют долинны комплексы рек, балки и лесополосы с травянистыми зонами и межами. Они служат экологическими коридорами, соединяющими разрозненные природные объекты, а также путями миграций растений и животных, в том числе с особым природоохранным статусом. Добавим к этому, что на территории населенных пунктов, которые в БГР занимают около 5 % территории, долинно-балочная сеть не прерывается. В структуре земель населенных пунктов доминируют сельскохозяйственные угодья (63 %), что связано с аграрной специализацией района и наличием подсобных хозяйств, дорогами занято 22,5 %, землями застройки – 5,7 %. Более 8 % территории населенных пунктов занято лесами и долинным комплексом и также являются частью общего экологического каркаса района. В дополнение к рисунку 5 визуализация транзитных микроразмерных объектах в долине р. Калалы и в западной части с. Кулешовка показана на рис. 6 и 7.

В целом, элементы экологического каркаса в БГР занимают около 7 % площади, они расположены достаточно равномерно, формируют единое пространство, взаимосвязаны с помощью экологических коридоров и поддерживают устойчивость природных комплексов и их удовлетворительное состояние даже при отсутствии управления. Жизнеспособное состояние составляющих каркас элементов смягчает и нивелирует многочисленные аспекты интенсификации сельского хозяйства и ее последствия для биоразнообразия и функционирования экосистем, расположенных внутри и по границам полей сельскохозяйственных культур. Количественная оценка влияния интенсификации сельского хозяйства на ландшафтную структуру, таксономию и популяционные характеристики отдельных групп позвоночных животных, насекомых и дикорастущих растений в агроэкосистемах планируются стать следующим этапом исследований. При организации регулярного экологического мониторинга будет необходим повсеместный контроль численности инвазивных видов и карантинных сорняков (амброзия полыннолистная, *Ambrosia artemisiifolia* L.; клен ясенелистный, *Acer negundo* L.; горчак ползучий, *Acroptilon repens* (L.) DC.; повилика полевая, *Cuscuta campestris* Yunck. и др.).

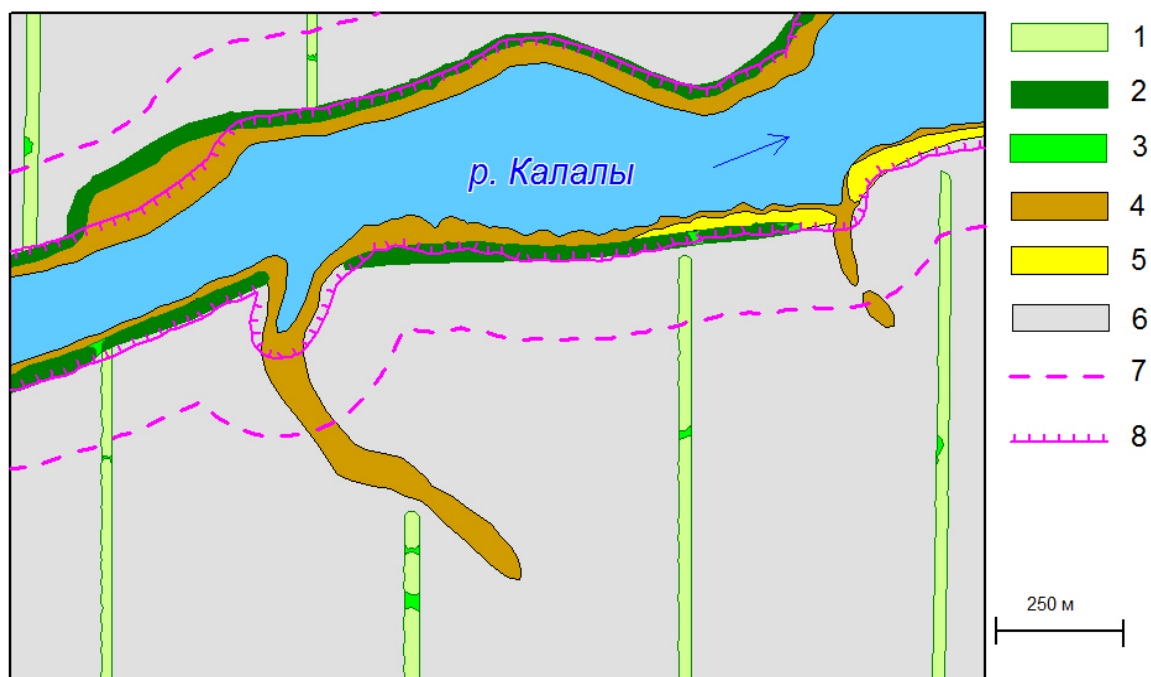


Рисунок 6. Фрагмент карты экологического каркаса (долина р. Калалы, локальный уровень) [24]

1 – лесополосы полезащитные; 2 – лесополосы прибрежные; 3 – участки травянистой растительности; 4 – заросли тростника обыкновенного; 5 – степи; 6 – пашня; 7 – водоохранная зона; 8 – прибрежно-защитная полоса

Figure 6. Fragment of the ecological framework map (Kalala River, local level) [24]

1 – protective forest belts; 2 – coastal forest belts; 3 – areas of grassy vegetation; 4 – thickets of common reed; 5 – steppes; 6 – arable land; 7 – water protection zone; 8 – coastal protection strip

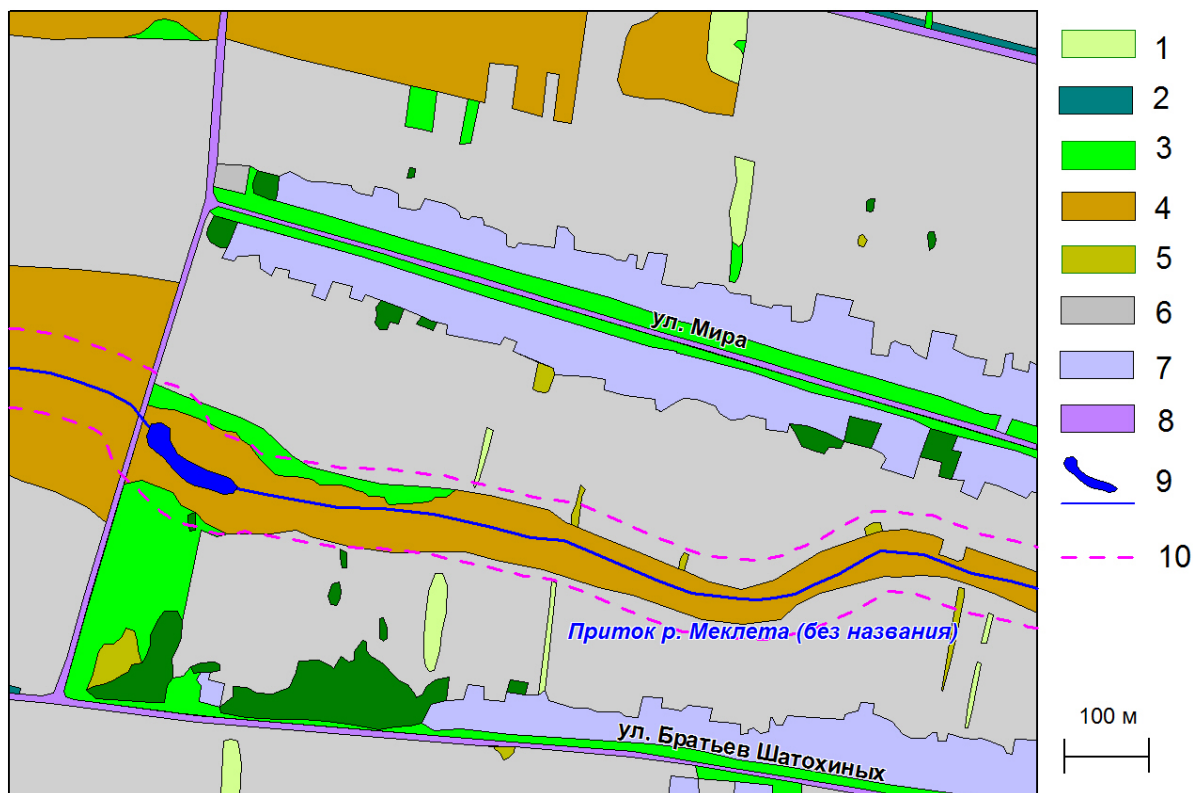


Рисунок 7. Фрагмент карты экологического каркаса (западная часть с. Кулешовка, локальный уровень) [24]

1 – лесополосы полезащитные; 2 – лесополосы придорожные; 3 – участки травянистой растительности; 4 – заросли тростника обыкновенного; 5 – кустарниковые заросли; 6 – пашня; 7 – застроенные территории, промышленные предприятия, огороды; 8 – дороги, улицы; 9 – гидросеть; 10 – водоохранная зона

Figure 7. Fragment of the ecological framework map (western part of Kuleshovka village, local level) [24]

1 – protective forest belts; 2 – roadside forest belts; 3 – areas of grassy vegetation; 4 – thickets of common reed; 5 – shrubby thickets; 6 – arable land; 7 – built-up areas, industrial enterprises, vegetable gardens; 8 – roads, streets; 9 – hydro grid; 10 – water protection zone

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сохранение биологического разнообразия в агроландшафтах в современный период рассматривается в рамках развития идей экологизации сельскохозяйственного производства и как составная часть стратегии устойчивого развития регионов с аграрным типом хозяйства. Эта задача, помимо применения надлежащей сельскохозяйственной практики (Good agricultural practices) и восстановления нарушенных экосистем, в качестве первоочередного этапа включает в себя мониторинг биоразнообразия в агроэкосистемах с приоритетным вниманием на наиболее уязвимые компоненты, в числе которых редкие и исчезающие виды высших растений и животных, а также их биотопы.

Для выстраивания и оценки экологического каркаса района целесообразно использовать три уровня картографирования. Обзорный (региональный) уровень позволяет показать место изучаемого района в экологическом каркасе более высокого иерархического уровня. Второй уровень картографирования (базовый) позволяет оценить систему природоохранных территориальных элементов в границах района, а для более детальной характеристики следует использовать локальный уровень представления информации, базирующийся на крупномасштабных картах, что дает возможность показать микроразмерные объекты экологического каркаса. Все три уровня показаны на авторских картах.

Исследование в интенсивно используемом степном агроландшафте Кубани, каким является Белоглинский район Краснодарского края, показало, что в первую очередь в его агроландшафтах и их окружении необходимо сохранение типичных и ценных природных комплексов как элементов экологического каркаса региона с наличием в них потенциально большого разнообразия и числа экологических ниш для местных видов флоры и фауны, включая охраняемые. В практическом плане это поддержание *древесных поλεзащитных лесополос и травянистых сообществ* (межи и остатки деградированных степей) вокруг полей, *водных объектов и лесных массивов*. Для выполнения ими природоохранной роли достаточно ограничить их распашку, избегать попадания на них удобрений и гербицидов, проведения экстенсивных мероприятий ухода и контроля пожароопасных ситуаций. Особое внимание требуется к малоизмененным *околоводным местообитаниям* (долины рек, ручьев и балок), имеющих первоочередной природоохранный приоритет в степных ландшафтах. Эти уголья необходимо сохранить, поскольку они выполняют средообразующую роль в ландшафтах, дают убежища для перелетных птиц и мигрирующих млекопитающих, многие из которых занесены в региональные Красные книги. Важно также сохранение и поддержание *экологических коридоров* (долины рек, балки, лесополосы, буферные полосы травянистой растительности и остатки деградированных степей), которые сокращают разрывы между естественными фрагментами ландшафтов и повышают возможности местных видов растений и животных для межпопуляционного обмена. Сохранение потенциального флористического и фаунистического разнообразия редких, реликтовых и исчезающих видов (более 100) будут обеспечивать структурированные в группы по

природоохранной роли и приоритетности типы природных экосистем или их фрагментов на территории БГР.

Разработанные основные подходы к сохранению биоразнообразия призваны способствовать стабилизации естественных и полуприродных экосистем в регионе, расселению и закреплению на них аборигенных видов растений и животных, в том числе занесенных в Красные книги, что в целом будет повышать способность этих экосистем к саморегуляции. Они могут быть заложены в основу программы и плана действий по сохранению природной среды и ее биоразнообразия, формирования экологического каркаса на граничащей с агрокомплексом территории и могут быть применены в практике сельского хозяйства в соседних, а также в других степных регионах России.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Статья подготовлена в рамках Госзаданий FMWS-2024-0009 №1023032700199-9 и №121051100137-4.

ACKNOWLEDGMENT

The article was prepared within the framework of State Assignments FMWS-2024-0009 №1023032700199-9 and №121051100137-4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биоразнообразие сельскохозяйственных земель России: современное состояние и тенденции. М.: МСОП, 2003. 56 с.
2. Леса высокой природоохранной ценности Краснодарского края. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-krasnodar> (дата обращения: 09.04.2024).
3. ООПТ. Информационно-аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России». URL: <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 09.04.2024).
4. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
5. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
6. Приказ Минприроды России от 23.05.2023 N 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202307210008?ysclid=lw51odoq8b489611573> (дата обращения: 09.04.2024).
7. Красная книга Краснодарского края. Животные. 3-е изд. / Отв. ред. А.С. Замотайлов, Ю.В. Лохман, Б.И. Вольфов. Краснодар: Адм. Краснодар. края, 2017. 720 с.
8. Красная книга Краснодарского края. Растения и грибы / Отв. ред. С.А. Литвинская и др. 3-е изд. Краснодар: [б.и.], 2017. 850 с.
9. Красная книга Ставропольского края. Т. 1. Растения / Отв. ред. А.Л. Иванов. Ставрополь: Андреев Игорь Владимирович, 2013. 399 с.
10. Красная книга Ставропольского края. Т. 2. Животные / Отв. ред. А.А. Лиховид. Ставрополь: Андреев Игорь Владимирович, 2013. 255 с.
11. Красная книга Ростовской области. Т. 2. Растения и грибы. 2-ое издание. Ростов-на-Дону: Минприроды

- Ростовской области, 2014. 344 с.
12. Красная книга Ростовской области. Т. 1. Животные. 2-ое издание. Ростов-на-Дону: Минприроды Ростовской области, 2014. 280 с.
13. Красная книга Республики Калмыкия. В 2-х томах. Том 1. Животные. Элиста: ЗАОР «НПП «Джангар», 2013. 200 с.
14. Красная книга Республики Калмыкия. В 2-х томах. Том 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и грибы. Элиста: ЗАОР «НПП «Джангар», 2014. 199 с.
15. Волков С.Н., Савинова С.В., Черкашина Е.В., Шаповалов Д.А., Братков В.В., Ключин П.В. Природные ландшафты как фактор эффективного развития сельского хозяйства на Северном Кавказе // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 2. С. 113–124. URL: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-113-124>
16. Соболев Н.А. Биологическое разнообразие и экосистемы как ресурс экологической стабильности // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2020. N 1 (161). С. 48–55.
17. Соболев Н.А., Волкова Л.Б. Красная книга как инструмент защиты экосистем в эпоху антропоцена // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2023. N 2 (174). С. 13–18.
18. Чибилёв А.А. (мл.), Чибилёв А.А. Современное состояние и проблемы модернизации природно-экологического каркаса регионов степной зоны Европейской России // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14. N 1. С. 117–125. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-117-125
19. SAI Platform. Farm Sustainability Assessment. URL: <https://saipatform.org/fsa/> (дата обращения: 09.04.2024)
20. Vassilev K.V., Assenov A.I., Velev N.I., Borissova B.B. Distribution, Characteristics and Ecological Role of Protective Forest Belts in Silistra Municipality, Northeastern Bulgaria // Ecologia Balkanica. 2019. V. 11. Iss. 1. P. 191–204.
21. Timmers R., van Kuijk M., Verweij P.A., Ghazoul J., Hautier Ya., Laurance W.F., Arriaga-Weiss S.L., Askins R.A., Battisti C., Berg Å., Daily G.C., Estades C.F., Frank B., Kurosawa R., Pojar R.A., Woinarski J., Soons M.B. Conservation of birds in fragmented landscapes requires protected areas // Frontiers in Ecology and the Environment. 2022. V. 20. N 6. P. 361–369. <https://doi.org/10.1002/fee.2485>
22. Weibull A.C., Bengtsson J., Nohlgren E. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity // Ecography. 2000. V. 23. N 6. P. 743–750. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2000.tb00317.x
23. Скрипник И.А., Скрипник И.И. К вопросу о создании природно-экологического каркаса территории Краснодарского края // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий», Сочи, 02–04 декабря 2014 года. Сочи: ГБУ Краснодарского края «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», 2014. С. 211–218.
24. Королева Е.Г., Петрова И.Ф. Геоинформационное сопровождение мониторинга экологического каркаса сельскохозяйственного региона на примере Белоглинского района Краснодарского края // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2024. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2024. С. 73–81.
25. Лесной план Краснодарского края на 2019–2028 годы. Приложение к постановлению главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 31.10.2018 N 698. URL: <https://mpr.krasnodar.ru/documents/npa/103975?ysclid=w51xutvut70099325> (дата обращения: 09.04.2024)
26. Бекух З.А., Колядченко В.Э., Куница В.В., Рева В.В. Динамика площадей лесополос на территории Краснодарского края. В сб.: Региональные географические исследования. Под общей ред. А.В. Погорелова. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2020. С. 126–129.
27. Доклад о состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2022 году. Краснодар: Администрация Краснодарского края, Министерство природных ресурсов Краснодарского края. 2023. 397 с.
28. Теучеж А.А., Белюченко И.С. История создания лесозащитных полос в Краснодарском крае и их состояние // Экологический вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15. N 3. С. 37–41.
29. Белюченко И.С. Малые реки Кубани, состояние и перспективы развития их биоты // Научный журнал КубГАУ. 2015. N 106. С. 772–793. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/malye-reki-kubani-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-ih-bioty> (дата обращения: 09.04.2024)
30. Государственный водный реестр России // Федеральное агентство водных ресурсов Российской Федерации (Росводресурсы). URL: <https://textual.ru/gvr/index.php?card=171806&bo=0&rb=0&subb=0&hep=0&wot=21&name=%D0%E0%F1%F1%FB%EF%ED%E0%FF&loc=> (дата обращения: 09.04.2024)
31. Засоба В.В., Данилов Р.Ю. Рукотворный степной лес «Новопокровский»: состав, состояние // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2012. N 2 (16). С. 20–30. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rukotvornyy-stepnoy-les-novopokrovskiy-sostav-sostoyanie> (дата обращения: 09.04.2024).

REFERENCES

1. *Bioraznoobrazie sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii: sovremennoe sostoyanie i tendentsii* [Biodiversity of agricultural lands in Russia: current status and trends]. Moscow, MSOP Publ., 2003, 56 p. (In Russian)
2. *Lesa vysokoi prirodookhrannoi tsennosti Krasnodarskogo kraya* [Forests of high conservation value of the Krasnodar Territory] Available at: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-krasnodar> (accessed 09.04.2024) (In Russian)
3. *IAS «OOPT RF». Informacionno-analiticheskaya sistema «Osobo ohranyaemye prirodnye territorii Rossii»* [Information-analytical system «Specially protected natural territories of Russia»]. Available at: <http://www.oopt.aari.ru/> (accessed 09.04.2024) (In Russian)
4. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii, tom «Zhivotnye»* [The Red Book of the Russian Federation, volume «Animals»]. Moscow, FGBU «VNII Ekologiya», 2nd ed., 2021, 1128 p. (In Russian)
5. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby)* [The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. Moscow, KMK Publ., 2008, 855 p. (In Russian)
6. *Prikaz Minprirody Rossii ot 23.05.2023 N 320 «Ob utverzhdenii Perechnya ob"ektov rastitel'nogo mira, zanesennykh v Krasnuyu knigu Rossiiskoi Federatsii»* [Order

- of the Ministry of Natural Resources of Russia dated May 23, 2023 no. 320 "On approval of the List of flora objects listed in the Red Book of the Russian Federation]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202307210008?ysclid=lw51odoq8b489611573> (accessed 09.04.2024) (In Russian)
7. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraja. Zhivotnye* [The Red Book of the Krasnodar Territory. Animals]. Krasnodar, Adm. Krasnodarskogo kraja, 3rd ed., 2017, 720 p. (In Russian)
8. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraja. Rasteniya i griby* [The Red Book of the Krasnodar Territory. Plants and fungi]. Krasnodar, 3rd ed., 2017, 850 p. (In Russian)
9. *Krasnaya kniga Stavropol'skogo kraja. T. 1. Rasteniya*. [The Red Book of the Stavropol Territory. Vol. 1. Plants]. Stavropol', Andreev I.V. Publ., 2013, 399 p. (In Russian)
10. *Krasnaya kniga Stavropol'skogo kraja. T. 2. Zhivotnye* [The Red Book of the Stavropol Territory. Vol. 2. Animal]. Stavropol', Andreev I.V. Publ., 2013, 255 p. (In Russian)
11. *Krasnaya kniga Rostovskoi oblasti. T. 2. Rasteniya i griby* [The Red Book of the Rostov region. Vol. 2. Plants and fungi]. Rostov-on-Don, Ministry of Natural Resources of the Rostov Region, 2nd ed., 2014, 344 p. (In Russian)
12. *Krasnaya kniga Rostovskoi oblasti. T. 1. Zhivotnye* [The Red Book of the Rostov region. Vol. 1. Animals]. Rostov-on-Don, Minprirody Rostovskoi oblasti, 2nd ed., 2014, 280 p. (In Russian)
13. *Krasnaya kniga Respubliki Kalmykiya. Tom 1. Zhivotnye* [The Red Book of the Republic of Kalmykia. Volume 1. Animals]. Elista, ZAO «NPP «Dzhangar», 2013, 200 p. (In Russian)
14. *Krasnaya kniga Respubliki Kalmykiya. Tom 2. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya rasteniya i griby* [The Red Book of the Republic of Kalmykia. Volume 2. Rare and endangered plants and fungi]. Elista, Dzhangar Publ., 2014, 199 p. (In Russian)
15. Volkov S.N., Savinova S.V., Cherkashina E.V., Shapovalov D.A., Bratkov V.V., Klyushin P.V. Natural landscapes as a factor in the effective development of agriculture in the North Caucasus, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 113–124. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-113-124>
16. Sobolev N.A. Biological diversity and natural ecosystems as a resource of environmental stability. *Ispol'zovanie i ohrana prirodnih resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia]. 2020, no. 1 (161), pp. 48–55. (In Russian)
17. Sobolev N.A., Volkova L.B. The Red Book as a Tool for Protecting Ecosystems in the Anthropocene Epoch. *Ispol'zovanie i ohrana prirodnih resursov v Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia]. 2023, no. 2 (174), pp. 13–18. (In Russian)
18. Chibilyov A.A. (jr.), Chibilyov A.A. Current state and problems of modernization of ecological framework of regions of the steppe zone of European Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 1, pp. 117–125. (In Russian) DOI: [10.18470/1992-1098-2019-1-117-125](https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-117-125)
19. SAI Platform. Farm Sustainability Assessment. Available at: <https://saipatform.org/fsa/> (accessed 09.04.2024).
20. Vassilev K.V., Assenov A.I., Velev N.I., Borissova B.B. Distribution, Characteristics and Ecological Role of Protective Forest Belts in Silistra Municipality, Northeastern Bulgaria. *Ecologia Balkanica*, 2019, vol. 11, iss. 1, pp. 191–204.
21. Timmers R., van Kuijk M., Verweij P.A., Ghazoul J., Hautier Ya., Laurance W.F., Arriaga-Weiss S.L., Askins R.A., Battisti C., Berg Å., Daily G.C., Estades C.F., Frank B., Kurosawa R., Pojar R.A., Woinarski J., Soons M.B. Conservation of birds in fragmented landscapes requires protected areas. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2022, vol. 20, no. 6, pp. 361–369. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2485>
22. Weibull A.C., Bengtsson J., Nohlgren E. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity. *Ecography*, 2000, vol. 23, no. 6, pp. 743–750. DOI: [10.1111/j.1600-0587.2000.tb00317.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2000.tb00317.x)
23. Skripnik I.A., Skripnik I.I. Ustoichivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnikh territorii [On the issue of creating a natural and ecological framework for the territory of the Krasnodar Territory]. *Materialy I Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Sochi, 02–04 dekabrya 2014 goda* [Proceedings of the I All-Russian scientific and practical conference "Sustainable development of specially protected natural areas", Sochi, December 2-4, 2014]. Sochi, GBU Krasnodarskogo kraja «Prirodnyi ornitologicheskii park v Imeretinskoj nizmennosti», 2014, pp. 211–218. (In Russian)
24. Koroleva E.G., Petrova I.F. Geoinformatsionnoe soprovozhdenie monitoringa ehkologicheskogo karkasa sel'skokhozyaistvennogo regiona na primere Beloglinskogo raiona Krasnodarskogo kraja [Geoinformation support for monitoring the ecological framework of an agricultural region on the example of the Beloglinsky district of the Krasnodar territory]. *Materialy XII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Voronezh, 2024* [Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, 2024]. Voronezh, Cifrovaya poligrafiya, 2024, pp. 73–81. (In Russian)
25. *Lesnoi plan Krasnodarskogo kraja na 2019–2028 gody. Prilozhenie k postanovleniyu glavy administratsii (gubernatora) Krasnodarskogo kraja ot 31.10.2018* [Forest plan of the Krasnodar region for 2019–2028. Appendix to the resolution of the head of administration (governor) of the Krasnodar region dated October 31, 2018 no. 698]. Available at: <https://mpr.krasnodar.ru/documents/npa/103975?ysclid=lv51xutvut70099325> (accessed 09.04.2024) (In Russian)
26. Bekukh Z.A., Kolyadchenko V.E., Kunitsa V.V., Reva V.V. Dynamics of forest belt areas in the Krasnodar Territory. In: *Regional'nye geograficheskie issledovaniya* [Regional Geographical Research]. Krasnodar, Kuban State University Publ., 2020, pp. 126–129. (In Russian)
27. *Doklad o sostoyanii prirodoopol'zovaniya i ob okhrane okruzhayushchei sredy Krasnodarskogo kraja v 2022 godu* [Report on the state of nature management and environmental protection of the Krasnodar Territory in 2022]. Krasnodar, Administration of Krasnodar Krai, Ministry of Natural Resources of Krasnodar Krai, 2023, 397 p. (In Russian)
28. Teuchezh A.A., Belyuchenko I.S. The history of the creation of forest protection strips in the Krasnodar Territory and their condition. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza* [The North Caucasus Ecological Herald]. 2019, vol. 15, no. 3, pp. 37–41. (In Russian)
29. Belyuchenko I.S. Small Kuban rivers, the state and prospects of their biota development. *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2015, no. 106, pp. 772–793. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/malye-reki-kubani-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-ih-bioty> (accessed

09.04.2024) (In Russian)

30. *Gosudarstvennyi vodnyi reestr Rossii. Federal'noe agentstvo vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii (Rosvodresursy)* [The State Water Register of Russia. Federal Agency of Water Resources of the Russian Federation (Rosvodresursy)]. Available at: [https://textual.ru/gvr/index.php?card=171806&bo=0&rb=0&subb=0&hep=0&wot=21&name=%D0%E0%F1%F1%FB%](https://textual.ru/gvr/index.php?card=171806&bo=0&rb=0&subb=0&hep=0&wot=21&name=%D0%E0%F1%F1%FB%EF%ED%E0%FF&loc=)

EF%ED%E0%FF&loc= (accessed 09.04.2024) (In Russian)

31. Zasoba V.V., Danilov R.Yu. Man-made steppe forest «Novopokrovsky»: composition, condition. *Vestnik PGU. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2012, no. 2 (16), pp. 20–30. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rukotvornyy-stepnoy-les-novopokrovskiy-sostav-sostoyanie> (дата обращения: 09.04.2024). (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Елена Г. Королева и Ирина Ф. Петрова собрали флористический и фаунистический материал, выполнили геоботанические описания. Ирина Ф. Петрова составила карты и легенды к ним. Елена Г. Королева проанализировала материал. 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

Elena G. Koroleva and Irina F. Petrova collected floral and faunal material, performed geobotanical description. Irina F. Petrova compiled maps and legends for them. Elena G. Koroleva analysed the material. 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

Елена Г. Королева / Elena G. Koroleva <https://orcid.org/0000-0001-9004-4581>

Ирина Ф. Петрова / Irina F. Petrova <https://orcid.org/0000-0002-2004-8306>

Оригинальная статья / Original article

УДК 379.85 + 913

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-9



Проблемы рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе (геоэкологический аспект)

Хава Ш. Забураева, Чингизхан Ш. Забураев, Милана Б. Седиева

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Грозный, Россия

Контактное лицо

Хава Ш. Забураева, доктор географических наук, главный научный сотрудник, отдел топливно-энергетического комплекса и рационального природопользования, Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук; 364020 Россия, г. Грозный, ул. В. Алиева, 21 а. Тел. +78712222628
Email eveggne@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9326-5758>

Формат цитирования

Забураева Х.Ш., Забураев Ч.Ш., Седиева М.Б. Проблемы рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе (геоэкологический аспект) // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 98-106. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-9

Получена 4 ноября 2023 г.

Прошла рецензирование 25 августа 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: выявление актуальных проблем, лимитирующих устойчивое (сбалансированное) рекреационное природопользование в условиях Северо-Восточного Кавказа.

В ходе анализа подходов к организации рекреации и состояния туристско-рекреационной сферы использовались нормативно-законодательные акты, материалы официальной статистики, региональных министерств, периодических изданий, применялись системный, расчетный, литературно-аналитический и сравнительно-географический методы. Графический материал разработан с помощью программного обеспечения Draw.io и Microsoft Office Excel 2013.

Отмечена доминирующая роль рекреационного природопользования в условиях горных регионов. Обоснована необходимость поиска баланса между удовлетворением рекреационных потребностей населения и экологически безопасными формами рекреации и туризма. Доказано, что туристско-рекреационный потенциал используется в незначительной степени. Выявлен комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных геополитических, геоэкологических, правовых, социальных и экономических проблем, лимитирующих рациональное использование рекреационных ресурсов. Особый акцент в контексте развития экологически ориентированных видов туризма сделан на проблеме недостаточной развитости системы экологических троп и маршрутов, слабой вовлеченности особо охраняемых природных территорий в сферу рекреации и туризма.

На фоне регионального туристско-рекреационного потенциала с решением выявленных в работе проблем авторы связывают перспективы устойчивого рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе. Предполагается, что их решение будет иметь мультипликативный эффект в экономике, социальной сфере и для геоэкологической безопасности. Доказана необходимость разработки научно-обоснованной концепции рационального использования рекреационных ресурсов, соответствующей стратегическим целям развития туристской отрасли в стране и обеспечивающей межрегиональное сотрудничество в организации рекреации и туризма.

Ключевые слова

Рекреационное природопользование, проблемы, Северо-Восточный Кавказ, горные регионы, рекреация, туризм, потенциал, инфраструктура.

Problems of recreational nature management in the north-east Caucasus (geoecological aspect)

Khava Sh. Zaburaeva, Chingizkhan Sh. Zaburaev and Milana B. Sedieva

Kh.I. Ibragimov Complex Institute, Russian Academy of Sciences, Grozny, Russia

Principal contact

Khava Sh. Zaburaeva, Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Department of Fuel and Energy Complex and Rational Nature Management, Kh.I. Ibragimov Complex Institute, Russian Academy of Sciences; 21a V. Alieva St, Grozny, Russia 364020.

Tel. +78712222628

Email eveggne@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9326-5758>

How to cite this article

Zaburaeva Kh.Sh., Zaburaev Ch.Sh., Sedieva M.B. Problems of recreational nature management in the north-east Caucasus (geoecological aspect). *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):98-106. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-9

Received 4 November 2023

Revised 25 August 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The study was aimed at identifying pressing problems that limit sustainable (balanced) recreational nature management in the North-East Caucasus.

In the course of the analysis of approaches to the organisation of recreation and the state of the tourist and recreational sphere, regulatory and legislative acts, official statistics of regional ministries and periodicals were used, together with systemic, settlement, literary and analytical and comparative geographical methods. The graphic material was developed using Draw.io software and Microsoft Office Excel 2013.

The dominant role of recreational nature management in mountain region conditions was noted. Justification of need to find a balance between satisfaction of the recreational needs of the population and ecologically safe forms of recreation and tourism were determined. It has been proven that the tourist and recreational potential is only used to insignificant extent. A complex of interrelated and mutually agreed geopolitical, geoecological, legal, social and economic problems limiting the rational use of recreational resources was identified. Particular emphasis in the context of the development of environmentally oriented types of tourism is placed on the problem of insufficient development of a system of ecological paths and routes, as well as poor engagement of specially protected natural areas in the fields of recreation and tourism.

Against the background of regional tourist and recreational potential, the authors associate the prospects for sustainable recreational nature management in the north-east Caucasus with the solution of the problems identified in this work. It is assumed that their resolution will have a multiplicative effect in the economy, social sphere and for geoecological security. It is also necessary to develop a scientifically based concept for the rational use of recreational resources, which corresponds with the strategic goals of the development of the tourism industry of the nation and ensuring interregional cooperation in organising recreation and tourism.

Key Words

Recreational nature management, problems, north-east Caucasus, mountain regions, recreation, tourism, potential, infrastructure.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт показывает, что рекреационное природопользование активно развивается и занимает лидирующие позиции в приоритетных направлениях стратегического развития большинства стран. Особую актуальность это направление природопользования обретает в условиях горных стран (регионов) [1]. В современной отечественной и зарубежной литературе исследуются геоэкологические, социально-экономические, исторические и иные аспекты рекреационного природопользования. В научной литературе прослеживается множество подходов к трактовке его сущности, содержания и структуры [2–5].

Рекреационное природопользование исследуется не только как вид общественно производственной деятельности, направленной на обеспечение отдыха и оздоровления населения посредством использования природных и иных рекреационных ресурсов, но также и в качестве сферы научной деятельности, призванной разрабатывать принципы и методы оптимизации использования, охраны и воспроизводства рекреационных ресурсов [6]. Последние могут быть представлены как природными компонентами, включая ландшафтные, геоморфологические, климатические, геологические, гидрологические, биологические, энергетические и др., так и антропогенными и природно-антропогенными объектами, имеющими особое научно-образовательное, историко-культурное, эстетическое, лечебно-оздоровительное и иное ценное значение [2]. При этом в качестве самостоятельного научного направления категория «рекреационное природопользование» введена в научный оборот относительно недавно.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках представленного исследования для выявления проблем, лимитирующих более устойчивое (сбалансированное) рекреационное природопользование на территории Северо-Восточного Кавказа, использовались системный, расчетный, литературно-аналитический и сравнительно-географический методы. Источниками информации послужили нормативно-законодательные акты, материалы официальной статистики, региональных министерств по культуре и туризму, периодических изданий. Графический материал подготовлен с помощью программного обеспечения Draw.io и Microsoft Office Excel 2013.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Помимо комплексного характера, свойственного рекреационному природопользованию, ему присуща и динамичность развития, которая наиболее наглядно проявляется в странах с ограниченными запасами невозобновляемых природных ресурсов. Наибольшая его актуальность в условиях горных стран обусловлена высоким уровнем ландшафтного и биологического разнообразия, значительными природно-рекреационными ресурсами, богатым историко-культурным наследием [7]. Основу рекреационного природопользования здесь формирует природный рекреационный потенциал [8], который оценивается на основе возможностей для отдыха, предоставляемых экосистемами, т.е. экосистемного потенциала [9]. Терапевтическая эффективность отдыха на природе, его положительное влияние на общее состояние

рекреантов и, в частности, психическое здоровье, давно обсуждается в научной литературе [10].

Рекреационное природопользование, как и любое направление природопользования, сопряжено с антропогенным воздействием на природные системы и их последующей трансформацией в различной степени, что отражается на условиях жизнедеятельности человека и может провоцировать целый ряд нежелательных последствий [11]. Развитие рекреации и туризма происходит в рамках социоэкологической системы с внутрисистемными связями, определяющими особенности социальных, экономических, технологических и геоэкологических условий [12]. Необходимость удовлетворять рекреационные потребности населения, с одной стороны, и сохранять основополагающие функции природных систем, их способность к самовосстановлению и саморегуляции, с другой, порождает поиск экологически безопасных форм рекреации и туризма, особенно в условиях горных регионов.

На Северо-Восточном Кавказе рекреационное природопользование относится к числу приоритетных направлений стратегического развития. История использования здесь природных ресурсов в рекреационных целях насчитывает несколько столетий [13]. Разнообразие природно-климатических условий, несмотря на относительно незначительную площадь, богатое историко-культурное наследие и уникальное этногенетическое разнообразие, предопределили широкий диапазон рекреационного использования территории Северо-Восточного Кавказа. Здесь около трех десятков вершин высотой более 4000 метров (Базардюзю, Рагдан, Шалбуздаг, Тебулосмта, Диклосмта, Шан, Деавгай, Аддала-Шухгельмеэр и др.). На востоке исследуемый регион омывается водами Каспийского моря, протяженность береговой линии составляет около 530 км, а длительность купального сезона составляет 120 дней.

Туристско-рекреационный потенциал Северо-Восточного Кавказа позволяет развивать круглогодичную рекреационную деятельность [14]. В числе важных рекреационных ресурсов – гидрологические (озера, реки, водопады, минеральные источники и др.). Большинство минеральных источников и озерных грязей характеризуются ценными бальнеологическими свойствами. Некоторые из них стали отечественными брендами, включая «Ачалуки», «Серноводская», «Рычал-Су». На их базе функционируют санаторно-курортные учреждения – «Серноводск-Кавказский», «Каякент», «Каспий», «Талги» и др. Последний считается единственной в мире бальнеолечебницей на основе сульфидных вод с содержанием сероводорода [15]. Здесь на базе геотермальных источников, по запасам которых Дагестан занимает лидирующие позиции в стране, может быть создана курортно-рекреационная зона международного значения [15].

К настоящему времени на Северо-Восточном Кавказе создано свыше 100 особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и объектов на площади 864 тыс. га. В их числе государственные природные заповедники (Дагестанский, Эрзи), государственные природные заказники (Степной, Советский, Веденский, Касумкентский и др.), Горный ботанический сад Дагестанского Научного центра РАН и множество

геологических, палеогеоморфологических, гидрологических, ботанических памятников природы.

Население Северо-Восточного Кавказа – уникальное этническое сообщество с особой этнолингвистической структурой. Здесь сохраняются и передаются из поколения в поколение уникальные и неповторимые в мировой практике народные промыслы и традиции (ковроткачество, ювелирное искусство, изготовление войлочных изделий и др.). Историко-культурное наследие исследуемого региона формируют многочисленные памятники истории, культуры и архитектуры (башенные строения, старейшие мечети, городища, склепы и многие др.).

Согласно Стратегии развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) в числе приоритетных туристских дестинаций СКФО значится ряд территорий и объектов на северо-востоке Кавказа: г. Дербент, Каспийское побережье (Дагестан), Джейрахский район, включая Джейрахско-Ассинский историко-культурный природный музей-

заповедник и государственный природный заповедник Эрзи (Ингушетия), г. Грозный и высокогорное озеро Кезеной-Ам (Чечня) [16]. К туристско-рекреационным особым экономическим зонам СКФО отнесены всесезонные туристско-рекреационные комплексы «Ведучи» (Чечня), «Армхи», «Цори» (Ингушетия) и «Матлас» (Дагестан).

За последние годы в регионах Северо-Восточного Кавказа проводится значительная работа по вводу в эксплуатацию объектов туристско-рекреационной индустрии и инфраструктуры, в т.ч. лечебно-оздоровительные объекты, строительству автомобильных дорог, включая труднодоступные горные районы, привлечению населения для проживания в горных районах и др. Число санаторно-курортных организаций, к примеру, здесь вдвое возросло за последнее десятилетие (рис. 1). Численность лиц, размещенных в санаторно-курортных организациях Чечни, Ингушетии и Дагестана также возросла за период 2012–2022 гг. в три раза (рис. 2).

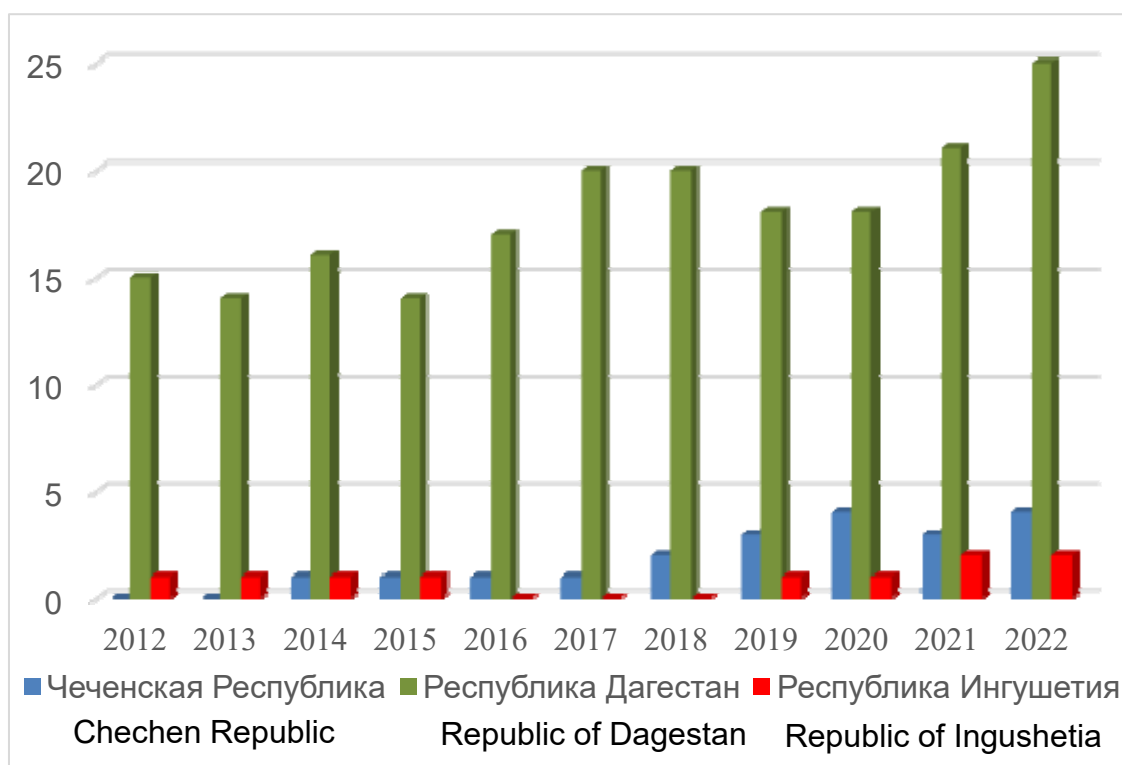


Рисунок 1. Количество санаторно-курортных организаций в регионах Северо-Восточного Кавказа

Figure 1. Number of sanatorium-resort organizations in the regions of the North-east Caucasus

Однако говорить об удовлетворении даже внутренних потребностей в санаторно-курортном лечении на Северо-Восточном Кавказе пока не приходится и значительная часть населения вынуждена выезжать за пределы исследуемого региона. Несмотря на позитивные тенденции последних лет в ряде направлений туристско-рекреационной сферы, туристско-рекреационный потенциал Северо-Восточного Кавказа используется в незначительной степени. В целом в СКФО наблюдается положительная динамика объема туристских услуг, оказываемых населению, при этом вклад туристической отрасли в валовой внутренний продукт округа все еще оценивается как «крайне низкий» [16]. Так, значение показателя объема туристских услуг, оказанных на

одного жителя округа, ниже аналогичного среднероссийского показателя почти в 2 раза. Количество коллективных средств размещения, несмотря на динамику роста в 2,3 раза в период 2012–2022 гг., также не отвечает потребностям потенциального туристского потока. Число коллективных средств размещения на 1000 жителей на Северо-Восточном Кавказе составляет лишь 0,40, уступая среднероссийскому показателю почти в 5 раз.

Комплексное использование рекреационных ресурсов, отвечающее принципам сбалансированного рекреационного природопользования, на Северо-Восточном Кавказе лимитируется целым рядом проблем, которые в настоящее время недостаточно изучены. В России проблемы рационального

природопользования активно исследуются с 1970-х годов, что позволило создать действующую теоретико-методологическую базу. Тем не менее, проблемы

регионального устойчивого рекреационного природопользования все еще изучены не полной мере и не разработаны общие подходы к их анализу [17].

человек / persons

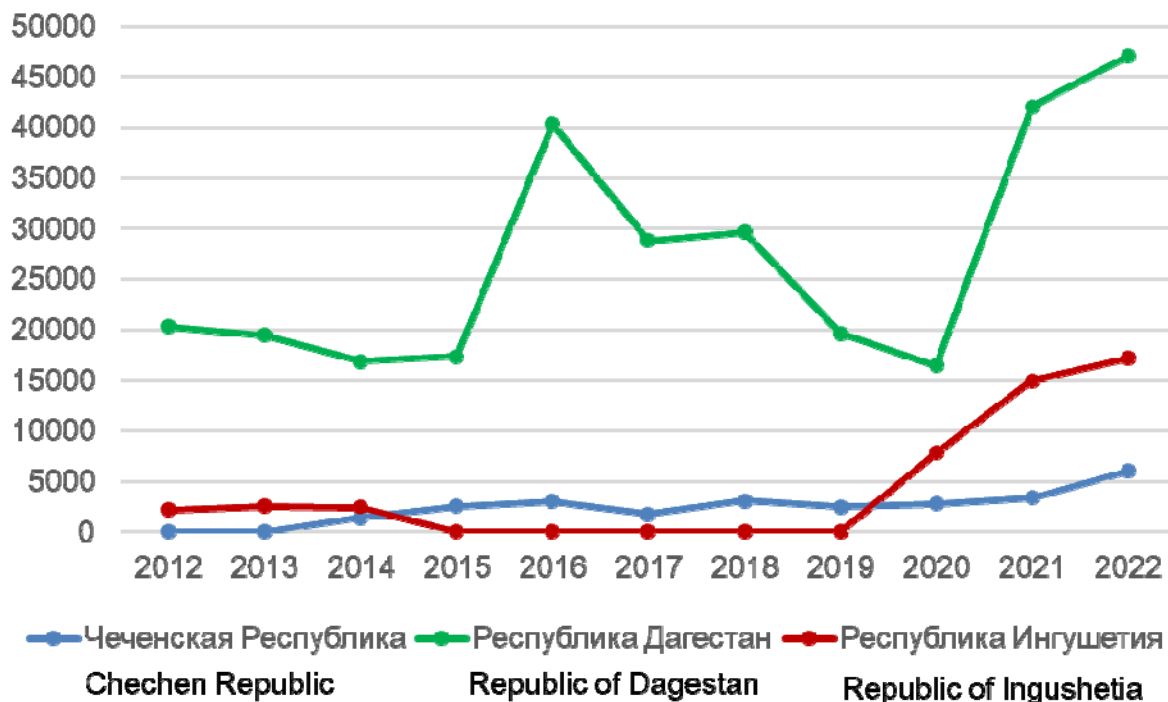


Рисунок 2. Численность лиц, размещенных в санаторно-курортных организациях Северо-Восточного Кавказа
Figure 2. Number of persons accommodated in sanatorium-resort organizations of the North-east Caucasus

Проблемы рекреационного природопользования в регионах Северо-Восточного Кавказа в целом аналогичны проблемам других горных регионов России [2; 18; 19]. По содержанию и характеру проявления все

проблемы рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе можно разделить на следующие виды: геополитические, социальные, экономические, правовые и геоэкологические (рис. 3).

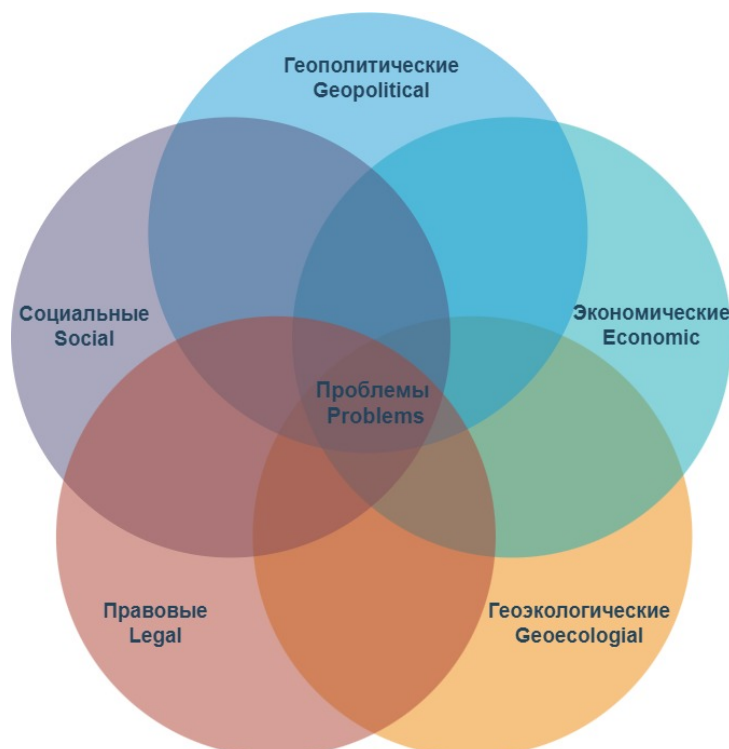


Рисунок 3. Проблемы рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе
Figure 3. Problems of recreational nature management in the North-east Caucasus

Признаем, что данное обособление, принятое в работе, весьма условное, поскольку перечисленные проблемы тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены и могут исследоваться как элементы единой системы, в структуре которой решение одной из проблем отразится на других составляющих и в целом всей системе. Рассмотрим их более детально.

Геополитические проблемы. В числе факторов, в значительной степени лимитирующих рекреационное природопользование на Северо-Восточном Кавказе, все еще значится геополитическая нестабильность в данном регионе и политическая, социально-экономическая напряженность в приграничных районах [20]. На юге Чечни, Ингушетии и Дагестана проходит государственная граница Российской Федерации с Грузией и Азербайджаном. В средствах массовой информации осуществляется пропаганда, создающая негативный имидж этих регионов [21]. В регионах Северо-Восточного Кавказа весьма слабое взаимодействие предпринимателей с муниципальными и региональными ветвями власти. Отсутствие межрегионального взаимодействия в стратегическом планировании развития рекреационного природопользования также отрицательно отражается на его эффективности.

Ограничивают развитие рекреационного природопользования такие проблемы *социального* характера как дефицит квалифицированных кадров в сфере рекреации и туризма (менеджеров, консультантов, экскурсоводов, специалистов проектной и исследовательской деятельности и др.), низкий уровень сервиса (гостиничного, санаторно-курортного и др.), недостаточная заинтересованность и вовлеченность местных сообществ в рекреационную сферу и т.д. Конфликты в рекреационном природопользовании, обусловленные расхождением интересов землепользователей, включая местное население, также оказывают существенное влияние на развитие туризма и рекреации [22].

Основными *экономическими проблемами* рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе являются [20; 23; 24]:

- неблагоприятный инвестиционный климат и, как следствие, слабый приток инвестиций в туристско-рекреационную сферу;
- неразвитость и износ рекреационной инфраструктуры;
- слабо развитая транспортная инфраструктура;
- недостаточное количество гостиниц и иных коллективных средств размещения;
- несоответствие большинства коллективных средств размещения международным стандартам качества и их ориентированность на развитие внутреннего туризма;
- нехватка учреждений санаторно-курортного лечения населения;
- высокая стоимость услуг (стоимость авиаперевозок, проживания в гостиницах и других средствах размещения и др.);
- значительная ориентированность субъектов туристического бизнеса на выездной туризм;
- отсутствие системы научного и рекламно-информационного обеспечения продвижения

национального туристического продукта на внутреннем и внешнем рынках;

- отсутствие единой системы туристической навигации;
- высокая себестоимость работ по строительству объектов инженерных систем (электро- и водоснабжения, транспортных путей, водоочистных сооружений и др.) в туристско-рекреационных зонах и др.

Наличие рекреационной инфраструктуры наряду с природным рекреационным потенциалом предопределяет возможности развития рекреационного природопользования. При этом важна как количественная, так и качественная ее характеристика. Многие исследователи акцентируют внимание на проблеме износа рекреационной инфраструктуры, к примеру, гостиничного фонда [25]. Кроме того, большинство селений и аулов, известных своими уникальными самобытными народными промыслами, не располагают гостиничным фондом, гостевыми домами и иными коллективными средствами размещения, что затрудняет возможности туристов ознакомиться с культурой и традициями коренных этносов. Их недостаточное количество в малых городах способствует отсутствию конкуренции либо формирует слабо развитую конкурентную среду, что порождает ряд других проблем: ежегодный рост цен на услуги гостиничного размещения, низкое качество сервиса и др.

На развитие рекреационного природопользования существенное влияние оказывает нерешенность ряда *проблем правового* характера. В их числе необходимость совершенствования законодательства в регулировании систем ООПТ; совершенствование нормативно-правовых документов, определяющих налоговые и иные льготы для туристско-рекреационной отрасли; нормативно-правовое регулирование развития экологического туризма на ООПТ и др.

Особого внимания в контексте более устойчивого рекреационного природопользования заслуживают *геоэкологические проблемы* рекреационного природопользования [26]. Использование туристско-рекреационного потенциала без учета уязвимости горных ландшафтов, их подверженности трансформационным процессам, большей выраженности экзогенных и эндогенных процессов в горных районах и других факторов геоэкологического риска, приводит к деградации горных ландшафтов, снижению биологического разнообразия и иным проблемам, которые уже проявляются в регионе исследования. Эти процессы в горных районах создают угрозу и объектам культурного наследия, являющегося неотъемлемой частью рекреационного потенциала [27].

Насущной стала проблема утилизации отходов, как следствие стихийной рекреации, а также отсутствия экологической культуры у большинства туристов и рекреантов [20; 23]. Слабо налажена система сбора и вывоза отходов, особенно в горных районах на туристских труднодоступных маршрутах, где часто возникает проблема переполненности контейнерных площадок. Бытовые отходы становятся также источником загрязнения рек, водоемов и источников питьевого водоснабжения. В Дагестане, к примеру,

только за несколько месяцев 2021 года к административной ответственности за несанкционированный сброс отходов в пределах водоохранных зон рек были привлечены свыше 20 руководителей муниципалитетов. Случаи отравления населения некачественной питьевой водой неоднократно освещались в средствах массовой информации [28].

В контексте оптимизации рекреационного природопользования и развития экологически ориентированных видов туризма на Северо-Восточном Кавказе следует обратить внимание и на проблему недостаточной развитости системы экологических троп и маршрутов, слабой вовлеченности особо охраняемых природных территорий в сферу рекреации и туризма, учитывая тот факт, что развитая сеть ООПТ служит базой организации и развития экологического туризма [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Северо-Восточный Кавказ обладает уникальными возможностями развития рекреационного природопользования, включая туристско-рекреационный комплекс. За последние годы здесь проведена значительная работа по восстановлению разрушенных и вводу в эксплуатацию новых объектов туристско-рекреационной сферы, оптимизации транспортной освоенности, разрабатываются стратегии, программы, проекты, осуществляется политика привлечения инвестиций, что определенным образом отразилось на положительной динамике в ряде направлений туристско-рекреационной отрасли. Тем не менее, туристско-рекреационный потенциал Северо-Восточного Кавказа используется в незначительной степени. Масштабному развитию рекреационного природопользования здесь препятствует ряд проблем геополитического, экономического, социального, правового и геоэкологического характера. Решение этих проблем во многом будет определять возможности регионального устойчивого рекреационного природопользования на северо-востоке Кавказа в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Решение обозначенных выше проблем будет иметь мультипликативный эффект в экономике, социальной сфере, обеспечивая высокое качество окружающей среды. Только при условии наличия баланса в этих направлениях можно рассчитывать на устойчивое (сбалансированное) рекреационное природопользование, поскольку усилия, направленные на его развитие без учета факторов геоэкологической безопасности обречены на провал.

На Северо-Восточном Кавказе необходимо разработать научно-обоснованную концепцию рационального использования рекреационных ресурсов, которая будет способствовать стратегическим целям развития туристской отрасли в Российской Федерации, и обеспечивать межрегиональное сотрудничество в вопросах организации рекреации и туризма.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 23-17-00218 «Экологический туризм и рекреационное природопользование на Северо-Восточном Кавказе».

ACKNOWLEDGMENT

The research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 23-17-00218 Ecological Tourism and Recreational Nature Management in the North-East Caucasus).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мищенко А.А., Волкова Т.А., Сороченко В.О., Задорожная В.В. Рекреационное природопользование как фактор устойчивого развития горных территорий // Курортно-рекреационный комплекс в системе регионального развития: инновационные подходы. 2012. N 1. С. 194–198.
2. Пономаренко Е.А., Рябинина О.В. Состояние изученности проблемы рекреационного природопользования // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. N 81. С. 27–33.
3. Cherchyk L., Khumarova N. Institutional provision of inclusive recreational nature management: background status and requirements // Economics. Ecology. Socium. 2021. V. 5. Iss. 3. P. 10–18. <https://doi.org/10.31520/2616-7107/2021.5.3-2>
4. Севастьянов Д.В., Коростелев Е.М., Зелюткина Л.О. Развитие внутреннего туризма и рекреационного природопользования – актуальная социально-экономическая задача Российской Федерации // Туризм: право и экономика. 2021. N 2. С. 22–27. DOI: 10.18572/1813-1212-2021-2-22-27
5. Cervený L.K. Sustainable recreation and tourism: Making sense of diverse conceptualizations and management paradigms // Journal of Outdoor Recreation and Tourism. 2022. V. 38. Article ID: 100520. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100520>
6. Забураева Х.Ш. Рекреационное природопользование на Северо-Восточном Кавказе: современное состояние и пути оптимизации // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2022. N 2 (10). С. 100–108. DOI: 10.34824/VKNIRAN.2022.10.2.012
7. Матюгина Э.Г., Пожарницкая О.В., Вусович О.В. К вопросу формирования рекреационного пространства (на примере Республики Крым) // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. N 1. С. 148–160. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-148-160.
8. Sgroi F. Forest resources and sustainable tourism, a combination for the resilience of the landscape and development of mountain areas // Science of The Total Environment. 2020. V. 736. Article ID: 139539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139539>
9. Vallecillo S., La Notte A., Zulian G., Ferrini S., Maes J. Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people // Ecological Modelling. 2019. V. 392. P. 196–211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.023>
10. Lackey N.Q., Tysor D.A., McNay G.D., Joyner L., Baker K.H., Hodge C. Mental health benefits of nature-based recreation: a systematic review // Annals of Leisure Research. 2021. V. 24. Iss. 3. P. 379–393. DOI: 10.1080/11745398.2019.1655459
11. Tai Y.-N. A study on the ecotourism cognition and its factors // Applied Ecology and Environmental Research. 2017. V. 15. N 2. P. 123–132. https://www.aloki.hu/pdf/1502_123132.pdf

12. Winter P.L., Selin S., Cervený L., Bricker K. Outdoor recreation, nature-based tourism, and sustainability // Sustainability. 2020. V. 12. N 1(81). <https://doi.org/10.3390/su12010081>
13. Забуряева Х.Ш. История рекреационного природопользования на Северо-Восточном Кавказе // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2023. N 1 (60). С. 86–92. DOI: 10.25744/vestnik.2023.60.1.011
14. Забуряева Х.Ш., Забуряев Ч.Ш., Седиева М.Б. Оценка туристско-рекреационного потенциала регионов Северо-Восточного Кавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Т. 8. N 4(34). С. 31–38.
15. 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. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-132-149
16. Стратегия развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа до 2035 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/553884081> (дата обращения: 18.10.2023)
17. Воложжина С. Ж., Новикова С. А. Рекреационное природопользование. Иркутск: Издательство ИГУ, 2022. 191 с.
18. Томских А.А. Природопользование в горных странах: глобальный и региональный аспект // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28. N 3. С. 28–35. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-3-28-35
19. Исаченко Т.Е., Севастьянов Д.В., Гук Е.Н. Становление и развитие рекреационного природопользования в Норильском регионе // География и природные ресурсы. 2015. Т. 36. N 2. С. 140–148.
20. Кульгачёв И.П., Харитонов Д.А., Романова М.М., Кошелева А.И. Основные проблемы и перспективы развития туризма в Республике Дагестан // Вестник Академии. 2017. N 3. С. 56–64.
21. Газилов М.Г. Проблемы и пути развития внутреннего туризма в России на примере туристического центра Гуниб в Дагестане // Сервис plus. 2022. Т.16. N 3. С. 3–9. DOI: 10.5281/zenodo.7378105
22. Адиев А.З. Этническая природа конфликтов землепользования в Дагестане // Региональные аспекты социальной политики. 2021. N 23. С. 32–49. DOI: 10.34775/m2691-6433-4441-e
23. Молороев М.А., Стеценко С.Е. Проблемы развития экологического и сельского туризма в Республике Ингушетия // Инновации в науке. 2019. N 5. С. 36–38.
24. Устаев А.Л. Проблемы курортологии и туристско-рекреационного природопользования в Чеченской Республике // Вестник Чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова. 2016. N 1 (21). С. 35–46.
25. 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>
26. Wolf I.D., Croft D.B., Green R.J. Nature Conservation and Nature-Based Tourism: A Paradox? // Environments. 2019. V. 6. Iss. 9. <https://doi.org/10.3390/environments6090104>
27. Saha A., Pal S.Ch., Santosh M., Janizadeh S., Chowdhuri I., Norouzi A., Roy P., Chakraborty R. Modelling multi-hazard threats to cultural heritage sites and environmental sustainability: The present and future scenarios // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 320. Article ID: 128713. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128713>
28. Горы мусора в Дагестане стали местной «достопримечательностью» // Российская газета. 2021. 22 сентября. URL: <https://rg.ru> (дата обращения: 25.10.2023)

REFERENCES

1. Mishchenko A.A., Volkova T.A., Sorochenko V.O., Zadorozhnyaya V.V. Recreational nature management as a factor of sustainable development of mountain areas. Kurortno-rekreatsionnyi kompleks v sisteme regional'nogo razvitiya: innovatsionnye podkhody [Resort and recreation complex in the system of regional development: innovative approaches]. 2012, no.1, pp. 194-198. (In Russian)
2. Ponomarenko E.A., Ryabinina O.V. The state of knowledge of the problems of recreational nature. Vestnik Irkutskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy]. 2017, no. 81, pp. 27-33. (In Russian)
3. Cherchyk L., Khumarova N. Institutional provision of inclusive recreational nature management: background status and requirements. Economics. Ecology. Socium, 2021, vol. 5, iss. 3, pp. 10-18. <https://doi.org/10.31520/2616-7107/2021.5.3-2>
4. Sevast'yanov D.V., Korostelev E.M., Zelyutkina L.O. Development of domestic tourism and recreational nature management is an urgent socio-economic task of the Russian Federation. Tourism: law and economics, 2021, no. 2, pp. 22-27. (In Russian) DOI: 10.18572/1813-1212-2021-2-22-27
5. Cervený L.K. Sustainable recreation and tourism: Making sense of diverse conceptualizations and management paradigms. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 2022, vol. 38, article ID: 100520. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100520>
6. Zaburaeva Kh.Sh. Recreational nature management in the North-Eastern Caucasus: current status and optimization paths. Bulletin of KNII RAS. Series: Natural and Technical Sciences, 2022, no. 2 (10), pp. 100-108. (In Russian) DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2022.10.2.012
7. Matyugina E.G., Pozharnitskaya O.V., Vusovich O.V. To the question of the recreational space formation (on the example of the Republic of Crimea). South of Russia: ecology, development, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 148-160. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2017-1-148-160.
8. Sgroi F. Forest resources and sustainable tourism, a combination for the resilience of the landscape and development of mountain areas. Science of The Total Environment, 2020, vol. 736, article ID: 139539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139539>
9. Vallecillo S., La Notte A., Zulian G., Ferrini S., Maes J. Ecosystem services accounts: Valuing the actual flow of nature-based recreation from ecosystems to people. Ecological Modelling, 2019, vol. 392, pp. 196-211. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.09.023>
10. Lackey N.Q., Tysor D.A., McNay G.D., Joyner L., Baker K.H., Hodge C. Mental health benefits of nature-based recreation: a systematic review. Annals of Leisure Research, 2021, vol. 24, iss. 3, pp. 379-393. DOI: 10.1080/11745398.2019.1655459

11. Tai Y.-N. A study on the ecotourism cognition and its factors. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2017, vol. 15, no 2, pp. 123-132. https://www.aloki.hu/pdf/1502_123132.pdf
12. Winter P.L., Selin S., Cervený L., Bricker K. Outdoor recreation, nature-based tourism, and sustainability. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 1 (81). <https://doi.org/10.3390/su12010081>
13. Zaburaeva Kh.Sh. History of recreational nature management in the North-Eastern Caucasus. *Bulletin of the Academy of Sciences of Chechen Republic*, 2023, no 1 (60), pp. 86–92. (In Russian) DOI: 10.25744/vestnik.2023.60.1.011.
14. Zaburaeva Kh.Sh., Zaburaev Ch.Sh., Sedieva M.B. Assessment of tourist and recreational potential of the regions of the North-Eastern Caucasus. *Grozny Natural Science Bulletin*, 2023, vol. 8, no. 4(34), pp. 31–38. (In Russian)
15. Matyugina E.G., Pozharnitskaya O.V., Vusovich O.V. Natural resources as a basis for creating the tourist-recreational profile of a territory (on the example of the Republic of Dagestan). *South of Russia: ecology, development*, 2019, vol. 14, no. 2, pp. 132-149. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2019-2-132-149.
16. Strategiya razvitiya turizma na territorii Severo-Kavkazskogo federal'nogo okruga do 2035 goda [Strategy of tourism development in the North Caucasus Federal district until 2035]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/553884081> (accessed 18.10.2023)
17. Vologzhina S.Zh., Novikova S.A. *Rekreatsionnoe prirodopol'zovanie* [Recreational nature management]. Irkutsk, ISU Publ., 2022, 191 p. (In Russian)
18. Tomskikh A.A. On the issue of nature management in mountain countries (global and regional aspect). *Transbaikal State University Journal*, 2022, vol. 28, no. 3, pp. 28–35. (In Russian) DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-3-28-35
19. Isachenko T.E., Sevast'yanov D.V., Guk E.N. Emergence and evolution of recreation nature management in the Norilsk region. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources]. 2015, vol. 36, no. 2, pp. 140-148. (In Russian)
20. Kul'gachev I.P., Kharitonov D.A., Romanova M.M., Kosheleva A.I. The main problems and prospects of tourism development in the Republic of Dagestan. *Vestnik Akademii* [Bulletin of the Academy]. 2017, no. 3, pp. 56-64. (In Russian)
21. Gazilov M.G. Problems and ways of development of domestic tourism in Russia on the example of the Gunib tourist center in Dagestan. *Service plus*, 2022, vol. 16, no. 3, pp. 3-9. (In Russian) DOI: 10.5281/zenodo.7378105.
22. Adiev A.Z. The Ethnic Nature of Land Use Conflicts in Dagestan. *Regional aspects of social policy*, 2021, no. 3, pp. 32-49. (In Russian) DOI: 10.34775/m2691-6433-4441-e
23. Moloroev M.A., Stetsenko S.E. Problems of development ecological and rural tourism in the Republic of Ingushetia. *Innovatsii v nauke* [Innovation in science]. 2019, no. 5, pp. 36-38. (In Russian)
24. Ustaev A.L. Issues in balneology and the use of environmental management in tourist and recreational industries of the Chechen Republic. *Vestnik Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.A. Kadyrova* [Bulletin of Chechen State University named after A.A. Kadyrov]. 2016, no. 1 (21), pp. 35-46. (In Russian)
25. Kamalova T.A., Magomedbekov G.U., Nazhmutdinova S.A., Abdullaev N.A. Problems and prospects of sustainable development of the recreation complex in the republic of Dagestan. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no.2, pp. 213-228. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-2-213-228>
26. Wolf I.D., Croft D.B., Green R.J. Nature Conservation and Nature-Based Tourism: A Paradox? *Environments*, 2019, vol. 6, iss. 9. <https://doi.org/10.3390/environments6090104>.
27. Saha A., Pal S.Ch., Santosh M., Janizadeh S., Chowdhuri I., Norouzi A., Roy P., Chakraborty R. Modelling multi-hazard threats to cultural heritage sites and environmental sustainability: The present and future scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 320, article ID: 128713. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128713>
28. Gory musora v Dagestane stali mestnoi "dostoprimechatel'nost'yu" [Mountains of garbage in Dagestan have become a local "landmark"]. Russian newspaper, 2021, available at: URL: <https://rg.ru> (accessed 25.10.2023)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Хава Ш. Забурова разработала концепцию и корректировала рукопись до подачи в редакцию. Чингизхан Ш. Забуров и Милана Б. Седиева приняли участие в сборе, анализе и интерпретации 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

Khava Sh. Zaburaeva developed the concept and adjusted the manuscript prior to submission to the Editor. Chingizkhan Sh. Zaburaev and Milana B. Sedieva participated in the collection, analysis and interpretation 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

Хава Ш. Забурова / Khava Sh. Zaburaeva <https://orcid.org/0000-0002-9326-5758>
 Чингизхан Ш. Забуров / Chingizkhan Sh. Zaburaev <https://orcid.org/0009-0002-8945-0827>
 Милана Б. Седиева / Milana B. Sedieva <https://orcid.org/0009-0008-7046-5248>

Оригинальная статья / Original article

УДК 911.12

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10



Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

Виталий В. Братков, Луиза Р. Бекмурзаева

Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Контактное лицо

Луиза Р. Бекмурзаева, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории климатологии и метеорологии НИИ геоэкологии и природопользования, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика

М.Д. Миллионщикова; 364051 Россия, г. Грозный, пр. им. Х. Исаева, 100.

Тел. +79287851481

Email eip-eco2017@yandex.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>**Формат цитирования**

Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Оценка запаса и бюджета углерода на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный» // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 107-116. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10

Получена 10 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 8 ноября 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель – дать количественную оценку запаса и бюджета углерода для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный.

Оценка запаса и бюджета углерода проводилась на основе методики РОБУЛ, программное обеспечение которой находится в открытом доступе на сайте ЦЭПЛ РАН. Для оценки запаса и бюджета углерода использовались сведения Государственного лесного реестра (ГЛР) о породном составе, площадях и запасах древесины, категорий насаждений. Инструментальное измерение потоков CO₂ на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозного» проводилось методом турбулентных пульсаций.

Для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный запас углерода составил 207708 т, бюджет углерода – 267 т/год. Анализ пульсационных измерений показал, что за 8 месяцев 2023 года (апрель – ноябрь) эмиссия CO₂ превышала поглощение. Максимальное поглощение CO₂ приходится на май, что связано с сезонным ростом биомассы и процессами фотосинтеза, а максимальная эмиссия – на сентябрь.

Для участка карбонового полигона Зелена зона г. Грозный получены расчетные значения запаса и бюджета углерода по пулам. Мониторинг за потоками климатически активных газов позволит в будущем создать базу данных стока и эмиссии парниковых газов, характерных для лесостепной зоны Чеченской Республики, с возможностью последующей интерполяции данных на репрезентативные территории.

Ключевые слова

Биомасса, запас и бюджет углерода, климатические изменения, карбоновый полигон.

Assessment of the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon landfill site

Vitaly V. Bratkov and Luiza R. Bekmurzaeva

Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

Principal contact

Luiza R. Bekmurzaeva, PhD (Geography), Associate Professor and Leading Researcher, Laboratory of Climatology and Meteorology, Research Institute of Geoecology and Nature Management, M.D. Millionshchikova Grozny State Oil Technical University; 100 Kh. Isaev Ave., Grozny, Russia 364051.

Tel. +79287851481

Email eip-eco2017@yandex.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>

How to cite this article

Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Assessment of the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon landfill site. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):107-116. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-10

Received 10 October 2024

Revised 8 November 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to quantify the carbon stock and budget at the Grozny Green Zone carbon polygon site.

The assessment of the carbon stock and budget was carried out on the basis of the ROBUL methodology, the software of which is publicly available on the website of the Centre for Environmental Problems of the Russian Academy of Sciences. To assess the carbon stock and budget, information from the State Forest Register (SFR) on species composition, areas and reserves of wood and categories of plantings was used. Instrumental measurement of CO₂ flows at the carbon polygon site was carried out using the turbulent pulsation method.

For the carbon polygon site, the carbon stock was 207708 tons, while the carbon budget was 267 tons/year. Analysis of pulsation measurements showed that for 8 months of 2023 (April–November) CO₂ emission exceeded absorption. The maximum absorption of CO₂ occurs in May. This is due to the growth of biomass and photosynthesis processes. The maximum emission occurs in September.

For a section of the site, calculated values of the carbon stock and budget for pools were obtained. Monitoring the flows of climate-active gases will make it possible in the future to create a database of runoff and emissions of greenhouse gases characteristic of the forest-steppe zone of the Chechen Republic, with the possibility of subsequent interpolation of data to representative regions.

Key Words

Biomass, carbon stock and budget, climate change, carbon landfill.

ВВЕДЕНИЕ

Климатические изменения являются одной из самых обсуждаемых проблем, как в научном сообществе, так и на государственном уровне. Для достижения целей Парижского соглашения к 2030 году выбросы парниковых газов в России должны сократиться на 70 % от уровня 1990 года (не более 2162,4 млн. тонн CO₂-эквивалента). В этой связи, в России проводится ряд мероприятий, включая усиление научно-технического и технологического потенциала [1]. В феврале 2021 года Министерство науки и высшего образования Российской Федерации запустило пилотный проект по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса [2], что является реализацией первого этапа плана адаптации к изменениям климата на период до 2022 г. [3]. Таким

образом, на сегодняшний день в России действует 19 карбоновых полигонов общей площадью 312`939,53 га [4]. Карбоновый полигон «WAY CARBON» расположен на территории Чеченской Республики, включает 14 участков общей площадью 1785 га. Участки расположены в природных (равнинных степных, лесостепных, а также горных) и антропогенно-измененных ландшафтах [5]. Целью настоящего исследования является количественная оценка запаса и бюджета углерода для участка карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обзор существующих методик расчета поглощения парниковых газов лесами представлен в работах [6; 7]. Преимущества и недостатки методик оценки углеродного баланса в лесах представлены в табл. 1.

Таблица 1. Преимущества и недостатки методик оценки углеродного баланса в лесах**Table 1.** Advantages and disadvantages of forest carbon balance assessment methods

Название методики Name of Method	Разработчик Developer	Преимущества Advantages	Недостатки Disadvantages
Методика Международного института прикладного системного анализа Methodology of the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)	Международный институт прикладного системного анализа (IIASA), Австрия International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria	Одна из первых методик по которой проведен полный учет бюджета углерода России One of the first methods by which a full accounting of Russia's carbon budget was conducted	Не ориентируется на принципы МГЭИК Does not follow IPCC principles
Модель бюджета углерода канадского лесного сектора Carbon budget model of the Canadian forestry sector (CBM-CFS3)	Лесная служба Канады (CFS) Canadian Forest Service (CFS)	Открытый доступ. Удобный интерфейс Open access. User-friendly interface	Опирается на данные Канадской статистики, тогда как данных ГЛР для этой модели недостаточно Based on Canadian statistics data, although there is insufficient GLR data for this model
Методика региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) Methodology for the regional assessment of the forest carbon budget (RAFCB)	Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН), Россия Center for Forest Ecology and Productivity (CEPF RAS), Russia	Доступность программного обеспечения Software availability	Опирается на данные ГУЛФ/ГЛР, что снижает достоверность оценок Based on data from the State University of the Russian Federation/State Research Institute of the Russian Federation, which reduces the reliability of the estimates
Система моделей лесных экосистем+ модель динамики органического вещества почвы A system of forest ecosystem models+ a model of soil organic matter dynamics (EFIMOD+ROMUL)	Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения (ИФХБП РАН), г. Пушкино, Россия Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science (IPCBS RAS), Pushchino, Russia	Можно воспроизвести сценарии влияния использования лесов на изменение баланса углерода на локальном уровне It is possible to reproduce scenarios of	Малопригодна для обобщенных региональных оценок баланса углерода Not very suitable for generalized regional carbon balance assessments

		the impact of forest use on changes in the carbon balance at the local level	
Современная обновленная версия модели углеродного бюджета лесов США Modern updated version U.S. FORest CARBon Budget Model (FORCARB2)	Лесная служба США US Forest Service	Точность метода. Учитывает все влияющие факторы, в том числе и ландшафтную нарушенность, ведение лесного хозяйства, изменения землепользования и климата Accuracy of the method. Takes into account all influencing factors, including landscape disturbance, forestry, land use and climate change	Требуется большой массив данных, в том числе и сведения об эмиссии при пожарах и изменении землепользования A large amount of data is required, including information on emissions from fires and land use changes
Леса России Forest of Russia (FORRUS)	Московский государственный университет леса (МГУЛ), г. Мытищи, Россия Moscow State Forest University (MSFU), Mytishchi, Russia		Рассматриваются различные сценарии лесопользования применительно к динамике лесотаксационных показателей, а не к подсчетам баланса углерода Various forest management scenarios are considered in relation to the dynamics of forest taxation indicators, but not to carbon balance calculations
Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода УГЛУ Information system for determining and mapping carbon deposited by forests UGLU	Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛУТ), г. Екатеринбург, Россия Ural State Forest Engineering University (USFTU), Yekaterinburg, Russia	Получена база данных продукционных характеристик лесных насаждений Северной Евразии A database of production characteristics of forest plantations in Northern Eurasia has been obtained	Не оценивается бюджет углерода Carbon budget is not estimated

Помимо вышеупомянутых методик, для оценки запаса углерода в лесных экосистемах возможно использовать данные дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии [8; 9].

Нами за основу взята методика расчета бюджета углерода лесов, разработанная Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). На сайте ЦЭПЛ РАН представлена подробная инструкция для региональной оценки бюджета углерода лесов [10], а также программное обеспечение. Замолодчиков [11] отмечает схожесть результатов Канадской имитационной модели CBM-CFS3 и расчетов с помощью системы РОБУЛ. Методика РОБУЛ была опробована для различных регионов России [12–14] и применяется в

расчете баланса углерода для Национального кадастра парниковых газов.

Для расчета по системе РОБУЛ используются данные Государственного Лесного реестра, а именно: породный состав, данные по площадям и запасам древесины, а также категории насаждений. Насаждения идентифицируются по преобладающей породе и возрастному составу. В Государственном Лесном реестре используются 6 групп возраста: 1) молодняки 1 класса возраста, 2) молодняки 2 класса возраста, 3) средневозрастные; 4) приспевающие; 5) спелые и 6) перестойные. С точки зрения бюджета углерода, возраст — едва ли не важнейшая характеристика. Молодое насаждение растёт и активно поглощает углерод. Спелое насаждение находится в более-менее

стабильном состоянии, и его фитомасса приблизилась к своему постоянному значению [15].

М.Д. Корзухин и В.Н. Коротков [16] пытались усовершенствовать методику, однако пришли к выводу, что введенные коррекции и модификации качественно не изменили предыдущих результатов.

Таким образом, применительно для территории России, методика РОБУЛ имеет следующие преимущества: доступное программное обеспечение, соответствие требованиям МГЭИК, сопоставимость результатов с иностранными методиками.

Мониторинг за потоками парниковых газов, в частности CO₂, на исследуемом участке осуществляется методом турбулентных пульсаций.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемый участок карбонового полигона расположен в пределах особо охраняемой природной территории (ООПТ) – «Зеленая зона г. Грозного». Это заказник, организованный в 1977 году для восстановления редких и исчезающих видов растений и животных. Общая площадь заказника – 1800 га (рис. 1).

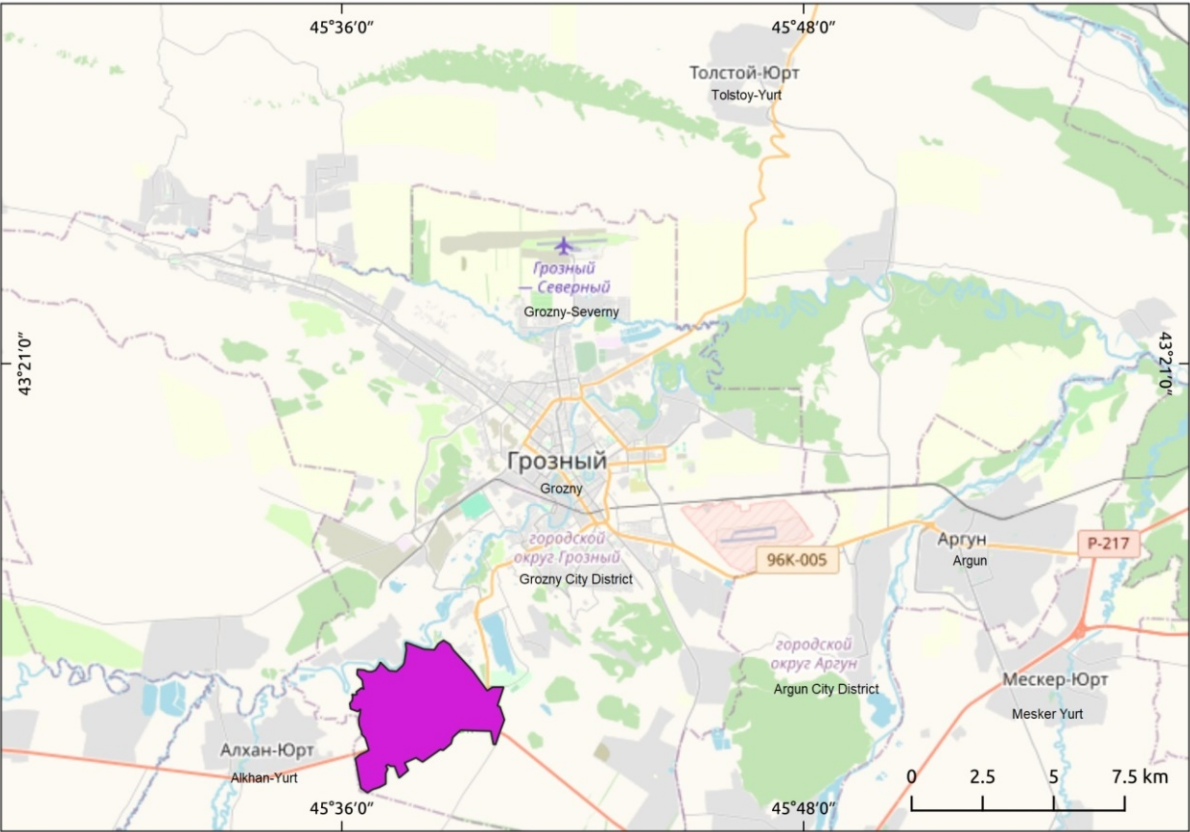


Рисунок 1. Расположение заказника «Зеленая зона г. Грозного»
Figure 1. Location of the Grozny Green Zone reserve

Заказник приурочен к лесостепной зоне. Древесная растительность представлена пойменными, малопродуктивными лесами. Они состоят из дуба черешчатого, ясеня обыкновенного, клена татарского, груши кавказской. В подлеске этих лесов кизил обыкновенный, боярышник мелколистный, слива колючая (тёрн), лещина обыкновенная, крушина Палласа, свидина южная [17].

Исследуемый участок относится к территории с умеренно-континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха за последние 30 лет составила 11,3 °С. Средняя температура января – -1,3 °С, июля – +24,1 °С. Количество осадков составляет 508 мм, гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) равен 0,94. Показатель увлажнения указывает на то, что территория находится на границе таких ландшафтных зон, как степь и лесостепь (табл. 2).

Таблица 2. Климатическая характеристика заказника «Зеленая зона г. Грозного» по данным метеостанции Грозный (1994–2023 гг.)
Table 2. Climatic characteristics of the Grozny Green Zone reserve according to data of the Grozny weather station (1994–2023)

Средняя годовая температура воздуха, °С Average annual air temperature, °C	Средняя температура января, °С Average January temperature, °C	Средняя температура июля, °С Average July temperature, °C	Осадки, мм Rainfall, mm	ГТК GTK
11,3	-1,3	24,1	508	0,94

Согласно сведениям Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики, основными преобладающими породами деревьев в заказнике являются дуб черешчатый, ясень обыкновенный, клен, акация белая, осина, ольха черная, тополь (рис. 2). Общий запас древесины основных лесообразующих пород составляет 180150 м³ (табл. 3). Гари, вырубki и погибшие насаждения отсутствуют. По возрастному составу преобладают средневозрастные деревья (рис. 3).

Согласно методике РОБУЛ, изучаемый участок относится к зонально-региональному полигону: Европейско-Уральская часть, южная тайга и более южные зоны. Зонально-региональный полигон обуславливает выбор конверсионных коэффициентов для пересчета запасов древесины в фитомассу. Конверсионные коэффициенты также представлены в описании методики [10]. Расчет запаса и бюджета углерода, согласно рекомендациям МГЭИК, производится по следующим пулам: биомасса древостоя, мертвая древесина, подстилка, почва (0–30 см).

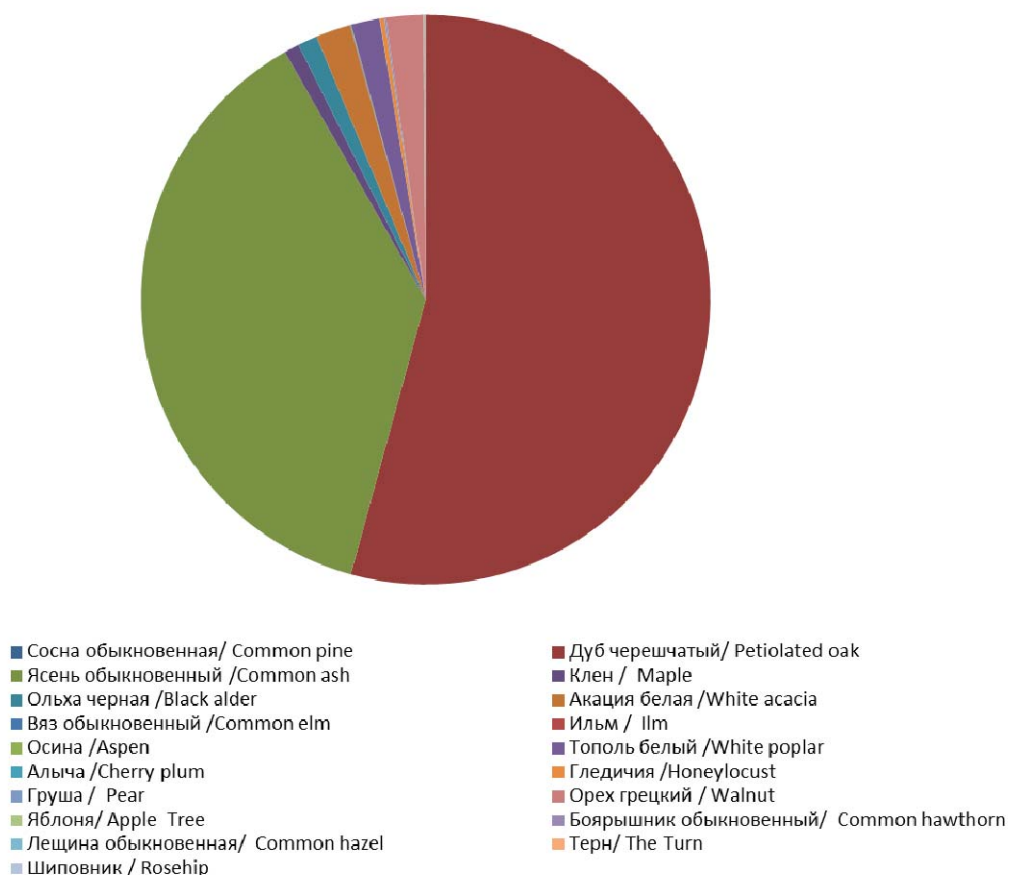


Рисунок 2. Породный состав деревьев и кустарников заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Figure 2. Species composition of trees and shrubs of the Grozny Green Zone reserve

Таблица 3. Запас древесины основных лесообразующих пород заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Table 3. Wood reserve of the main forest-forming species of the Grozny Green Zone reserve

Порода / Type	Запас, м ³ / Reserve, m ³
Сосна / Pine	20
Дуб высокоствольный / High-stemmed oak	97610
Ясень / Ash	67550
Клен / Maple	1550
Акация белая / White acacia	3690
Осина / Aspen	60
Ольха черная / Black alder	2000
Тополь / Poplar	2910
Прочие кустарники / Other shrubs	130
Прочие породы / Other types	4630
Итого / Total	180150

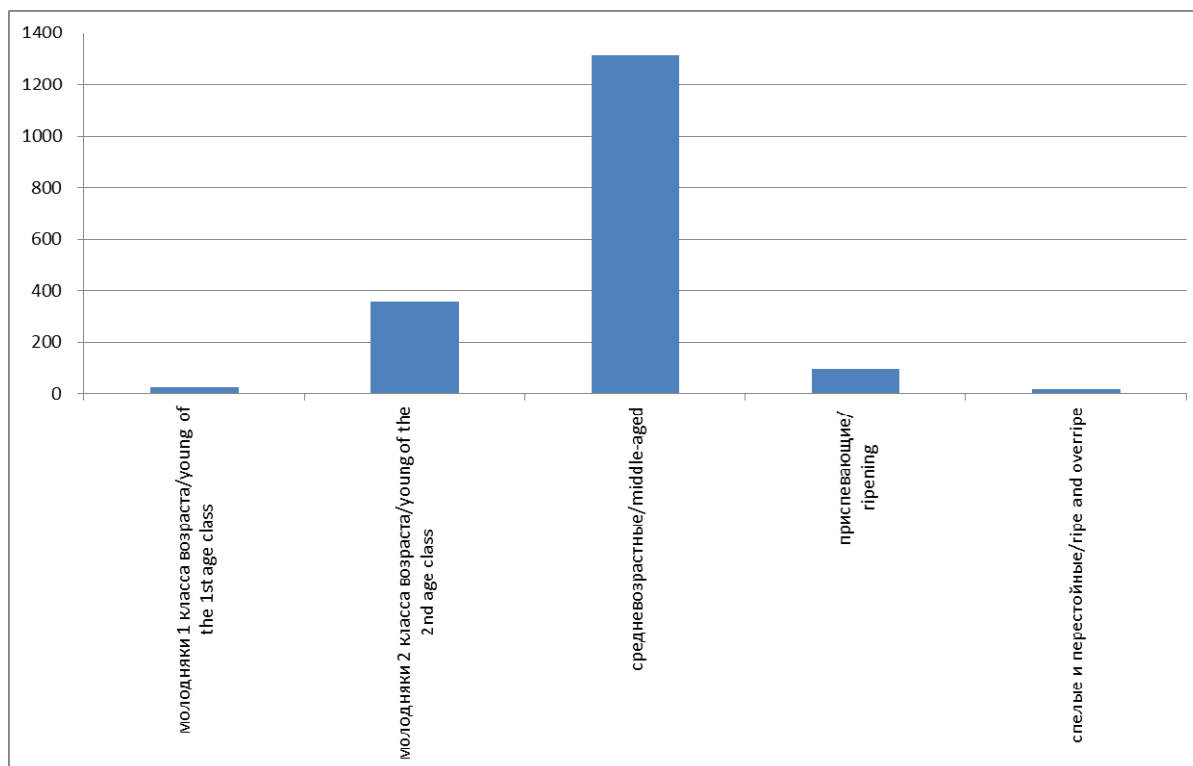


Рисунок 3. Запас древесины по возрасту пород заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Figure 3. Wood stock by age of species of the Grozny Green Zone reserve

Согласно расчету, общий запас углерода для территории заказника Зеленая зона г. Грозный составил 207708 т. Запас углерода по пулу биомасса древостоя составил 44 % или 90978 т, мертвая древесина – 7 % или 14345 т, подстилка – 5% или 10118т, почва (0–30 см) –

44 % или 92267 т. Общий бюджет углерода составил 267 т/год. Бюджет углерода по пулу биомасса древостоя составил 58 % или 154 т/год, мертвая древесина – 36 % или 95 т/год, подстилка – 1 % или 4 т/год, почва (0–30 см) – 5 % или 13т/год (табл. 4).

Таблица 4. Распределение запаса и бюджета углерода по пулам для заказника «Зеленая зона г. Грозный»

Table 4. Distribution of carbon stock and budget by pools for the Grozny Green Zone reserve

Пул углерода Carbon pool	Запас углерода, т Carbon stock, ton	Запас углерода, % Carbon stock, %	Бюджет углерода, т /год Carbon budget, ton/year	Бюджет углерода, % Carbon budget, %
Биомасса древостоя Biomass of the stand	90978	44	154	58
Мертвая древесина Dead wood	14345	7	95	36
Подстилка Forest floor	10118	5	4	1
Почва (0–30 см) Soil (0–30 cm)	92267	44	13	5
Итого Total	207708	100	267	100

Помимо расчетных оценок, на изучаемом участке проводятся также инструментальные наблюдения за потоками климатически активных газов. Система Eddy Covariance, позволяет измерять обмен CO₂, H₂O, CH₄ и энергии между поверхностью Земли и атмосферой [18]. Система включает в себя автоматическую метеостанцию MesoPRO, Campbell Scientific, а также оборудование, предназначенное для измерения потоков парниковых газов (CO₂, CH₄ и H₂O) (LI-COR, США) [19–21] (рис. 4).

Измерение потоков CO₂ на исследуемом участке началось в апреле 2023 года. На рис. 5 представлен график осреднённых суточных измерений потоков CO₂ в

период с апреля по ноябрь 2023 г. Положительный поток – бюджет углерода в атмосферу, а отрицательный – запас углерода из атмосферы в экосистему. Изменение концентрации CO₂ зависит от активности биоты. Сокращение концентрации CO₂ в апреле и мае связано с активным ростом биомассы и усиление процессов фотосинтеза.

Как отмечают [19] сезонный ход CO₂ зависит от приходящей солнечной радиации, температуры воздуха, увлажнения почвы и фенологического ритма сезонного развития растений. Анализ пульсационных измерений показал, что за 8 месяцев 2023 года (апрель – ноябрь) эмиссия CO₂ превышала поглощение.

Минимальная среднемесячная концентрация CO_2 за период наблюдений приходится на май и равна $-1,59 \text{ гС/м}^2\text{сут.}$ Максимальная среднемесячная концентрация CO_2 за наблюдаемый период приходится

на сентябрь и равна $+4,16 \text{ гС/м}^2 \text{ сут.}$ Баланс потоков углерода за 8 месяцев (апрель – ноябрь) составил $5,7 \text{ тС/га} \times 8 \text{ мес.}$

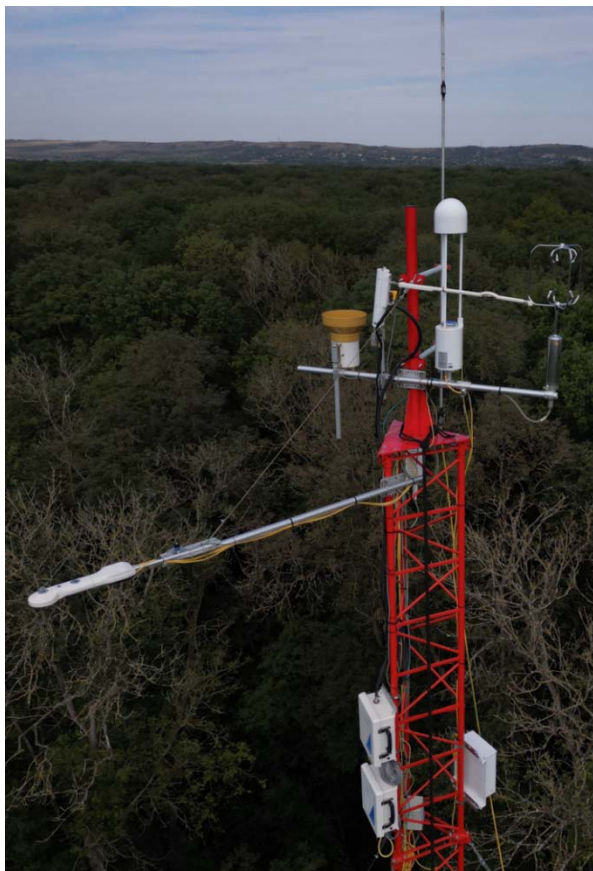


Рисунок 4. Система Eddy Covariance. Участок карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозный»

Figure 4. The Eddy Covariance system. Grozny Green Zone carbon landfill site

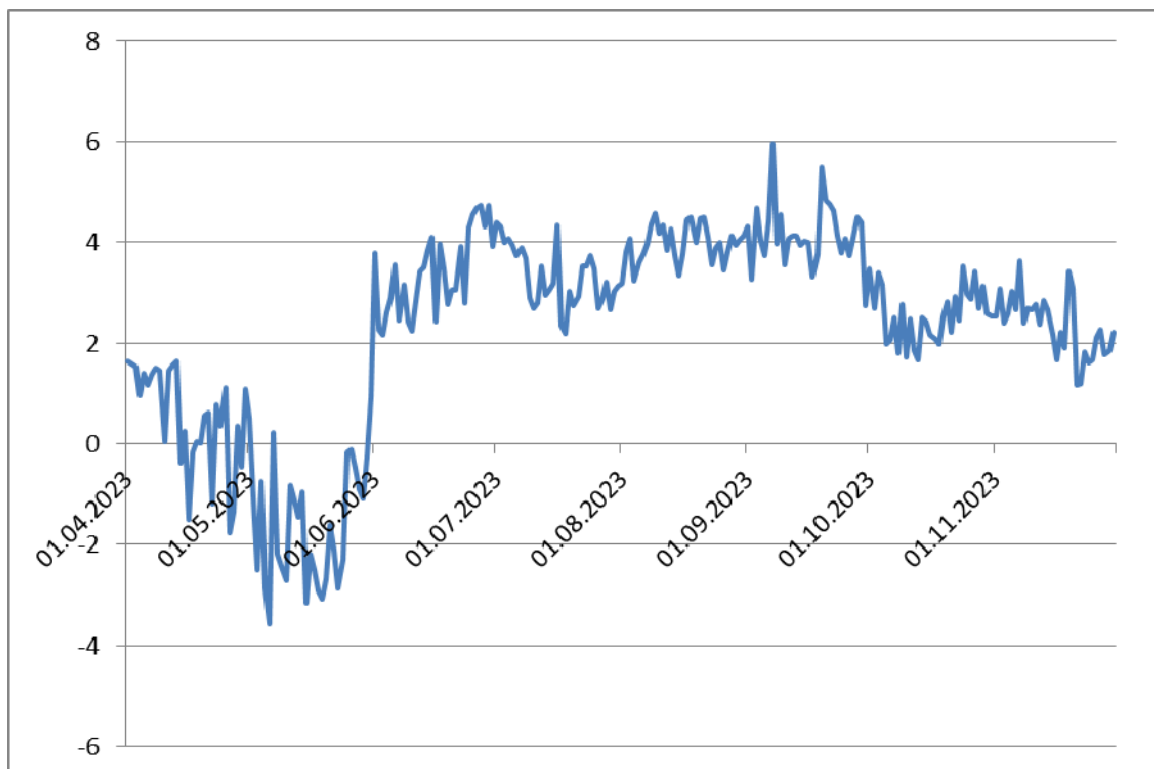


Рисунок 5. Суточные потоки CO_2 в период с апреля по ноябрь 2023 г.

Figure 5. Daily CO_2 fluxes in the period from April to November 2023

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих методик оценки запаса и бюджета углерода показал, что для территории России методика РОБУЛ имеет ряд преимуществ: доступное программное обеспечение, соответствие требованиям МГЭИК, сопоставимость результатов с иностранными методиками. Используя методику РОБУЛ, был рассчитан запас и бюджет углерода для участка карбонового полигона Зеленая зона г. Грозный. На участке в 1800 га запас углерода составляет 207708 т, по пулам основной запас сосредоточен в почве и биомассе древостоя (44 %). Бюджет углерода составил 267 т/год, по пулам основной бюджет углерода приходится на биомассу древостоя (58%). Инструментальные наблюдения за потоками парниковых газов, в том числе и CO₂, проводимые на участке карбонового полигона «Зеленая зона г. Грозного», позволяют отследить дыхание биоты в течение года. Однако, имеющийся ряд данных носит предварительный характер, в связи с чем необходимо продолжение исследований в том числе для повышения их точности. Мониторинг за потоками климатически активных газов позволит в будущем создать базу данных стока и эмиссии парниковых газов, характерных для лесостепной зоны Чеченской Республики, с возможностью последующей интерполяции данных на репрезентативные территории.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках Госзадания ГГНТУ им. академика М.Д. Миллионщикова FZNU-2024-0001 «Оценка влияния современных климатических изменений на природные и природно-антропогенные комплексы (на примере Чеченской Республики)».

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the State Task of the M.D. Millionshchikov GGNTU FZNU-2024-0001: Assessment of the Impact of Modern Climatic Changes on Natural and Natural-Anthropogenic Complexes (the example of the Chechen Republic).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климатическая доктрина Российской Федерации. URL:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meteo.info.ru/images/media/books-docs/FEDERAL/climatedoctrine-2023.pdf (дата обращения 15.09.2024)
2. Сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. URL:https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/ (дата обращения: 15.09.2024)
3. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 175–218. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218
4. Сайт Карбоновые полигоны Российской Федерации. URL: https://carbon-polygons.ru/polygons/ (дата обращения: 15.09.2024)
5. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. N 3(25). С. 35–47.
6. Сорокина Д.Д., Птичников А.В., Романовская А.А. Сравнительный анализ и оценка методик расчета поглощения парниковых газов лесными экосистемами, применяемых в Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. N 4. С. 1–15. DOI: 10.31857/S2587556623040131
7. Филиппук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2016. N 3. С. 36–85. URL: http://lhi.vniilm.ru
8. Булаева Н.М., Бекмурзаева Р.Х., Гаджиханов А.С. Региональная система учета и контроля парниковых газов на основе геоинформационных технологий на карбоновом полигоне ЧГУ им. А.А. Кадырова // Экология промышленного производства. 2023. N 3 (123). С. 43–47.
9. Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests – A Review // J Ecosyst Ecogr. 2012. V. 2. Article id: 116. DOI: 10.4172/2157-7625.1000116
10. Сайт Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов. URL: http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm (дата обращения: 15.09.2024)
11. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Курц В.А. Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 // Тр. СПбНИИЛХ. 2014. N 1. С. 5–18.
12. Замолотчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1 (1). С. 1–24.
13. Kaganov V.V., Zamolodchikov D.G., Mostovaya, A.S. Climate Effect on Carbon, Phytomass, and Litter Stocks in Forest Stands in the South of European Russia // Contemp. Probl. Ecol. 2023. V. 16. P. 994–1006. https://doi.org/10.1134/S1995425523070053
14. Замолотчиков Д.Г., Иванов А.В., Мудрак В.П. Запасы и потоки углерода на землях лесного фонда Приморского края при оценке по системе РОБУЛ // Аграрный вестник Приморья. 2018. N 2 (10). С. 46–50.
15. Замолотчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергосбережение. 2021. N 2. С. 53–69.
16. Корзухин М.Д., Коротков В.Н. модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. N 3. С. 30–53. DOI: 10.21513/2410-8758-2018-3-30-53
17. Гайрабеков У.Т. Техногенная трансформация ландшафтной среды г. Грозный в связи с функционированием нефтяного комплекса // Перспективы науки. 2011. N 12 (27). С. 166–169.
18. Сайт компании Li-Cor. URL: https://www.licor.com/env/products/eddy-covariance/ (дата обращения: 28.09.2024)
19. Сатосина Е.М., Мамадиев Н.А., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В. Карбоновый полигон Чеченской Республики: IV пилотные измерения потоков парниковых газов // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2023. Т. 8. N 2 (32). С. 53–64. DOI: 10.25744/genb.2023.97.15.008
20. Burba G.G., Kurbatova Yu.A., Kuricheva O.A. Turbulent Pulsation Method Brief Practical Guide. Moscow, 2016. 231 p.
21. Aubinet M., Vesala T., Papale D., eds. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag. 2012. 438 p.

REFERENCES

1. *Klimaticheskaya doktrina Rossiiskoi Federatsii* [The Climate Doctrine of the Russian Federation]. Available at: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://meteo.info.ru/images/media/books-docs/FEDERAL/climatedoctrine-2023.pdf (accessed 09.10.2024) (In Russian)
2. *Sait Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Rossiiskoi Federatsii* [Website of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation]. Available at: https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/ (accessed 09.10.2024) (In Russian).
3. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.A., Kozlov D.N. Methodological approaches to the formation of a unified national system for monitoring and accounting for carbon balance and greenhouse gas emissions on the lands of the Agricultural Fund of the Russian Federation. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*, 2021, vol. 108, pp. 175–218. (In Russian) DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218
4. *Sait Karbonovye poligony Rossiiskoi Federatsii* [The Carbon polygons of the Russian Federation website]. Available at: https://carbon-polygons.ru/polygons/ (accessed 09.10.2024) (In Russian)
5. Kerimov I.A., Gayrabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon landfill of the Chechen Republic: I. Landscape features and structure. *Groznyy yestestvennonauchnyy Byulleten* [Grozny Natural Science Bulletin]. 2021, vol. 6, no. 3(25), pp. 35–47. (In Russian)
6. Sorokina D.D., Ptichnikov A.V., Romanovskaya A.A. Comparative Analysis and Assessment of Methodologies Applied in the Russian Federation for Calculating Greenhouse Gas Absorption by Forest Ecosystems. *Izvestiâ Rossijskoj akademii nauk. Seriâ geograficheskââ*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 497–511. doi: 10.31857/S2587556623040131
7. Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseyev B.N., Strakhov V.V. [Analytical review of methods for accounting for emissions and absorption of greenhouse gases from the atmosphere by forests] *Lesokhoz. inform.: elektron. setevoj zhurn*, 2016, no. 3, pp. 36–85. (In Russian). Available at: URL: http://lhi.vniilm.ru (accessed 09.10.2024)
8. Bulaeva N.M., Bekmurzaeva R.H., Gadzhikhanov A.S. Regional system of accounting and control of greenhouse gases based on geoinformation technologies at the carbon landfill of the A.A. Kadyrov ChSU. *Ehkologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2023, no. 3 (123), pp. 43–47. (In Russian)
9. Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *J Ecosyst Ecogr*, 2012, vol. 2, article id: 116. DOI: 10.4172/2157-7625.1000116
10. *Sait Tsentra po problemam ehkologii i produktivnosti lesov* [Website of the Center for Ecology and Forest Productivity]. Available at: http://old.cepl.rssi.ru/regional.htm (accessed 09.10.2024) (In Russian)
11. Zamolodchikov D.G., Grabovskii V.I., Kurts V.A. The impact of forest management volumes on the carbon balance of Russian forests: a predictive analysis using the CBM-CFS3 model. *Trudy SPNIIH* [Trudy SPNIIH]. 2014, no. 1, pp. 5–18. (In Russian)
12. Zamolodchikov D.G., Grabovsky V.I., Honest O.V. Dynamics of carbon balance in forests of federal districts of the Russian Federation. *Voprosy lesnoy nauki* [Questions of Forest Science]. 2018, vol. 1 (1), pp. 1–24. (In Russian)
13. Kaganov V.V., Zamolodchikov D.G., Mostovaya, A.S. Climate Effect on Carbon, Phytomass, and Litter Stocks in Forest Stands in the South of European Russia. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2023, vol. 16, pp. 994–1006. https://doi.org/10.1134/S1995425523070053
14. Zamolodchikov D.G., Ivanov A.V., Mudrak V.P. Carbon stocks and flows on the lands of the Primorsky Krai forest fund when assessed using the ROBUL system. *Agrarnyy vestnik Primorya* [Agrarian Bulletin of Primorye]. 2018, no. 2 (10), pp. 46–50. (In Russian)
15. Zamolodchikov D.G. Carbon cycle and climate change. *Okruzhayushchaya sreda i ehnergovedenie* [Journal of Environment and Energy Science]. 2021, no. 2, pp. 53–69. (In Russian)
16. Korzukhin M.D., Korotkov V.N. Modification of the ROBUL model for calculating the carbon balance of forests in Russia. *Fundamental and Applied Climatology*, 2018, no. 3, pp. 30–53. (In Russian) DOI: 10.21513/2410-8758-2018-3-30-53
17. Gayrabekov U.T. Technogenic transformation of the landscape environment of Grozny in connection with the functioning of the oil complex. *Perspektivy nauki* [Prospects of science]. 2011, no. 12 (27), pp. 166–169. (In Russian)
18. *Sait kompanii Li-Cor* [Li-Cor company website]. Available at: https://www.licor.com/env/products/eddy-covariance/ (accessed 09.10.2024). (In Russian)
19. Savosina E.M., Mamadiev N.A., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Kurbatova Yu.A., Olchev A.V. Carbon landfill of the Chechen Republic: IV pilot measurements of greenhouse gas fluxes. *Groznyy Natural Science Bulletin*, 2023, vol. 8, no. 2 (32), pp. 53–64. (In Russian). DOI: 10.25744/genb.2023.97.15.008
20. Burba G.G., Kurbatova Yu.A., Kuricheva O.A. *Turbulent Pulsation Method Brief Practical Guide*. Moscow, 2016, 231 p.
21. Aubinet M., Vesala T., Papale D., eds. *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*. Springer Atmospheric Sciences. Dordrecht, The Netherlands: Springer Verlag, 2012, 438 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Луиза Р. Бекмурзаева провела статистическую обработку материалов, проанализировала данные. Виталий В. Братков написал рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Luiza R. Bekmurzaeva undertook statistical processing of the material and data analysis. Vitaly V. Bratkov wrote the manuscript. Both 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

Виталий В. Братков / Vitaly V. Bratkov <https://orcid.org/0000-0001-5072-1859>

Луиза Р. Бекмурзаева / Luiza R. Bekmurzaeva <https://orcid.org/0000-0002-4904-0463>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.64

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-11



Устойчивое развитие региона на основе оценки антропогенной нагрузки (на примере экосистем Кизилюртовского района и города Кизилюрт)

Лейла Ш. Ахмедова¹, Зарима И. Солтанмурадова¹, Гаджимурад И. Идзиев², Раисат Т. Раджабова¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Институт социально-экономических исследований, Дагестанский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Лейла Ш. Ахмедова, кандидат биологических наук, доцент, кафедра рекреационной географии и устойчивого развития, Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21.
Тел. +79154706260
Email geoleyla@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

Формат цитирования

Ахмедова Л.Ш., Солтанмурадова З.И., Идзиев Г.И., Раджабова Р.Т. Устойчивое развитие региона на основе оценки антропогенной нагрузки (на примере экосистем Кизилюртовского района и города Кизилюрт) // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 117-131. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-11

Получена 2 декабря 2024 г.

Прошла рецензирование 14 января 2025 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Основным трендом современного мира становится требование устойчивого развития, которое предусматривает учет не только социально-экономических, но и экологических факторов, одним из которых является антропогенная нагрузка на экосистему.

Одним из основных факторов влияния выступает антропогенная нагрузка. Она варьируется в рамках отдельной территории в диапазоне 0–100 %. Учитывая этот факт, требуется правильно разрабатывать стратегию экологического развития региона. Основой процесса должна стать идентификация потенциалов потребления в распределенных показателях. Результат формирования стратегии должен принимать во внимание, что общая нагрузка не должна быть больше емкости всего изучаемого региона.

Все используемые в процессе исследования показатели значимости в различных сочетаниях входят в качестве элементов структурно-функциональной модели. Построенная в результате расчетов имитационно-балансовая модель «Регион» устанавливает прямую зависимость «воздействие – отклик» в экосистемах, которая достигается посредством индексации антропогенной нагрузки относительно емкости среды.

Итоги представленных расчетов можно заложить в процесс реализации нескольких сопутствующих задач. В некоторых регионах Республике Дагестан целесообразно сопоставить уровень воздействия антропогенной нагрузки по общему показателю в данном субъекте РФ. Рассчитанное значение демонстрирует позицию определенного территориального объединения по антропогенному воздействию при сравнении со средним индикатором по региону. Обозначенный индекс выступает в качестве объективного аспекта подготовки к действиям, направленным на улучшение эколого-экономической ситуации в регионе.

Ключевые слова

Устойчивое развитие, антропогенная нагрузка, экологическая емкость, энерго-демографический индекс устойчивости.

Sustainable development of a region based on the assessment of anthropogenic load (through the example of the ecosystems of the Kizilyurt district and the city of Kizilyurt)

Leyla Sh. Akhmedova¹, Zarima I. Soltanmuradova¹, Gadzhimurad I. Idziev² and Raisat T. Radzhabova¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Institute of Social and Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Leyla Sh. Akhmedova, PhD in Biology,
Associate Professor, Department of
Recreational Geography and Sustainable
Development, Dagestan State University;
21 Dakhadaeva St, Makhachkala, Russia
367000.

Tel. +79154706260

Email geoleyla@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

How to cite this article

Akhmedova L.Sh., Soltanmuradova Z.I., Idziev G.I.,
Radzhabova R.T. Sustainable development of a
region based on the assessment of anthropogenic
load (through the example of the ecosystems of the
Kizilyurt district and the city of Kizilyurt). *South of
Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):117-131.
(In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-11

Received 2 December 2024

Revised 14 January 2025

Accepted 15 January 2025

Abstract

A principal trend of the modern world is a requirement for sustainable development, which involves taking into account not only socio-economic but also environmental factors, one of which is the anthropogenic load on the ecosystem.

Since the anthropogenic load varies across a region in the entire range of values from 0 to 100 %, a strategy for its eco-development should be based on estimates of consumption potentials in distributed parameters so that the total load does not exceed the capacity of the entire territory analysed.

All the significance indicators used in the study in various combinations are included as elements of the structural and functional model. The simulation and balance model "Region" constructed as a result of the calculations establishes a direct relationship "impact – response" in ecosystems, which is achieved by indexing the anthropogenic load relative to the capacity of the environment.

The results of the calculations obtained of the anthropogenic load can form the basis for solving a number of related challenges. In particular, for the Republic of Dagestan, it is useful to know the ratio of the anthropogenic load in individual areas to a similar indicator elsewhere for the republic as a whole. The resulting index will show the place of a specific administrative district in terms of anthropogenic load in relation to the average for the republic. In addition, such an index can serve as an objective basis for planning measures for the ecological and economic stabilisation of a district.

Key Words

Sustainable development, anthropogenic load, ecological capacity, energy-demographic index of sustainability.

ВВЕДЕНИЕ

Административное деление Республики Дагестан предполагает создание условий, способствующих самореализации входящих в него муниципальных районов. Стратегическое видение предусматривает создание основ, способствующих укреплению межрайонных связей, путем формирования межрайонных кластеров и развитой сетевой инфраструктуры. Данные цели подчеркивают стремление к устойчивому промышленному росту, учитывающему как региональные, так и экономические особенности. В принятой Стратегии социально-экономического развития Республики Дагестан определены конкретные задачи, каждая из которых направлена на улучшение промышленного ландшафта региона за счет стратегических инноваций и разработок и включают в себя создание современной промышленной структуры, характеризующейся специализацией республики. Предлагаемая архитектурная концепция предполагает акцент на фундаментальных принципах современной модернизации, реконструкции и внедрения новых достижений. Кроме того, план подчеркивает необходимость повышения конкурентоспособности продукции региона благодаря стремительному развитию научной сферы, являющейся неотъемлемой частью производственных процессов. Стратегический план также предусматривает создание и сохранение возможностей для трудоустройства, в частности, на позиции, требующие квалифицированного труда.

Важнейшим компонентом этой стратегии является эффективное использование местных активов, включая природные ресурсы, логистические сети, трудовые, информационные, финансовые и другие имеющиеся ресурсы, для обеспечения их оптимального вовлечения в производственные процессы. Стратегия также направлена на углубление межрайонного сотрудничества и активизацию совместных усилий муниципальных районов. Однако в принятой Стратегии недостаточно внимания уделено экологическим факторам устойчивого развития, которые вносят серьезные ограничения при реализации поставленных в Стратегии целей. Сегодня основным трендом современного мира становится требование устойчивого развития, которое предусматривает учет не только социально-экономических, но и экологических факторов, одним из которых является антропогенная нагрузка на экосистему, количественную оценку которой можно представить в виде расчета емкости экосистем и расчета фактической антропогенной нагрузки на экосистемы по представленной ниже методике. В качестве примера выбраны экосистемы города Кизилюрт и Кизилюртовского района. Выбранная методика имеет хорошие перспективы, например, ее можно использовать для Республики Дагестан.

В научной среде активно используется понятие «экологическая емкость», под которой подразумевают основную категорию определения стабильности экосистемы, расчет антропогенного воздействия, формирования эффективного плана мероприятий по развитию региона. Экологическую емкость можно рассматривать в количественном исчислении. В данном аспекте значение указывает на максимальный уровень антропогенной нагрузки, после преодоления которого

экосистемы начнут безвозвратно терять свои структурно-функциональные характеристики. Учитывая этот факт, экологическая емкость считается интегральной категорией, по отношению к которой выстраиваются прочие природные ресурсы. Для материального баланса современной биосферы присуще несколько базовых свойств. Он формируется на основе нескольких видов ресурсов и энергии. В результате возникает сложность консолидации разнокачественных потоков в общий сегмент вычисления. Мысль о соизмерении природных и производственных ресурсов на энергетической платформе возникла давно. Значительный вклад в этот научный сегмент внес В.И. Вернадский [1].

Вычисление экологической емкости – сложная процедура, требующая учета многочисленных факторов. Как следствие, сформировано незначительное количество методов идентификации этой категории. Отдельного внимания в данном контексте заслуживают научно-методические наработки Т.А. Акимовой и В.В. Хаскина [2]. Изобретенный ими механизм в практическом аспекте трудно реализуем. Для идентификации емкости ряда элементов (воздушная среда, почва, водные ресурсы) и среды в общем необходимо применять минимум десять сложно рассчитываемых значений. Существуют и другие, более перспективные методы. Речь идет о доступном энергодемографическом подходе [3; 4].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно принятой нами методике [5] расчет экологической емкости среды осуществляют по двум взаимодополняемым методам: 1) по мощности фотосинтеза и 2) энергопотенциалу первичной продуктивности. Каждый из этих методов опирается на свои исходные и обобщающие параметры и корректирует количественные характеристики экологической емкости конкретных экосистем.

Согласно этой модели, емкость экосистем составляет 3% от мощности фотосинтеза, в том числе 1 % биопотребления и 2 % – возобновимой геофизической энергии (гелио-, гидро- и ветроэнергия).

Расчет емкости экосистем по энергопотенциалу первичной продуктивности (P_v)

Этот вариант вычислений базируется на 2 систематизированных значениях формирования системы. Первым из них выступает норма использования биологической продукции индивидом (в нашем случае – человеком), а вторым становится ограничение применения первичных товаров общим количеством позвоночных индивидов, проживающих на земле (при условии стабильности биологического сегмента).

Первое значение вычисляется достаточно просто. Для этого необходимо установить суточный норматив физиологических нужд индивида (P_b). Например, для представителей *homo sapiens* он составляет 3000 ккал или $12,56 \cdot 10^3$ кДж/сутки. Если рассматривать растительную массу, то данный показатель варьируется. Норматив оценивается в 243 кг/год или $4,6 \cdot 10^6$ кДж/год [6]. Не стоит забывать, что питание представителей *homo sapiens* включает не только растительную, но и животную пищу. Растительный эквивалент здесь равен 1:10, поэтому обозначенный показатель требуется пропорционально

учитывать.

Что касается второго значения, то оно указывает на показатель разграничения деструкции чистой первичной продукции (при условии стабильности биологического сегмента) по категориям живых существ, обитающих на земле. В данном контексте интересна позиция В.Г. Горшкова [3]. С точки зрения эксперта, для стационарной биосферы максимальный показатель использования чистой первичной продукции для позвоночных видов составляет не более 1 %. Если рассматривать аналогичный индикатор для всей земли, то он равен примерно 1,15 Гт/год [3].

Как видим, существующие методические подходы подробно исследуют антропогенную нагрузку и сопутствующие факторы. Принимая во внимание рассмотренную информацию, целесообразно идентифицировать ряд компонентов разработки структурно-функционального механизма. Они выглядят так:

- естественные запасы энергии и биологической продукции на суше;

- вероятность использования энергетических и биологических ресурсов, другими словами, подразумевается объем экосистем и территориальное разделение;

- существующее антропогенное воздействие на экосистемы, уровень его изменения, исходя из демографической ситуации;

- коррекция антропогенного воздействия и разделение данного индикатора по регионам;

- формирование прогноза, в котором подробно указаны оптимальные меры использования природных ресурсов.

Итоговая задача состоит в систематизации всех компонентов в общую имитационно-балансовую платформу территориального объединения (рис. 1).

Потоки и преобразования поступившей на земную поверхность солнечной радиации при ее прохождении через элементы естественных (А) и возмущенных человеком (Б) экосистем демонстрируют универсальные имитационно-балансовые диаграммы модели (рис. 1 А, Б).

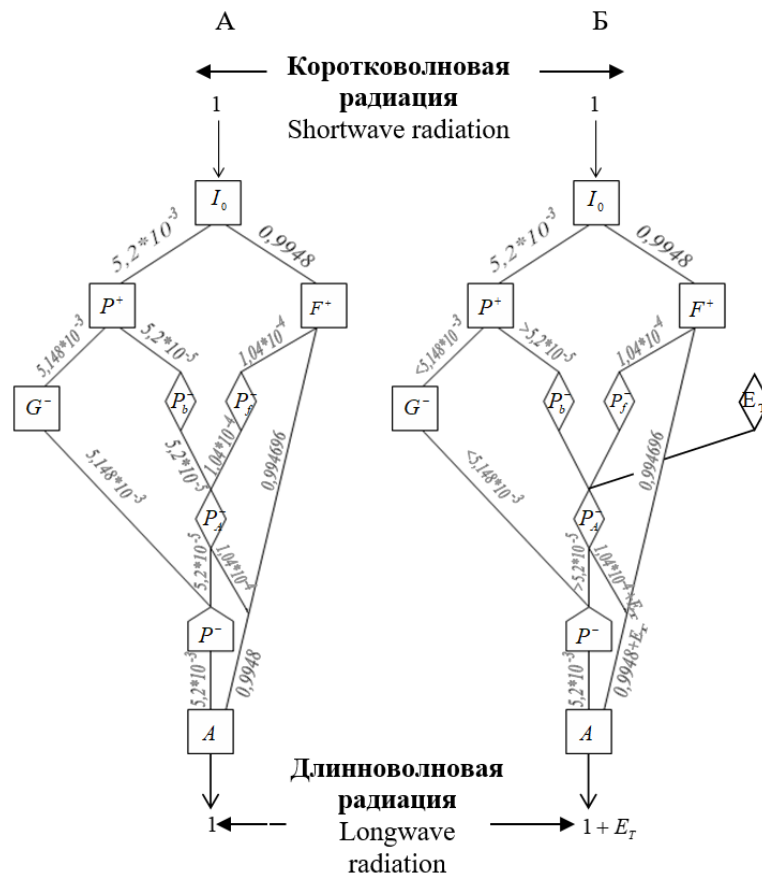


Рисунок 1. Потоки энергии солнечной радиации через элементы естественных (А) и возмущенных человеком (Б) экосистем

Figure 1. Flows of solar radiation energy through elements of natural (A) and human-disturbed (Б) ecosystems

Условные обозначения в долях единицы / Symbols in fractions of a unit:

I_0 – энергия, поступающая на единицу земной поверхности / energy supplied to a unit of the earth's surface,

P^+ – биосинтез / biosynthesis,

F^+ – физические круговороты вещества / physical cycles of matter,

P_b^- – нормированное потребление биопродукции человеком / standardized consumption of bioproducts by humans,

G^- – деструкция биопродукции гетеротрофами / destruction of bioproducts by heterotrophs,

P_f^- – потребление человеком возобновимых источников энергии / human consumption of renewable energy sources,

P_A^- – антропогенное потребление возобновимой энергии ($P_b^- + P_f^-$) / anthropogenic consumption of renewable energy

($P_b^- + P_f^-$),

P^- – деструкция всей биопродукции / *destruction of all bioproducts*,

A – атмосфера / *atmosphere*,

E_T – антропогенное потребление невозобновимой энергии недр (уголь, нефть, газ) / *anthropogenic consumption of non-renewable energy of the subsoil (coal, oil, gas)*

Квадраты – естественные ячейки преобразования энергии, ромбы – антропогенные ячейки / *Squares – natural cells of energy conversion, diamonds – anthropogenic cells*

Цифры на линиях связи – доля преобразования энергии в структуре модели /

Numbers on the communication lines – the share of energy conversion in the model structure

Полученный в результате исследования индекс представляет собой показатель во сколько раз антропогенная нагрузка отдельной территории отличается (превышает или недобирает) от среднереспубликанской нагрузки на биосферу.

Интерпретация данного индекса достаточно проста и высокоинформативна в отношении объективной оценки эколого-экономического состояния территории: при устойчивом развитии индекс меньше единицы, при неустойчивом – больше. Более того, абсолютная величина индекса в первом случае показывает имеющиеся резервы природопользования и меру благополучия территории, а во втором – меру превышения нагрузки над допустимым уровнем [7].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изначально стоит описать объект изучения, под

которым подразумевается Кизилюртовский район. На текущий момент это одна из крупнейших сельскохозяйственных территорий Республики Дагестан. Представленный район возник на карте в 1967 г. Общее количество земель оценивается в 524,01 кв. км, или 1,04 % от размеров данного субъекта РФ. В географическом отношении Кизилюртовский район классифицируется к плоскостной зоне. В этом территориальном объединении присутствует значительный перепад высот. Нижняя точка составляет 50 м над уровнем моря, а пик находится на 500 м.

Столицей района является г. Кизилюрт, площадь которого с пригородом оценивается в 23,7 км². Кизилюртовский муниципалитет выступает в качестве структурного подразделения Буйнакской экономической зоны.

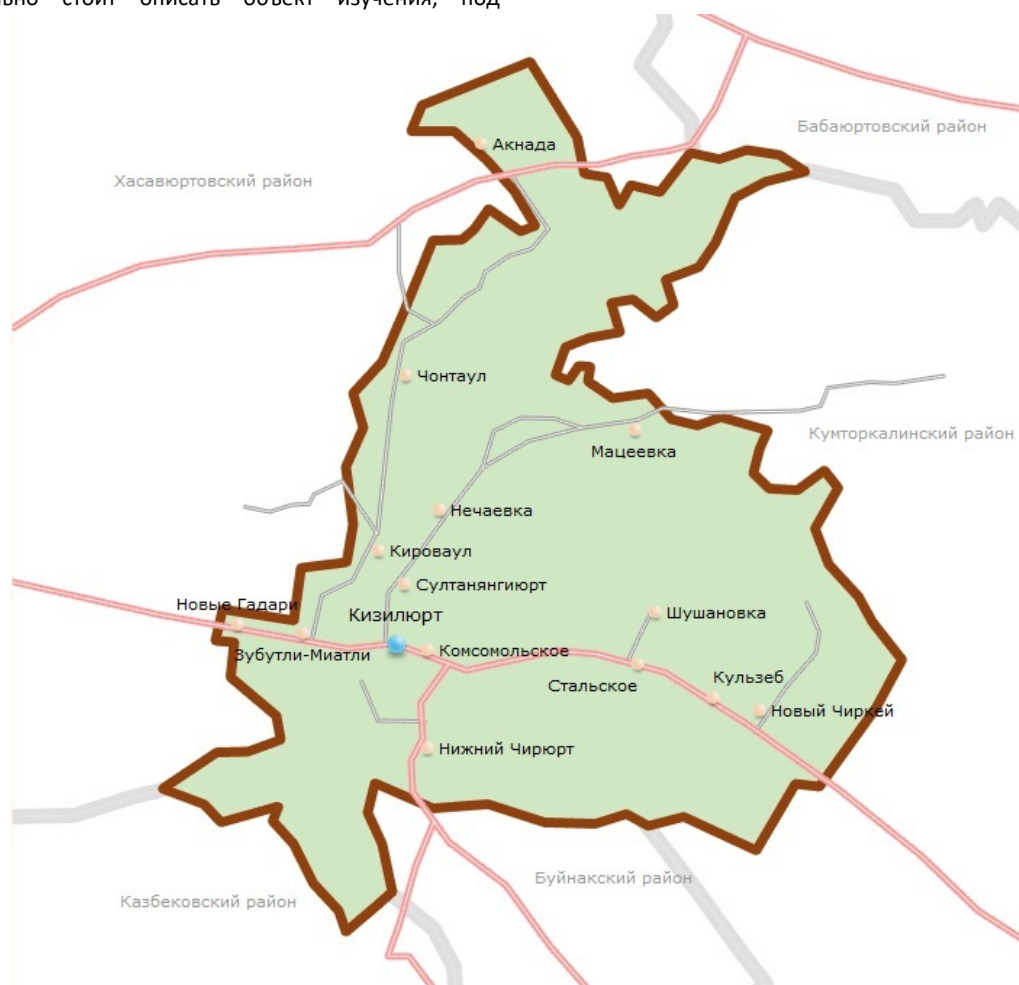


Рисунок 2. Картограмма г. Кизилюрт и Кизилюртовского района [8]

Figure 2. Map of Kizilyurt and Kizilyurt district [8]

Климатические особенности рассматриваемого территориального объединения относятся к умеренно-континентальной зоне. Температуры здесь достаточно мягкие. Средний термический режим в январе

варьируется в пределах от минус 2 до минус 4 °С, а в июле столбик термометра достигает средней отметки плюс 23,5 °С.

Энергопотребление

В данном контексте важно рассмотреть аспект потребления электроэнергии. Обычно используется показатель применительно на 1 человека. Под ним подразумевается общий объем энергии, израсходованный за конкретный временной отрезок при сравнении с общим количеством людей, проживающих на территории. Расчет энергии осуществляется в нефтяном эквиваленте. Показатель предусматривает энергию, которая высвобождается после сжигания многочисленных наименований топливных ресурсов, а также электроэнер-

гию, производимую на различных объектах. Потребление энергии, которое требуется для идентификации геосферной модели, включает несколько компонентов. В этом списке присутствует энергетическое и топливное потребление, включающее такие ресурсы как древесина, газ, уголь [9]. После проведения предварительных вычислений потребуется преобразовать показатель энергии в тонны условного топлива (табл. 1). Это позволит вывести общее значение потребления энергии.

Таблица 1. Коэффициенты перевода электроэнергии и топлива в тонны условных единиц (ТУ.Т)
Table 1. Conversion factors of electricity and fuel into tons of conventional units (TU.T)

Вид топлива Fuel type	Единица измерения Unit of measurement	ТУ.Т Ton of equivalent fuel
Уголь / Qhilla	1 тонна / ton	0,92
Дрова / Firewood	1 м ³ / m ³	0,266
Газ природный / Natural gas	тыс.м ³ / thousand m ³	1,2
Газ сжиженный / Liquefied gas	1 тонна / ton	1,57
Электроэнергия / Electricity	1000 кВт/ч/ kW/h	0,12
Бензин / Petrol	1 тонна / ton	1,49
Дизтопливо / Diesel fuel	1 тонна / ton	1,45
Керосин / Kerosene	1 тонна / ton	1,47
Мазут топочный / Fuel oil	1 тонна / ton	1,37
Кизяк / Dung	1 тонна / ton	0,37
Топливо речное бытовое / River jetsam fuel for household use	1 тонна / ton	1,45
Нефть сырая / Crude oil	1 тонна / ton	1,43
Торф кусковой / Lump peat	1 тонна / ton	0,45
Кора / Bark	1 тонна / ton	0,42
Деревоопилки / Wood sawdust	1 тонна / ton	0,36
	1 м ³ / m ³	0,11
Сучья / Branches	1 м ³ / m ³	0,05

Решение:

Кизилюртовский район

2024 год

Газ природный – 85555,2 тыс. куб.м.

Коэффициент – 1тыс. м³ – 1,2

85555,2 × 1,2 = 102666,2 ТУ.Т

Топливопотребление = 102666,2 ТУ.Т

Электропотребление – 56595,3тыс. кВт/ч

Коэффициент – 1000 кВт/ч – 0,12

56595,3×0,12=6791,4 ТУ.Т

Энергопотребление – 102666,2 ТУ.Т + 6791,4 ТУ.Т = 109457,64 ТУ.Т

Численность населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг. приведена в таблице 2.

Динамика численности населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района за исследуемый период наглядно представлена на гистограмме (рис. 3).

Проанализировав рис. 3, можно сделать вывод, что численность города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 года увеличилась соответственно в 1,1 и в 1,8 раз.

Таблица 2. Численность населения города Кизилюрт (А) и Кизилюртовского района (Б) с 2000 по 2024 гг.
Table 2. Population of the city of Kizilyurt (A) and Kizilyurt district (B) from 2000 to 2024

Год Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
А / A	40,9	41,3	41,5	41,3	41,4	42,1	42,6	42,4	42,0	41,2	41,0	47,2	47,7	50,8	51,1	45,9	46,1	46,6	47,1	43,4	43,9	44,3	44,3	44,8	45,6
Б / B	39,3	39,7	41,9	44,1	46,8	48,1	49,4	52,3	53,0	54,1	55,1	68,6	70,6	71,0	71,8	73,2	74,3	76,7	78,9	61,9	63,1	65,1	66,6	67,1	69,0

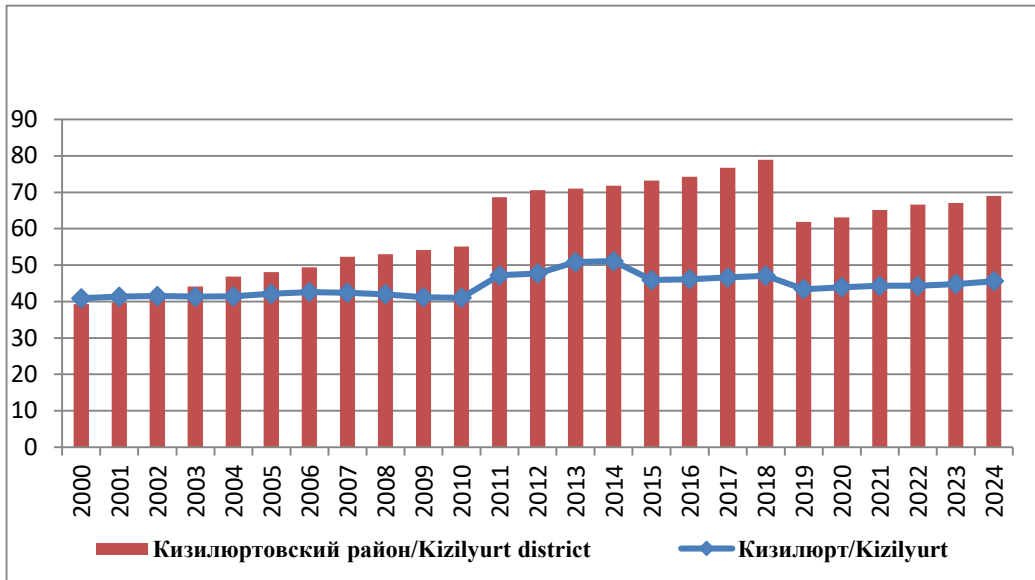


Рисунок 3. Численность населения Кизилюртовского района и города Кизилюрт с 2000 по 2024 гг.
Figure 3. Population of Kizilyurt district and the city of Kizilyurt from 2000 to 2024

С показателями общего количества жителей, плотности, различных видов потребления ресурсов в период с 2000 по 2024 гг. можно ознакомиться в таблице 3.

Согласно полученным и проанализированным данным за период 2000–2024 гг. и сведенным в таблицу

3, были построены графики и диаграммы (рис. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), которые наглядно демонстрируют колебания развития исследуемой территории, при сохранении общей тенденции.

Таблица 3. Общая численность и плотность населения, электропотребление, топливopotребление и энергопотребление в городе Кизилюрт и в Кизилюртовском районе с 2000 по 2024 гг. [10]

Table 3. Total population size and density, electricity consumption, fuel consumption and energy consumption in the city of Kizilyurt and in the Kizilyurtovskiy district from 2000 to 2024 [10]

Годы Years	Населенный пункт Settlement	Общая числен. населения (тыс. чел.) Total population (thousands of people)	Плотность (чел./км²) Density (people/km²)	Электро- потребл. в год (ТУ.Т) Electricity consumption per year (TU.T)	Топливо- потребл. в год (ТУ.Т) Fuel consumption per year (TU.T)	Энергопотр. в год (ТУ.Т) Energy consumption per year (TU.T)
2000	Кизилюрт Kizilyurt	41,0	1730	7316	75600	82916
	Кизилюртовский район Kizilyurtovsky district	54,1	103,2	6677	90733	97410
2005	Кизилюрт Kizilyurt	51,1	2156	7233	71229	78462
	Кизилюртовский район Kizilyurtovsky district	71,8	136,9	7201	115772	122973
2010	Кизилюрт Kizilyurt	43,4	1831,2	8310,8	88790,88	97101,68
	Кизилюртовский район Kizilyurtovsky district	61,9	118,1	5502,6	160680	166182,6
2024	Кизилюрт Kizilyurt	44,8	1890,2	8829,9	95526,5	104356,4
	Кизилюртовский район Kizilyurtovsky district	67,1	128,0	6791,4	102666	109457,4

Примечание / Note: Размер территории всего / Total area size:
Кизилюртовского района – 524,1 км² / Kizilyurt district – 524.1 km²
Города Кизилюрт с поселками – 23, 7 км² / The city of Kizilyurt with villages – 23.7 km²

График «Плотность населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг. показывает повышение плотности жителей. Для г. Кизилюрт данное повышение составило 10 %, для Кизилюртовского

района – 20 %. Одновременно растет и плотность населения. Это значение повысилось с 44,5 чел. на км² в 2000 году до 55,9 чел. на км² в 2024.

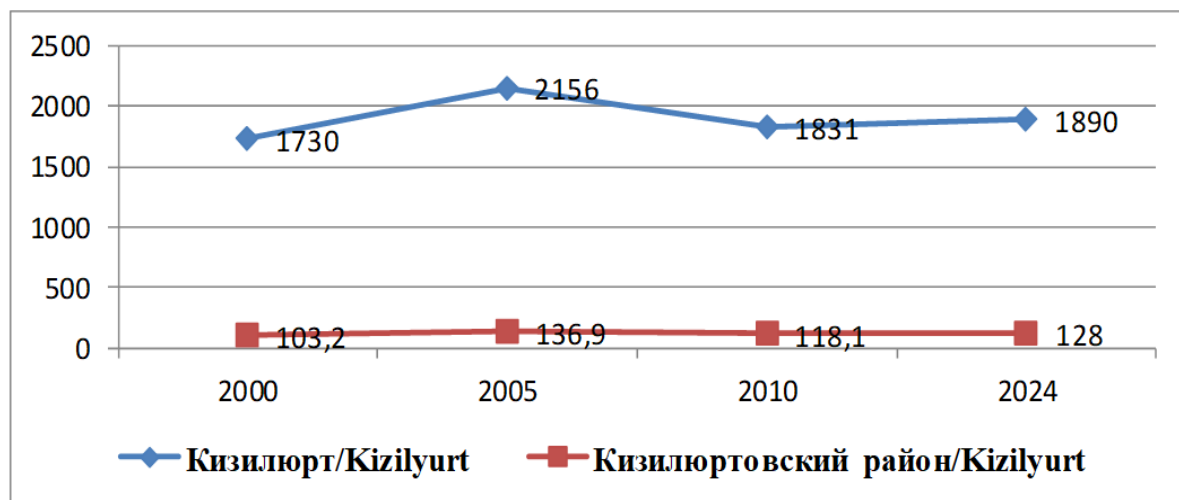


Рисунок 4. Плотность населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.

Figure 4. Population density of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district from 2000 to 2024

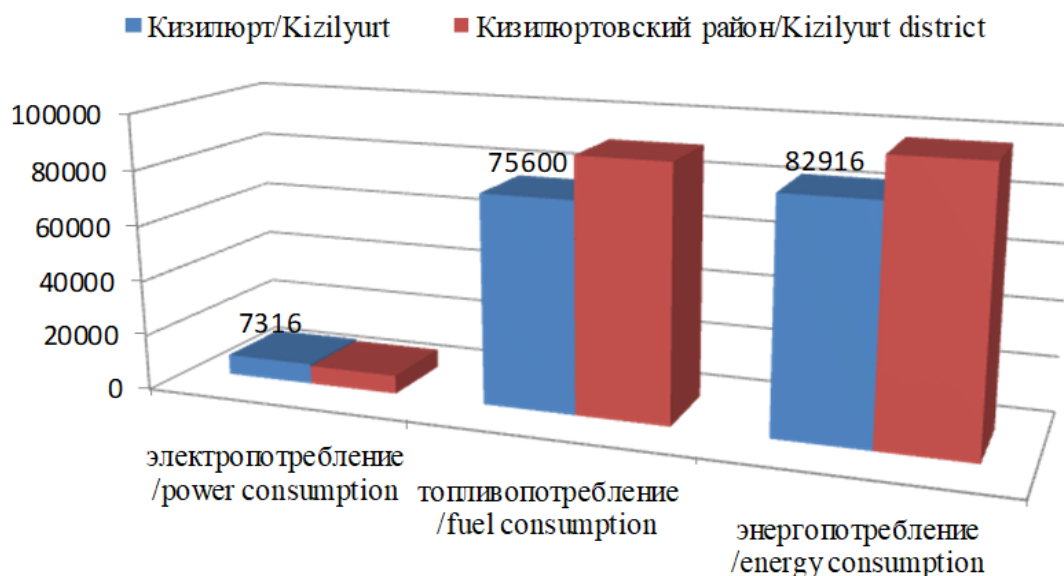


Рисунок 5. Общее электро-, топливо- и энергопотребление (ТУ.Т) города Кизилюрт и Кизилюртовского района за 2000 год

Figure 5. Total electricity, fuel and energy consumption (TU.T) of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district for 2000

В общем объеме энергопотребления в 2000 году в городе Кизилюрт большую роль играет топливопотребление (91,2 %), а на долю электропотребления приходится 8,8 %. В Кизилюртовском районе соответственно 93,2 и 6,8 %.

В общем объеме энергопотребления в 2024 году основную роль сохраняет топливопотребление (91,5 %), а на долю электропотребления приходится всего 8,5 % в городе Кизилюрт, а в Кизилюртовском районе 93,8 и 6,2 %.

Электропотребление населением города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.

варьирует. Значения энергопотребления незначительно снижается к 2005 году и увеличивается до 2024 года.

Построенные графики наглядно демонстрируют рост топливопотребления населением, как города Кизилюрта, так и Кизилюртовского района, которое за исследуемый период увеличилось в 1,3 раз в городе и в 1,1 раз в районе (рис. 8).

Заключительный рисунок 9 демонстрирует общее энергопотребление (электро- и топливопотребление), которое увеличилось за исследуемый промежуток в 1,3 раз в городе Кизилюрт и 1,1 раз в Кизилюртовском районе.

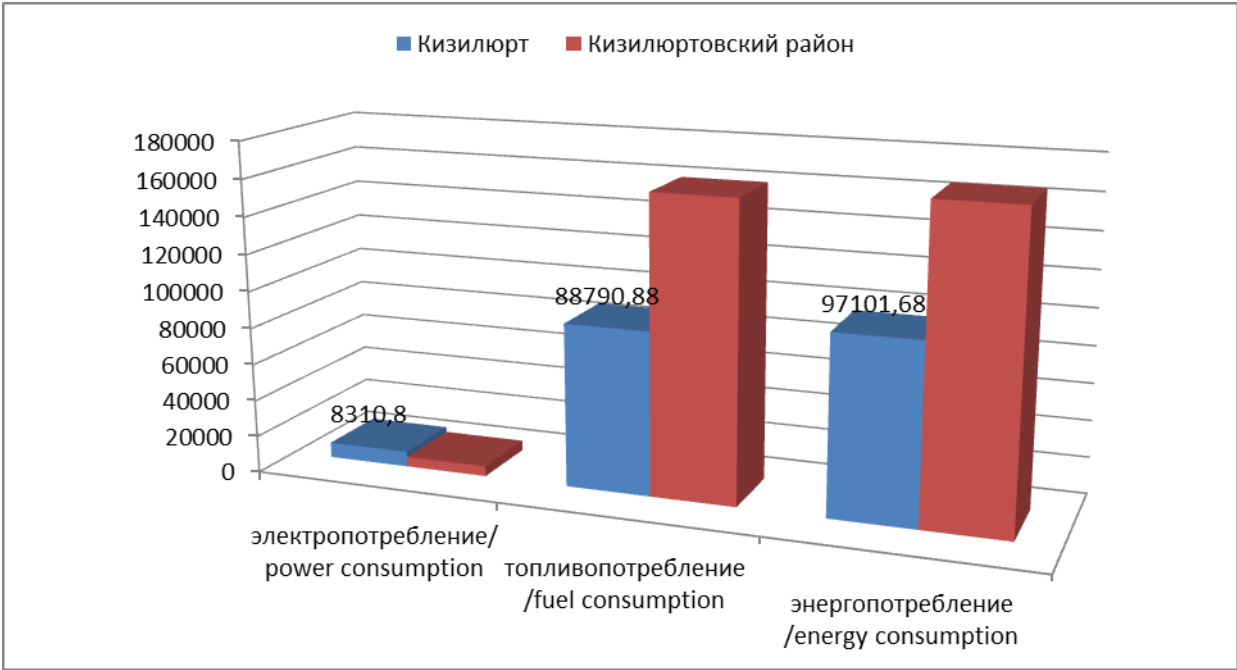


Рисунок 6. Общее электро-, топливо- и энергопотребление города Кизилюрт и Кизилюртовского района за 2024 год
Figure 6. Total electricity, fuel and energy consumption of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district for 2024

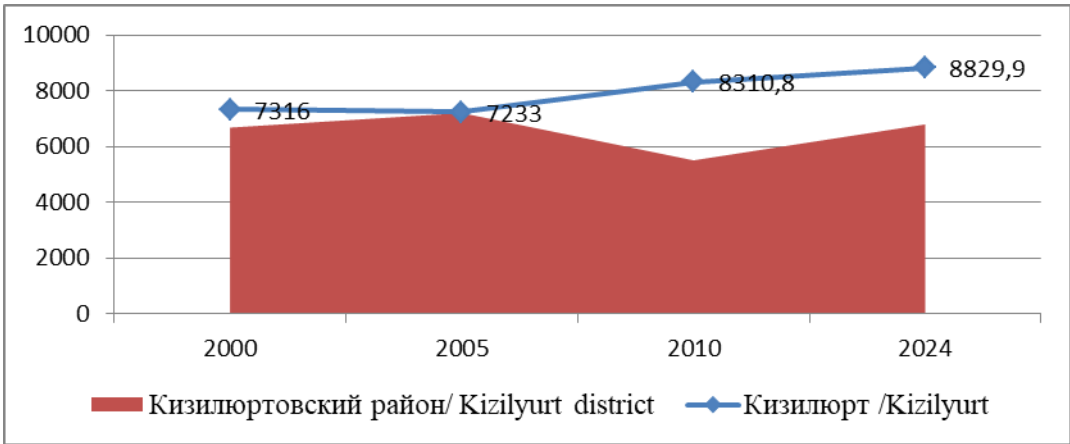


Рисунок 7. Общее электропотребление населением города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.
Figure 7. Total electricity consumption by the population of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district from 2000 to 2024

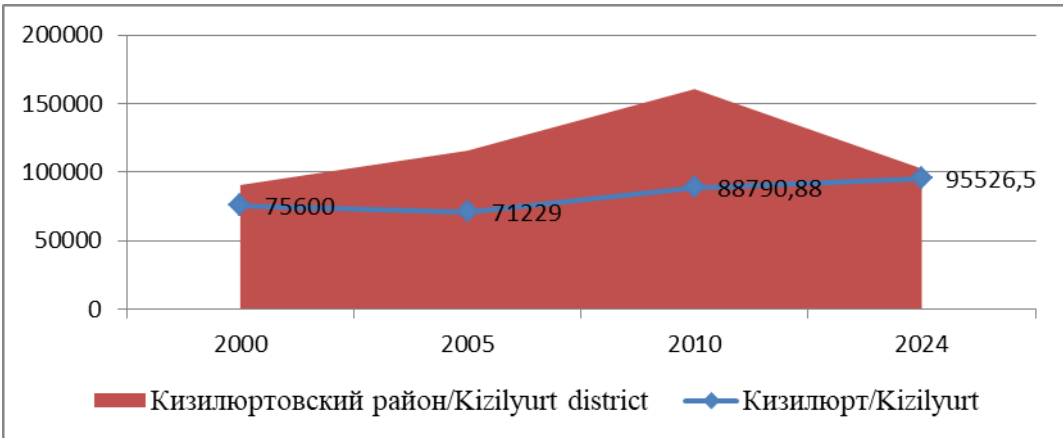


Рисунок 8. Общее топливопотребление населением города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.
Figure 8. Total fuel consumption by the population of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district from 2000 to 2024

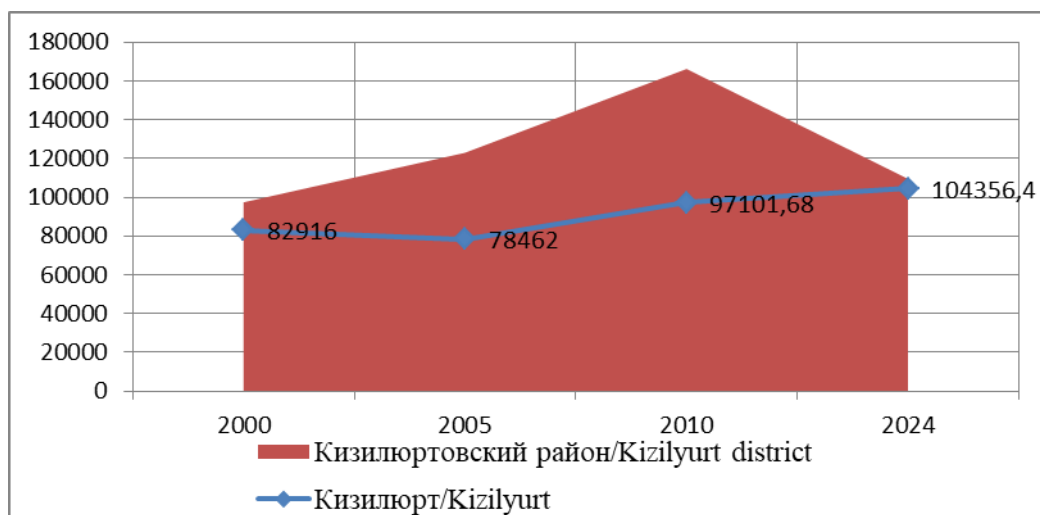


Рисунок 9. Общее энергопотребление населением города Кизилйурт и Кизилйуртовского района с 2000 по 2024 гг.
Figure 9. Total energy consumption by the population of the city of Kizilyurt and Kizilyurt district from 2000 to 2024

Оценка экологической емкости среды

Для расчета экологической емкости среды Кизилйуртовского района необходимо рассчитать данные энергетики экосистем для интервалов высот от 50 до 500 метров.

В рассматриваемом районе расположен гидропост Миатлы на р. Сулак. Значение высоты данного сооружения составляет 100 м.

1. Справочная годовая сумма радиации:

$$Q = 119 \text{ ккал}/(\text{см}^2\text{год}) \times 4,1868 \times 10^{10} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}) = 4,7 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}).$$

2. Сумма суммарной радиации за безморозный:

$$Q' = 0,66 \times 5,0 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}) = 3,3 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}).$$

3. Сумма фотосинтетически активной радиации за безморозный период:

$$\text{ФАР}' = 0,52 \times 3,3 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}) = 1,7 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год}).$$

4. Расчетная потенциальная продуктивность экосистем в абсолютно сухой биомассе равна (ф. 15):

$$P^+_{\text{э}} = \frac{0,01 \times 1,7 \times 10^{12} (\text{кДж} / \text{км}^2 \text{год})}{19 \times 10^6 (\text{кДж} / \text{т})} \text{ т} / \text{км}^2 = 894,7 \text{ т} / \text{км}^2$$

Вычисление экоемкости Кизилйуртовского района

Метод 1. По мощности фотосинтеза

Вычисление экоемкости экосистем (P_V) по мощности фотосинтеза:

1. Удельная мощность (плотность) солнечной радиации

$$I_0 = 155 \times 10^3 \text{ кВт}/\text{км}^2;$$

2. Показатель фотосинтетически радиации

$$I_{\text{ФАР}} = 0,52 \cdot 155 \cdot 10^3 \text{ кВт}/\text{км}^2 = 80,6 \times 10^3 \text{ кВт}/\text{км}^2;$$

3. Мощность фотосинтеза по обозначенному значению КПД в 1 %

$$I_{\text{ф}} = 0,01 \cdot 80,6 \cdot 10^3 = 806 \text{ кВт}/\text{км}^2;$$

4. Экоемкость экосистем в рассматриваемых широтах (ф.1)

$$P_V = 0,03 \cdot 806 \text{ кВт}/\text{км}^2 = 24,2 \text{ кВт}/\text{км}^2;$$

5. Нормативы плотности жителей (ф.2)

$$^{\circ}n = 24,2 / 1,14 = 21,2 \text{ чел}/\text{км}^2.$$

Метод 2. По энергипотенциалу первичной продуктивности (P_V).

Общий показатель радиации за безморозный период: $3,3 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год})$.

ФАР' $1,7 \times 10^{12} \text{ кДж}/(\text{км}^2\text{год})$, потенциальная продуктивность – $894,7 \text{ т}/\text{км}^2\text{год}$.

1. Экологическая емкость:

(P_V) = $3000 \text{ ккал}/\text{чел}$ или $12,56 \cdot 10^3 \text{ кДж}/\text{сутки}$ на одного человека = $243 \text{ кг}/\text{год}$ или $4,6 \cdot 10^6 \text{ кДж}/\text{год}$ х 10.

$$P_V = 0,01 \cdot D^2 = 0,01 \cdot 894,7 = 8,95 \text{ т}/\text{км}^2\text{год}.$$

2. Нормативы плотность людей для

стабильного биологического сегмента

$$^{\circ}n = 8,95 / 0,243 = 36,8 \text{ чел}/\text{км}^2.$$

Итоги вычислений наталкивают на интересное умозаключение. Фактическая плотность больше норматива за временной промежуток 2000–2024 гг.

Фактическое антропогенное воздействие (P_a)

При вычислении данного показателя используется несколько сопутствующих значений. Они следующие:

S – площадь, км^2 ;

n и N – плотность (чел/ км^2) и количество жителей (чел);

P_0 – мощность прямого антропогенного потребления биопродукции, $1,14 \text{ кВт}/\text{чел}$;

P_3 – мощность энергопотребления на 1 представителя *Homo sapiens* (в соответствии со статистическими выкладками), $\text{кВт}/\text{чел}$.

Мощность энергопотребления на 1 чел. (P_e):

Для идентификации показателя на 1 чел (P_e) требуется преобразовать общее потребление энергии по территориальному образованию из тонн усл. топлива в значение мощности потребления данного вида ресурсов на 1 чел. (1 ТУ.Т = $8150 \text{ кВт}/\text{час}$).

2000 г.

Кизилйурт

$$(^{\circ}P_e) = 82916 \text{ ТУ.Т} \times 8150 \text{ кВт} \times \text{час} : 3600 \text{ сек} : 41000 = 4,6 \text{ кВт}/\text{чел}$$

Кизилйуртовский район

$$(^{\circ}P_e) = 97410 \text{ ТУ.Т} \times 8150 \text{ кВт} \times \text{час} : 3600 \text{ сек} : 54100 = 4,1 \text{ кВт}/\text{чел}$$

2024 г.
Кизилюрт
 $(Pe) = 104356,4 \text{ ТУ} \cdot \text{Т} \times 8150 \text{ кВт} \cdot \text{час} : 3600 \text{ сек} : 44800 = 5,3 \text{ кВт/чел}$
Кизилюртовский район
 $(Pe) = 109457,4 \text{ ТУ} \cdot \text{Т} \times 8150 \text{ кВт} \cdot \text{час} : 3600 \text{ сек} : 67100 = 3,7$

кВт/чел
С показателями потребления энергии на 1 чел. рассматриваемого города и района можно ознакомиться в таблице 4.
По данным таблицы 4 построен график (рис. 10).

Таблица 4. Мощность энергопотребления на душу населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.

$P_e(\text{кВт/чел}) / P_e(\text{kW/person})$	2000 год / year	2024 год / year
Кизилюрт / Kizilyurt	4,6	5,3
Кизилюртовский район / Kizilyurtovsky district	4,1	3,7

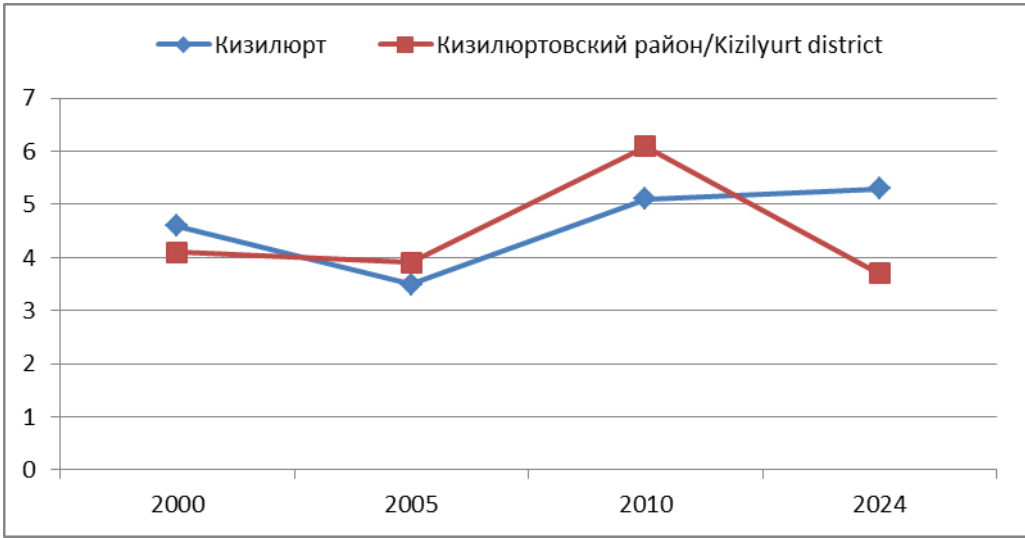


Рисунок 10. Мощность энергопотребления на душу населения города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.
Figure 10. Energy consumption per capita in the city of Kizilyurt and Kizilyurt district from 2000 to 2024

Мощность энергопотребления на 1 чел. повысилась в периоде с 2000 по 2024 гг. Для рассматриваемого города увеличение составляет 20 %, а для района – 50 %.

Со спецификой антропогенной нагрузки 2000–2024 гг. можно ознакомиться на рис. 11.

Антропогенная нагрузка

Это интегральное значение, которое предусматривает общее количество видов влияния на экосистемы. Оно указывает на определенные деструкции в естественных векторах вещества и энергии [5].

2000 г.
Кизилюрт
 $(P_a^-) = 1730 (1,14 + 4,6) \text{ кВт/км}^2 = 9930,2 \text{ кВт/км}^2$
Кизилюртовский район
 $(P_a^-) = 103,2 (1,14 + 4,1) \text{ кВт/км}^2 = 540,8 \text{ кВт/км}^2$

Оценку плотности мощности антропогенной нагрузки на всю исследуемую территорию [4]
2000 г.
Кизилюрт
 $D_s = 9930,2 \text{ кВт/км}^2 \times 23,7 \text{ км}^2 = 235345,74 \text{ кВт}$
Кизилюртовский район
 $D_s = 540,8 \text{ кВт/км}^2 \times 524,1 \text{ км}^2 = 304397,28 \text{ кВт}$
2024 г.
Кизилюрт
 $D_s = 12172,9 \text{ кВт/км}^2 \times 23,7 \text{ км}^2 = 288497,7 \text{ кВт}$
Кизилюртовский район
 $D_s = 619,5 \text{ кВт/км}^2 \times 524,1 \text{ км}^2 = 324679,9 \text{ кВт}$

2024 г.
Кизилюрт
 $(P_a^-) = 1890,2 (1,14 + 5,3) \text{ кВт/км}^2 = 12172,9 \text{ кВт/км}^2$
Кизилюртовский район
 $(P_a^-) = 128,0 (1,14 + 3,7) \text{ кВт/км}^2 = 619,5 \text{ кВт/км}^2$

Плотность мощности антропогенной нагрузки на всю исследуемую территорию города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг. увеличилась в 1,2 раз.

(I^{sd})
Данное значение демонстрирует, насколько воздействие больше, чем принятые нормативы. Если

развитие является стабильным, то данное значение не превышает 1. И наоборот, на нестабильное развитие указывает значение больше 1.

Индексация антропогенной нагрузки на экосистемы реализуется как соотношение мощности действующего воздействия к экологической емкости экосистем [5]:

2000 г.

Кизилюрт

$$9930,2 / 36,8 = 269,8$$

Кизилюртовский район

$$540,8 / 36,8 = 15,0$$

2024 г.

Кизилюрт

$$12172,9 / 36,8 = 330,8$$

Кизилюртовский район

$$619,5 / 36,8 = 16,8$$



Рисунок 11. Плотность мощности антропогенной нагрузки на экосистемы города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг.

Figure 11. Density of anthropogenic load on the ecosystems of the city of Kizilyurt and the Kizilyurt district from 2000 to 2024

Индекс устойчивости города Кизилюрт и Кизилюртовского района с 2000 по 2024 гг. значительно выше нормы. Мы в городе Кизилюрт наблюдаем предельно высокую неустойчивость, в сотни раз превышающую норму. В Кизилюртовском районе значение неустойчивости превышает норму десятки раз, с 15 кВт/км² в 2000 году до 23,2 кВт/км² в 2010. К 2024 году индекс антропогенной нагрузки на экосистемы Кизилюртовского района немного уменьшилась.

Сравним по индексу устойчивости города Кизилюрт и Кизилюртовского района со среднереспубликанской величиной (11,15 кВт/км²) [7; 9].

I_N – коэффициент относительного антропогенного давления

2000 г.

Кизилюрт

$$I_N = 269,8 \text{ кВт/км}^2 / 11,15 \text{ кВт/км}^2 = 24,1 \text{ кВт/км}^2.$$

Кизилюртовский район

$$I_N = 15,0 \text{ кВт/км}^2 / 11,15 \text{ кВт/км}^2 = 1,3 \text{ кВт/км}^2.$$

2024 г.

Кизилюрт

$$I_N = 330,8 \text{ кВт/км}^2 / 11,15 \text{ кВт/км}^2 = 29,7 \text{ кВт/км}^2.$$

Кизилюртовский район

$$I_N = 16,8 \text{ кВт/км}^2 / 11,15 \text{ кВт/км}^2 = 1,5 \text{ кВт/км}^2.$$

Как видим, по этому показателю по обеим датам в городе Кизилюрт и в Кизилюртовском районе

значения индекса устойчивости существенно выше среднереспубликанского показателя.

Оценка устойчивости экосистем

По результатам исследования построены модели устойчивости экосистем Кизилюртовского района 2024 г.

Решение:

- 1) $I_0 = 155 \times 10^3 \text{ кВт/км}^2$
- 2) $P^+ = 155 \times 10^3 \times 5,2 \times 10^{-3} = 806$
- 3) $G^- = 155 \times 10^3 \times 5,148 \times 10^{-3} = 797,9$
- 4) $F^+ = 155 \times 10^3 \times 0,9948 = 154194$
- 5) $P_b^- = 155 \times 10^3 \times 5,2 \times 10^{-5} = 8,1$
- 6) $P_f^- = 155 \times 10^3 \times 1,04 \times 10^{-4} = 16,12$
- 7) $155 \times 10^3 \times 5,148 \times 10^{-3} = 797,94$
- 8) $P_A^- = 155 \times 10^3 \times 5,2 \times 10^{-5} = 8,1$
- 9) $P_A^- = 155 \times 10^3 \times 1,04 \times 10^{-4} = 16,1$
- 10) $P^- = 155 \times 10^3 \times 5,2 \times 10^{-5} = 8,06$
- 11) $A = 155 \times 10^3 \times 0,994696 = 154177,88$
- 12) $A = 155 \times 10^3 \times 1,04 \times 10^{-4} = 16,12$
- 13) $A = 155 \times 10^3 \times 5,2 \times 10^{-3} = 806$
- 14) $A = 155 \times 10^3 \times 0,9948 = 154194$
- 15) $E_t = 109457,4 \text{ ТУТ}$
- 16) $E_t = 109457,4 / 0,12 = 912145 \text{ кВт/час}$
- 17) $155 \times 10^3 \text{ кВт/км}^2$

По результатам исследования построены модели устойчивости экосистем Кизилюртовского района 2024 года.

Сопоставление системы взаимодействий в

естественных и возмущенных экосистемах рассматриваемого города и района наталкивает на ряд умозаключений. По итогам исследования выделим несколько особенностей:

1. Для моделей характерно 2 входа (I_0 и E_7), а после внутренних изменений осуществляется один выход в атмосферу. Он реализуется в форме тепловой энергии.

2. Если детально рассматривать первую модель, то общее потребление энергии (P_a^-) находится в пределах объема экосистем. Энергетические векторы в рамках системы не выходят за рамки установленных нормативов.

3. Если детально рассматривать вторую модель, то общая энергия биологического

использования (P_b^-) и внебиосферных ресурсов (E_7) значительно больше экологического объема экосистем.

4. Интересная особенность прослеживается на выходе из системы. Здесь общая энергия выше показателя, который существует на входе (мощность общей радиации).

В итоге, вычисления по 3-м схемам консолидированы, что указывает на превышение максимального воздействия на 20 % по рассматриваемому городу и району. Инструмент идентификации антропогенных и техногенных воздействий на экосистемы за счет энерго-демографического показателя стабильности не является достаточно эффективным.

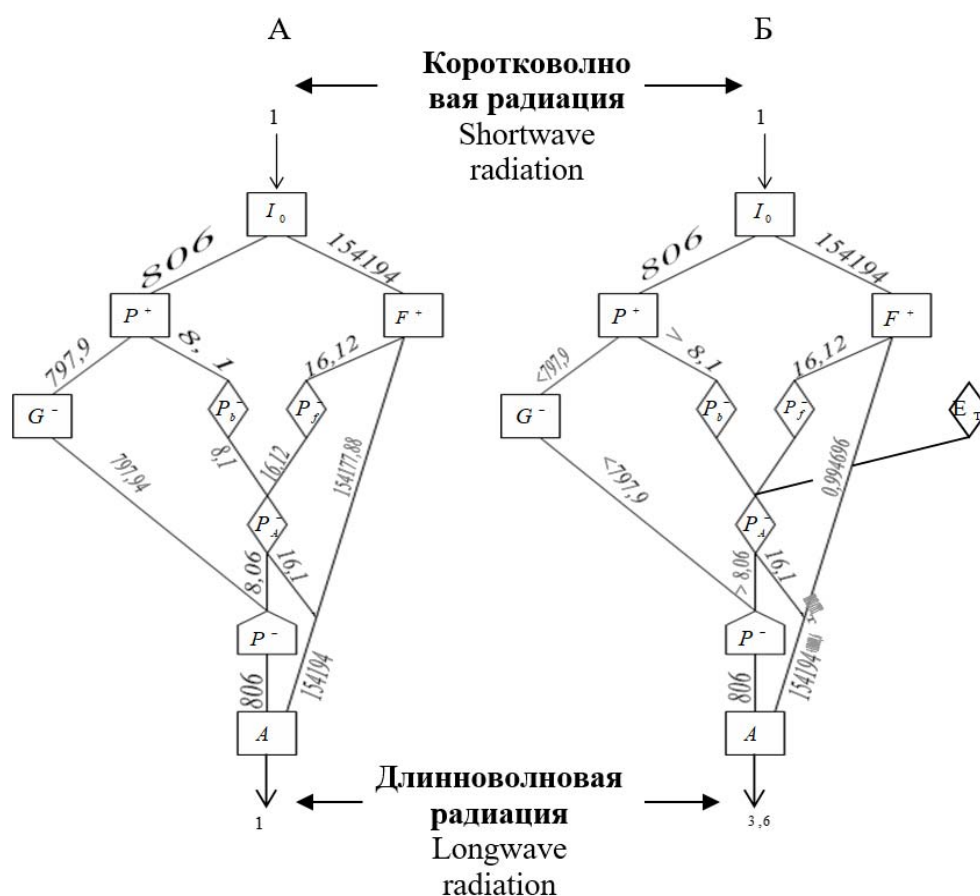


Рисунок 12. Модель функционирования экосистем Кизилюртовского района в естественных (а) и возмущенных экосистемах (б) в 2024 году

Figure 12. Model of ecosystem functioning in Kizilyurt district in natural (a) and disturbed ecosystems (b) in 2024

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация эффективной региональной экономической политики предполагает обеспечение инновационной модернизации всего промышленного комплекса региона как единого целого, с учетом характерных региональных особенностей, будет способствовать сбалансированному и устойчивому развитию территории, а также более полному использованию географического фактора. В современных геополитических условиях санкционных ограничений конкурентные преимущества региона в большей степени определяются способностью к активному созданию и внедрению импортозамещающих технологий и производств с целью осуществления технологического «рывка», в котором важную роль,

основываясь на опыте наиболее развитых регионов и государств мира, должна сыграть эффективная интеграция расположенных в регионе промышленных предприятий, но с обязательным учетом экологических факторов (антропогенной нагрузки на экосистемы), которые вносят серьезные ограничения достижения целей устойчивого развития.

В итоге, для получения объективных результатов при установлении антропогенного воздействия определенного территориального образования на биологический сегмент требуется рассматривать возможности биологической продуктивности и количество местных жителей [9]. При преодолении обозначенной сложности целесообразно использовать 2 метода. Первый из них основан на объединении

значения по природным зонам территориального образования. Второй вариант базируется на идентификации антропогенного воздействия касаясь объема среды по зонам с дальнейшим совмещением по территориальному образованию. Он выступает в качестве более эффективного способа преодоления фундаментальных сложностей приведения в норму экологической обстановки в районе и получения антропогенного воздействия, соответствующего общепринятым нормативам [11].

Основной целью социально-экономической политики любой территории должен стать переход на траекторию стабильного позитивного развития по основным параметрам социального, экономического и экологического характера [12]. Ситуационный анализ данных полученной модели от муниципального до республиканского уровня организации геосистем включает в себя следующие этапы: мощность и энергия геосистем, экологическая емкость, антропогенная нагрузка, мера устойчивости, модель потоков энергии в устойчивых и искаженных геосистемах, механизмы восстановления устойчивости геосистем через рентные платежи. Все этапы оценок пронизывает сквозная идея – энерго-демографический подход системного моделирования геосистем [5]. Такой подход реализует известную идею В.И. Вернадского о необходимости выбора единой системы единиц соизмерения производительных и природных потенциалов на энергетической основе, поскольку количественные оценки любых процессов и потоков в материальных системах имеют энергетическое выражение. Вместе с тем демографический фактор, т.е. плотность и численность населения, является регулятором материальных потоков в энергетическом соизмерении в системе «человек – природа», а также мерой оценки устойчивости этого взаимодействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Вернадский В.И. Химическое строение Биосферы Земли и ее окружения. Москва: Наука, 2001. 376 стр.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Москва: Юнити, 2001. 566 с.
- Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва: ВИНТИ, 1995. 472 с.
- Поздняков Д.В., Тикун В.С., Федотов А.П. Разработка и картографирование интегральных показателей устойчивого развития стран мира // Вестник Московского Университета. Сер. 5. География. 2003. N 2. С. 19–29.
- Ахмедова Л.Ш., Гасанов Ш.Ш. Биоразнообразие и устойчивость экосистем. Махачкала: Изд-во «АЛЕФ», 2015. 210 с.
- Одум Ю. Основы экологии/пер. с англ. Москва, 1975. 740 с.
- Ахмедова Л.Ш., Раджабова Р.Т., Гусейнова Н.О., Курамагомедов Б.К. Геоэкологическая оценка устойчивого развития Республики Дагестан с использованием нормирования антропогенной нагрузки // Юг России: экология, развитие. 2015. Т. 10. N 1. С. 177–184. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-1-177-184>
- Карта Кизилюртовского района. URL: https://mapfx.org/гул_карта_кизилюртовский_район.html (дата обращения: 23.11.2024)
- Идзиев Г.И., Ахмедова Л.Ш., Атаев З.В., Бекшокова П.М. Новая региональная промышленная политика и проблемы экологии // Юг России: экология, развитие. 2023. N 3. С. 161–169. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-161-169>
- Сборник ЦСУ по РД Госкомстата «Социально – экономическое положение Республики Дагестан (Январь – декабрь 2000–2024 гг.)».
- Раджабова Р.Т., Ахмедова Л.Ш. Оценка природно-антропогенного воздействия на эко- и геосистемы зоны водохранилища Ирганайской ГЭС по данным дистанционного зондирования // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. N 3. С. 193–203. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-19>
- Исмиханов З.Н., Абдурахманов Г.М., Гаджиев А.А., Даудова М.Г., Раджабова Р.Т., Теймуров А.А., Иванушенко Ю.Ю. Моделирование параметров социо-эколого-экономического устойчивого развития территории (на примере Унцукульского района Республики Дагестан) // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13. N 1. С. 9–20. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-9-20>

REFERENCES

- Vernadsky V.I. *Khimicheskoe stroenie Biosfery Zemli i ee okruzeniya* [Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment]. Moscow, Nauka Publ., 2001, 376 p. (In Russian)
- Akimova T.A., Khaskin V.V. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, Unity Publ., 2001, 566 p. (In Russian)
- Gorshkov V.G. *Fizicheskie i biologicheskie osnovy ustoichivosti zhizni* [Physical and biological foundations of life sustainability]. Moscow, VINITI Publ., 1995, 472 p. (In Russian)
- Pozdnyakov D.V., Tikunov V.S., Fedotov A.P. Development and mapping of integrated indicators of sustainable development of countries of the world. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography]. 2003, no. 2, pp. 19–29. (In Russian)
- Akhmedova L.Sh., Gasanov Sh.Sh. *Bioraznoobrazie i ustoichivost' ehkositsem* [Biodiversity and sustainability of ecosystems]. Makhachkala, ALEF Publ., 2015, 210 p. (In Russian)
- Odum Yu. *Osnovy ehkologii* [Fundamentals of ecology]. Moscow, 1975, 740 p. (In Russian)
- Akhmedova L.S., Radzhabova R.T., Guseynova N.O., Kuramagomedov B.M. Geoeological evaluation of sustainable development of the Republic of Dagestan and normalizing the anthropogenic burden. *South of Russia: ecology, development*, 2015, vol. 10, no. 1, pp. 177–184. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-1-177-184>
- Karta Kizilyurtovskogo raiona* [Map of Kizilyurt district]. Available at: https://mapfx.org/гул_карта_кизилюртовский_район.html (accessed 23.11.2024)
- Idziev G.I., Akhmedova L.Sh., Bekshokova P.A., Ataev Z.V. New regional industrial policy and environmental problems. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 161–169. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-161-169>
- Sbornik TSSU po RD Goskomstata «Sotsial'no – ehkonomicheskoe polozhenie Respubliki Dagestan (Yanvar' – dekabr' 2000–2024 gg.)»* [Collection of the Central Statistical Office of the Republic of Dagestan of the State

Statistics Committee "Socio-economic situation of the Republic of Dagestan (January – December 2000–2024)". (In Russian)

11. Radzhabova R.T., Akhmedova L.Sh. Assessment of natural and anthropogenic impacts of the Irganay Hydroelectric Power Station reservoir zone on eco- and geosystems using remote sensing data, Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2024, vol. 19, no. 3, pp. 193–203. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2024-3-19>

12. Ismikhhanov Z.N., Abdurakhmanov G.M., Gadzhiev A.A., Daudova M.G., Radzhabova R.T., Teymurov A.A., Ivanushenko Yu.Yu. Modeling the parameters of socio-ecological and economic sustainable development of the territory (on the example of the Untsukulsky District of the Republic of Dagestan). *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 1, pp. 9–20. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-1-9-20>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Лейла Ш. Ахмедова провела статистическую обработку. Гаджимурад И. Идзиев редактировал рукопись до подачи в редакцию. Раисат Р. Раджабова, собрала и обработала материал. Зарима И. Солтанмурадова предложила концепцию и дизайн 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

Leyla Sh. Akhmedova undertook statistical processing. Gadzhimurad I. Idziev edited the manuscript before submitting it to the Editor. Raisat R. Radzhabova collected and processed the material. Zarima I. Soltanmuradova proposed the concept and design of the study. 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

Лейла Ш. Ахмедова / Leyla Sh. Akhmedova <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>

Зарима И. Солтанмурадова / Zarima I. Soltanmuradova <https://orcid.org/0000-0032-3018-9097>

Гаджимурад И. Идзиев / Gadzhimurad I. Idziev <https://orcid.org/0000-0002-0109-3048>

Раисат Р. Раджабова / Raisat R. Radzhabova <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>

Оригинальная статья / Original article
УДК 910
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-12



Процессы урбанизации в зоне проекта «Один пояс – один путь»

Наталья Р. Зангеева, Валентин С. Батомункуев

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия

Контактное лицо

Наталья Р. Зангеева, к.г.н., научный сотрудник
Байкальского института природопользования
СО РАН; 670047 Россия, г. Улан-Удэ,
ул. Сахьяновой, 8.
Тел. +79025425948
Email zangeeva@binm.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9365-4190>

Формат цитирования

Зангеева Н.Р., Батомункуев В.С. Процессы
урбанизации в зоне проекта «Один пояс – один
путь» // Юг России: экология, развитие. 2025.
Т. 20, N 1. С. 132-144. DOI: 10.18470/1992-1098-
2025-1-12

Получена 9 сентября 2024 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Реализация международного проекта «Один пояс – один путь», инициированного китайским руководством в 2013 году, безусловно, будет иметь глобальный геоэкономический эффект. Цель данной статьи заключается в анализе процессов урбанизации на территории стран-участников проекта «Один пояс – один путь», расположенного на маршрутах великого Шелкового и Чайного пути. В своем исследовании на основе литературных источников и путем обобщения результатов космоснимков были рассмотрены темпы развития процессов урбанизации на примере столиц, городов стран-участников Пекин (КНР), Астана (Казахстан), Улан-Батор (Монголия), а также г. Улан-Удэ (Россия). Выбор городов обусловлен попыткой провести временной срез динамики пространственного развития разных по численности и уровню развития городов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что процессы урбанизации имеют общие черты, отвечающие современным тенденциям и основным историческим этапам развития экономики. В тоже время имеются существенные различия в динамике развития, обусловленные социально-экономическими, политическими, а также историко-географическими факторами. По мнению авторов, в развитии процессов урбанизации с учетом глобальных вызовов, необходимо оптимально учитывать индивидуально-географические особенности регионов, а также национальные и международно-геополитические интересы.

Ключевые слова

Урбанизация, проект «Один пояс – один путь», трансформация, пространственное развитие.

Urbanization processes in the area of the One Belt One Road project

Natalia R. Zangeeva and Valentin S. Batomunkuev

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia

Principal contact

Natalia R. Zangeeva, Ph.D., Researcher, Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences; 8 Sakhyanova St, Ulan-Ude, Russia 670047.

Tel. +79025425948

Email zangeeva@binm.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9365-4190>

How to cite this article

Zangeeva N.R., Batomunkuev V.S. Urbanization processes in the area of the One Belt One Road project. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):132-144. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-12

Received 9 September 2024

Revised 14 December 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The implementation of the international One Belt – One Road project, initiated by the Chinese leadership in 2013, will certainly have a global geoeconomic effect. The purpose of this article is to analyse urbanisation processes in the participating countries located on the routes of the great Silk Road and Tea Road. In the study, based on literary sources and by generalizing the results of satellite imagery, rates of development of urbanisation processes were considered using as examples the capital cities of the participating countries: Beijing (Peoples Republic of China), Astana (Kazakhstan), Ulaanbaatar (Mongolia) and Ulan-Ude (Russia). The choice of cities is an attempt to conduct a time slice of the dynamics of urban spatial development of cities with differing populations and levels of development.

The results obtained indicate that urbanisation processes have common features that meet modern trends and the main historical stages of economic development. At the same time, there are significant differences in the dynamics of development due to socio-economic, political, and historical-geographical factors. In the development of urbanisation processes, taking into account global challenges, it is necessary to take into account the individual regional geographic features, as well as national and international geopolitical interests.

Key Words

Urbanization, Belt and Road Initiative, transformation, spatial development.

ВВЕДЕНИЕ

Современные геополитические процессы, происходящие в мире, в том числе, в зоне влияния проекта «Один пояс – один путь», расположенного на маршрутах Великого Шелкового и Чайного пути, сопровождаются трансформацией экономики и общества [1]. Россия, Казахстан, Монголия являются важными геостратегическими партнерами Китая в создании Нового Шёлкового пути. По территории, рассматриваемых стран-участниц проходят основные коридоры сухопутного пути Экономический коридор Китай – Монголия – Россия; Новый евразийский сухопутный мост; Экономический коридор Китай – Центральная Азия – Западная Азия.

Ключевыми звеньями в реализации международного проекта являются города, расположенные на пути следования, которые исторически занимают стратегически важное географическое положение. Реализация такого глобального интеграционного проекта создаст мощный мультипликативный эффект в социально-экономическом развитии Азиатско-Тихоокеанского региона. В тоже время согласно теории планетарной урбанизации, Н. Бреннера [2] это создаст большой импульс в развитии глобальных урбанизационных процессов, которые по своему масштабу можно будет назвать Великой азиатской урбанизацией.

Цель данного исследования является рассмотрение процессов урбанизации в зоне Экономического коридора «Один пояс – один путь», на примере городов стран-участников: Пекин (КНР), Астана (Казахстан), Улан-Батор (Монголия) и Улан-Удэ (Россия).

Новизной исследования является пространственно-временной анализ разных по численности и уровню развития городов, относящихся к зоне влияния международного проекта «Один пояс – один путь».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретико-методологической основой исследования являются результаты российских и зарубежных исследований, посвященные тенденциям развития процесса урбанизации, а также аспектам реализации международного проекта «Один пояс – один путь» (В.В. Владимирова, Н.В. Воробьева, Н. Бреннера, Н. Галиймаа, Т.Г. Нефедовой, С.А. Панарина, Сун И Мина, Ж. Тореза, А.И. Трейвиша, Э. Шаца, Юань Ли, Янксиан Ли и др).

Для пространственного отображения темпа роста городов: Пекин (КНР), Астана (Казахстан), Улан-Батор (Монголия) и Улан-Удэ (Россия) в работе использовались снимки Google Earth Engine с 1989 по 2022 гг. Полученные результаты сопоставлялись со статистическими данными территорий городов, динамикой изменения численности населения, а также с другими социально-экономическими показателями и стратегическими приоритетами их развития.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К началу XX века Россия, Монголия, Казахстан и КНР находились на низком уровне развития урбанизации. В отличие от развитых стран запада процессы урбанизации в этих странах носили догоняющий характер и были связаны с основными экономическими этапами: индустриализацией, рыночной экономикой,

глобализацией и современным информационным развитием [3–10].

Для России, Казахстана и Монголии интенсивным периодом развития и роста городов является период советской индустриализации (1920–1980-е гг.). В 1990-е годы в связи с распадом СССР, процесс урбанизации в этих странах не был до конца завершен. Из-за несовершенства сложившейся экономической системы, период рыночных реформ стал для них кризисным [4; 7; 11].

Негативными факторами послужило, во-первых, утрата межрегиональных связей. В результате чего узкоспециализированные, отдаленные регионы и города утратили свою значимость в территориальной организации хозяйства, превратившись в дотационные регионы. Многие малые города и деревни пришли к вымиранию. В то же время более крупные, как правило, столичные и региональные центры в силу своей многофункциональности наоборот подверглись интенсивному агломерационному развитию [3; 4; 6].

Во-вторых, экстенсивное индустриальное строительство, заключавшееся в создании большой сети монопрофильных городов, путем переселения преимущественно сельского населения, в условиях рынка показало свою неустойчивость, вследствие чего во многих регионах отмечались процессы дезурбанизации.

В-третьих, выход из состава СССР союзных республик, в частности республики Казахстан, повлекло за собой интенсивный миграционный отток городского населения, что также негативно отразилось на процессах урбанизационного развития [6].

В отличие от России, Казахстана и Монголии урбанизация в КНР имела свои специфические особенности. Началом урбанизации также послужило эффективное индустриальное строительство страны, после провозглашения Китайской Народной Республики (1949 г.). По данным статистики в этот период в городах проживало лишь 10.6 % населения, однако по абсолютной численности горожан страна уже тогда была мировым лидером [10; 12].

В целом процесс урбанизации за период индустриализации и рыночного развития имел колоссальный масштаб, о чем свидетельствуют цифры. Так на 2022 г. коэффициент урбанизации в Китае составил 65,2 %. По количеству городов произошло увеличение в 5,2 раз, составив на 2022 год – 687 города. Для сравнения в 1949 году их было всего 132 [9; 13–17].

На современном этапе с учетом приоритетов международного интеграционного развития рост городов продолжится, правительство КНР делает большие ставки на инновационное и технологическое развитие страны. Только с 2013 г. по 2019 г. китайские компании инвестировали более 17 млрд долларов в высокотехнологичные проекты инициативы «Пояса и Пути». Порядка 7 млрд долларов было вложено в проекты по строительству телекоммуникационных сетей, около 10 млрд – в проекты по развитию электронной коммерции и систем мобильных платежей, а также сотни миллионов долларов были инвестированы в проекты развития умных городов и т.п. [18].

В своем исследовании на основе анализа литературных источников и снимков сделали попытку провести временной срез пространственного развития

разных по уровню и численности городов как участников проекта «Один пояс – один путь». Анализ численности населения, представленный на рис. 1. наглядно отображает динамику их развития [13; 14; 19–21].

Самым крупным из рассматриваемых городов является мегаполис, столица КНР – Пекин, являющийся стратегическим организатором проекта.

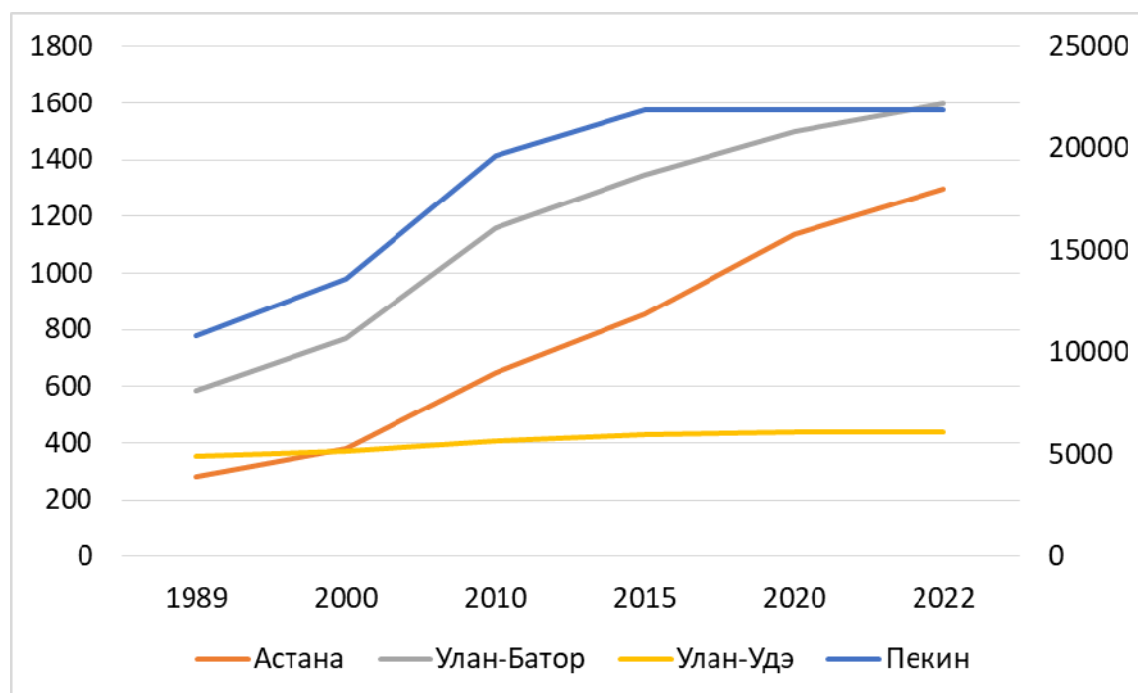


Рисунок 1. Динамика численности населения городов 1989–2022 гг.

Figure 1. Dynamics of urban population 1989–2022

Пекин – столица Китайской Народной Республики, третий по размеру мегаполис в стране после Шанхая, крупнейший транспортный узел, центр политической и социально-культурной жизни страны. Как свидетельствуют снимки электронной платформы Google Earth Engine за рассматриваемый период Пекин претерпел значительные трансформации [22] (рис. 2). Разрастание территории столицы Поднебесной обусловлено прежде всего интенсивным экономическим и технологическим развитием.

Согласно снимкам, в 1989 г. на территории Пекина и его пригородов площадь городской застройки составляла 800,2 км² при численности населения 10,8 млн человек. В этот период по плотности городской застройки ярко выражен крупный центральный кластер, соответствующий центральным районам Пекина и ряд небольших кластеров преимущественно к юго-востоку от города. К 2000 г. при росте численности населения на 25,4 %, площадь городской застройки увеличилась на 15 % в основном за счет увеличения центрального кластера. По сравнению с 1989 г. площадь городской застройки к 2010 г. увеличилась практически вдвое, а к 2015 – более чем в три раза. Увеличение площади городской застройки происходит в основном в восточном направлении. Рост города в западном и северном направлениях ограничен горными областями. Отметим, что до 2010 г. рост территории города имел радиальный характер, а к 2017 г. отмечен как рост центрального кластера, так и возникновением на месте сельскохозяйственных угодий к востоку от города относительно крупных кластеров (рис. 3). Тем не менее, в динамике к 2022 г. кластеры фактически уже не

являются отдельными населенными пунктами, а образуют тесно связанные части городской агломерации.

В перспективе можно предположить о дальнейшем увеличении территории и численности населения в столице. В частности, пространственные трансформации коснутся улучшения транспортной, технологической инфраструктуры в рамках реализации международных проектов [9; 15; 16; 23–26].

Астана – столица Республики Казахстан, занимающий важное стратегическое положение в Центральной Азии. Исторически территория города была местом пересечения караванных путей, что немаловажно для современного транспортного развития. В настоящее время г. Астана является вторым по величине городом страны [20]. По оценке агентства International Data Corporation (IDC) в 2019 г. Астана вошла в международный рейтинг «умных городов», набрав 2,48 баллов, что показывает очень высокий уровень зрелости. Для сравнения Сингапур – 4,4; Нью-Йорк – 3,7; Дубай – 3,6; Москва – 3,1 [27].

Интенсивное развитие Астана получила в результате проведения политических реформ с момента обретения независимости в 1991 году [7; 28]. Так в рамках постсоветского развития произошли столичные изменения. Перенос столицы из Алма-Аты в Астану в 1998 году стало своего рода капитализацией национального и государственного строительства [28; 29]. Вышедший из состава СССР Казахстан столкнулся с сильным экономическим кризисом и находился на стадии глубокой дестабилизации. Перенос столицы был рискованным предприятием, но он был обусловлен рядом причин, как политических, так и географических [7; 30].

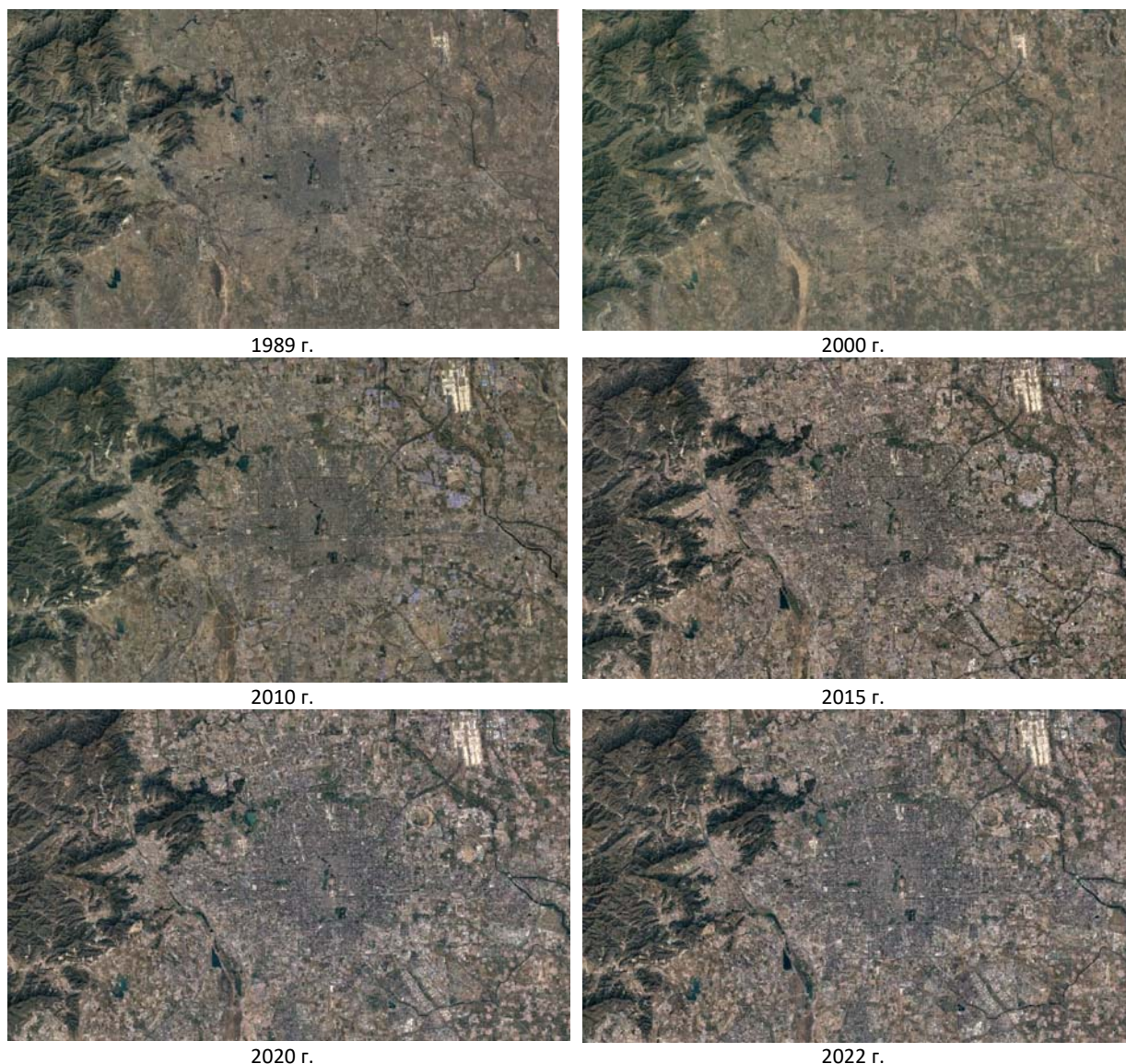


Рисунок 2. Изменение плотности городской застройки г. Пекин
Figure 2. Change in density of urban development in Beijing



Рисунок 3. Застройка в городском районе Дасин, г. Пекин (снимки сервиса Google Earth), а – 2003 г., б – 2020 г.
Figure 3. Development in the Daxing district of Beijing (Google Earth images), а – 2003, б – 2020

В целом столичный фактор и заявленные цели развития положительно сказались на городском развитии. Согласно данным за рассматриваемый период численность населения увеличилась на 1014,8 тыс. чел [20]. В среднем прирост составил более 6 % в год, такой

устойчивый рост позволил увеличить население столицы почти в пять раз.

Строительство новой столицы основывалось на главной цели создания современного мегаполиса, отвечающего последним достижениям градостроительной мысли. Основной скачок в пространственном

развитии в этот период связан с реализацией генерального плана развития нового центра мирового значения. В связи с чем был объявлен международный конкурс, вызвавший большой интерес ведущих региональных и мировых архитектурных бюро мира. Победителем в конкурсе была призвана концепция японского архитектора Кисе Куракова [31].

В результате реализации генплана была заложена современная концепция развития городского пространства, было создано современное транспортное сообщение, благоустроены улицы и дворовые пространства, шло строительство различного уровня жилых, административных, культурно-спортивных и деловых центров.

В пространственном анализе динамические изменения городской застройки Астаны можно рассмотреть на рис. 4 [22]. Так в 1989 г. при населении 281 тыс. человек площадь городской застройки

составляла всего 49,1 км². В этот период город имел типичную слаборазвитую инфраструктуру, низкую малоэтажную застройку характерную для всех провинциальных городов. К 2000 г. численность населения по сравнению с 1989 г. выросла на 35 %, а площадь городской застройки увеличилась на 25 %. Рост численности населения города обусловлен его статусом как столицы Казахстана с 1998 г., а также в результате организации особой экономической зоны ОЭЗ «Астана – новый город» [28; 29]. К 2010 г. и численность населения, и площадь городской застройки выросли в 2,5 раза по сравнению с 1989 г. В 2017 г. произошло существенное увеличение административной площади за счет включения в него трех участков Целиноградского района и Акмолинской области. Таким образом, общая площадь составила 8719 га.



1989 г.



2000 г.



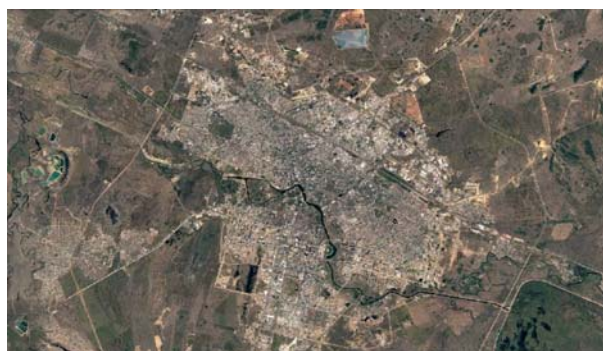
2010 г.



2015 г.



2020 г.



2022 г.

Рисунок 4. Изменение плотности городской застройки г. Астана

Figure 4. Changes in the density of urban development in Astana

Как показывает анализ, интенсивный рост территории городской застройки произошел за счет строительства нового административно-делового центра на левобережье р. Ишим, а также многоквартирных домов

и соответствующей инфраструктуры в жилых кварталах в юго-восточной части города, ранее застроенных одноэтажными домами (рис. 5).



Рисунок 5. Застройка в южной части г. Астана (снимки сервиса Google Earth), а – 2004 г., б – 2020 г.
Figure 5. Development in the southern part of Astana (Google Earth images), а – 2004, б – 2020

Буквально за тридцать лет Астана превратилась из обычного провинциального города в мощный мировой центр экономического и политического значения и не раз выступала организатором и участником различного рода международных мероприятий. Так в 2013 г. во время своего визита в Астану председатель Китайской Народной Республики Си Цзиньпин впервые провозгласил инициативу о реализации международного проекта «Один пояс – один путь», что безусловно закрепило мировой геополитический статус города.

Улан-Батор – столица Республики Монголия, город-миллионер. Исторически является связующим звеном Великого Шелкового пути. За рассматриваемый период город значительно вырос. Согласно данным численность населения увеличилась почти в 2,7 раза, составив на 2022 г. – 1596,3 тыс. чел. Значительный рост Улан-Батора обусловлен, прежде всего, усилением процессов внутренней миграции, вызванной экономическим кризисом, а также с большим падежом скота среди сельского населения из-за негативных природных явлений (засухи, обильных снегопадов) произошедших в этот период. В поисках работы большая часть сельского населения была вынуждена отправиться в город. Из-за отсутствия возможности покупки и аренды жилья г. Улан-Батор стал разрастаться «юрточными кварталами», представляющие зону жилой застройки с низким уровнем развития инфраструктуры [32]. Динамику прироста численности населения и разрастания границ города подтверждают, как показатели статистики, так и анализ разновременных снимков (рис. 6) [22].

На основе полученных снимков площадь городской застройки по сравнению с 1989 г. выросла более чем в 2,5 раза к 2010 г. и более чем в 4 раза к 2017 г. Отметим, что городская застройка г. Улан-Батор развивалась как монокластер, расширяющийся в западном и восточном направлении. Рост города в северном направлении связан с возникновением «юрточных кварталов», расположенных в межгорных котловинах на расстоянии до 25 км от центра города (протяженность городской застройки в меридиональном направлении составляет менее 7 км). В южном направлении расширение города ограничено заповедником – горой Богд-Хан. Отдельными кластерами соответствуют районы Хан-Уул в западной части и

Налайх в восточной, однако в указанных районах преобладает одноэтажная индивидуальная застройка преимущественно с грунтовыми дорогами. В целом в центральной части города можно отметить увеличение плотности городской застройки с 40–50 % в 1991 г. и до 90–100 % в 2015 г. Основными причинами таких изменений являются: точечное строительство, строительство многоквартирных домов вместо одноэтажных районов, строительство объектов городской инфраструктуры (рис. 7).

Улан-Удэ – столица Республики Бурятия, расположен в узловой точке территориальных и экономических интересов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Восточной Азии. В XVIII–XIX веках благодаря выгодному транспортно-географическому положению город Улан-Удэ (ранее Верхнеудинск) являлся связующим торговым центром на пути следования Великого чайного пути [33; 34]. На сегодняшний день с учетом современных вызовов обращаем внимание на этот исторический факт. Для развития интеграционного сотрудничества немаловажное геополитическое значение имеет этнокультурный потенциал. В этом плане Республика Бурятия представляет собой своего рода мост между западной и восточными культурами и г. Улан-Удэ является благоприятной площадкой для развития международных отношений между КНР, Монголией и Казахстаном. Конечно по численности населения и по уровню экономического развития г. Улан-Удэ в целом не имеет лидирующих позиций, является одним из провинциальных городов востока России, но для усиления геополитического положения Востока России на наш взгляд необходимо усиливать роль приграничных территорий, формировать устойчивую современную сеть трансграничного взаимодействия, на основе развития приграничных центров.

Рассматривая динамику развития то, существенных изменений, как в численности населения, так и по темпам городского развития в г. Улан-Удэ не произошло (рис. 8). Основными причинами являются незавершенность процесса советской индустриализации востока России, разрыв межрегиональных связей, переход к рыночной экономике.

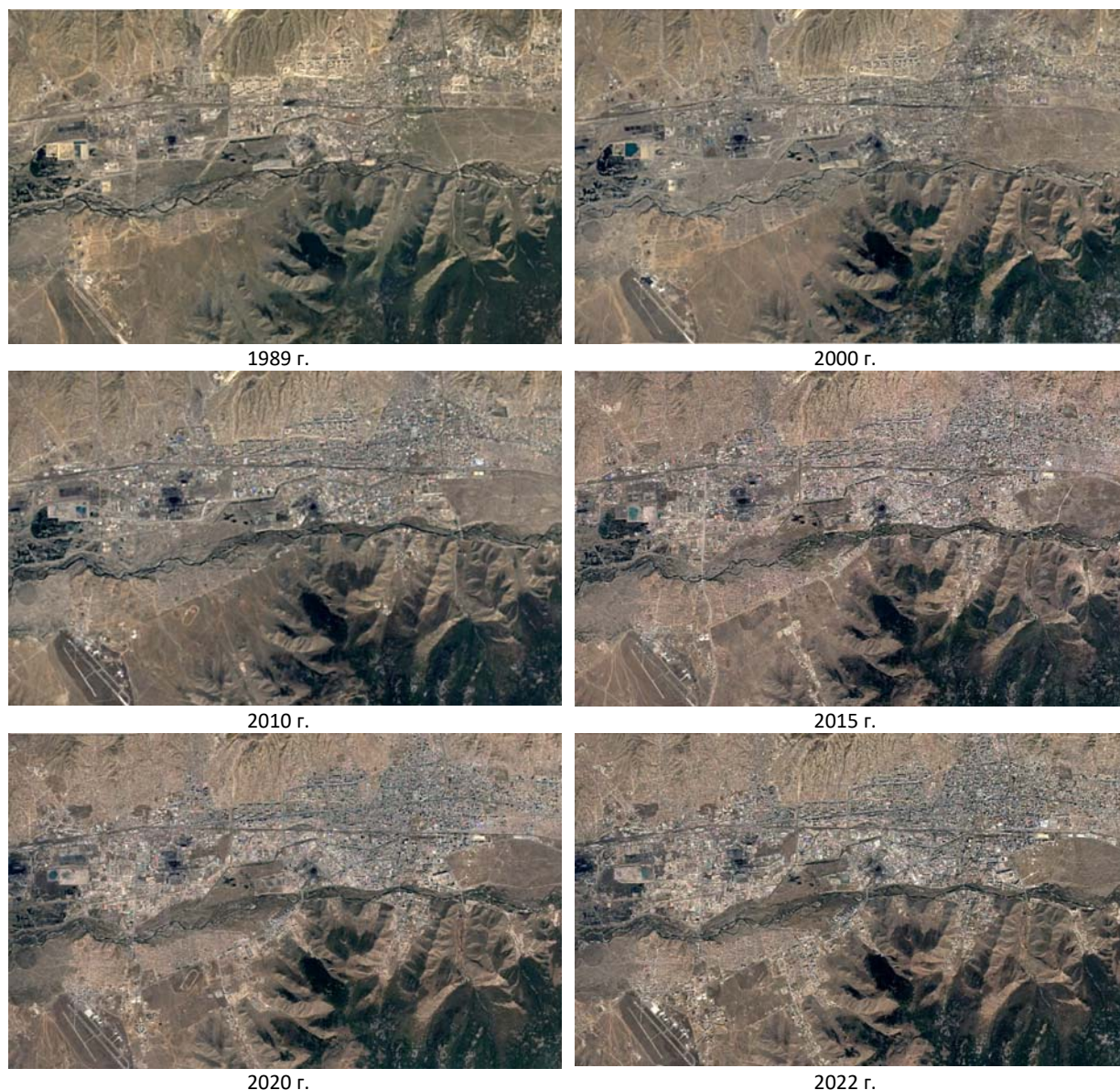


Рисунок 6. Изменение плотности городской застройки г. Улан-Батор

Figure 6. Change in density of urban development in Ulaanbaatar



Рисунок 7. Застройка в районе Баянзурх, г. Улан-Батор (снимки сервиса Google Earth), а – 2005 г., б – 2020 г.)

Figure 7. Development in the Bayanzurkh district, Ulaanbaatar (Google Earth images), а – 2005, б – 2020)

Согласно снимкам, в 1989 г. при населении 367,5 тыс. человек площадь городской застройки составляла 67,4 км² и представляла четыре относительно крупных кластера и ряд кластеров меньшего размера (рис. 8)

[22]. К 2000 г. население города увеличилось на 6 %, а площадь городской застройки на 42 %, однако увеличение произошло в первую очередь за счет районов с малой плотностью застройки (менее 50 %). К

2010 г. население увеличилось менее чем на 4 %, площадь городской застройки – на 19 % по сравнению с 2000 г. При этом отметим рост плотности застройки, к

2020 г. площадь городской застройки увеличилась в 2,5 раза, а численность населения – в 1,2 относительно 1989 г.



1989 г.



2000 г.



2010 г.



2015 г.



2020 г.



2022 г.

Рисунок 8. Изменение плотности городской застройки г. Улан-Удэ

Figure 8. Change in density of urban development in Ulan-Ude

Рост города происходил во всех направлениях преимущественно за счет одноэтажного индивидуального строительства, как правило, деревянными домами деревенского типа. Обрастание города «деревней» обусловлено, прежде всего, внутрирегиональной миграцией сельского населения, как из районов республики, так и соседних регионов Иркутской области и Забайкальского края.

Развал колхозов и совхозов, отсутствие работы на селе стало основным движущим фактором переселения сельских жителей в город. Из-за отсутствия возможности купить или арендовать благоустроенное городское жилье прибывшие мигранты покупали или даже самовольно захватывали пригородные участки и строили на них деревянные дома. Крупнейший такой жилой массив возник в левобережной (западной) части города (рис. 9).

Таким образом, как показывают результаты исследования темпы динамики городского развития в

регионах различны. Однако во всех них независимо от уровня развития отмечается общемировая тенденция – концентрация населения и экономики в крупнейших формах расселения.

В целом перспективы реализации данного интеграционного проекта зависят от приоритетов и целей участия. Для КНР создание торгово-логистического коридора по территории своих северных соседей в сложившихся геополитических условиях выглядит наиболее предпочтительным вариантом Нового Шелкового пути [35; 36]. Во-первых, его основной маршрут – Северная ветвь Трансазиатской железной дороги – на сегодняшний день уступает российскому Транссибу по технико-эксплуатационным характеристикам, несмотря на то, что по протяженности она на 1000 км меньше Транссиба [37]. Данный маршрут более перспективен для транзитных грузов не только из Кореи и Японии, но и Северо-Восточной части Китая (например, Тяньцзинь – Пекин – Улан-Батор –

Улан-Удэ и Далянь – Харбин – Забайкальск – Чита). Во-вторых, расширение торгово-экономического сотрудничества КНР посредством транзитного коридора отрывает огромные перспективы Поднебесной для

доступа и освоения богатейших природных запасов в Азии, в частности Монголии — это запасы меди и молибдена, плавикового шпата, используемого в металлургии и химической промышленности.



а



б

Рисунок 9. Застройка в левобережной части г. Улан-Удэ (снимки сервиса Google Earth, а – 2001 г., б – 2020 г.)
Figure 9. Development in the left-bank part of Ulan-Ude (Google Earth images, a – 2001, b – 2020)

Как для Монголии, так и для Казахстана, создание экономического коридора во многом отвечает стратегическим приоритетам национального развития – «Степной путь» (Монголия), «Нурлы жол» (Казахстан). Для обеих стран реализация программ и международного проекта очень выгодно, так как это не только торговая прибыль, но и выход на более отдаленные рынки евроазиатского пространства.

Для России, строительство экономического коридора дает возможность привлечения инвестиций, послабления налогового и таможенного режима, что в дальнейшем поможет снизить издержки как при участии в проекте экономического коридора, так и при реализации собственного проекта – Транс-Евразийского пояса развития (ТЕПР) [38; 39]. Реализация интеграционных проектов будет направлена на создание мощной инфраструктурной системы, объединяющей транспорт, энергетику, телекоммуникации, где все это будет способствовать генерации капитала и людей в зоне развития, созданию и росту городской системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе проведенного анализа полученные результаты исследования свидетельствуют о нарастающей активности процессов урбанизации. Безусловно по темпам развития имеются определенные различия, но тем не менее согласно прогнозам ООН до середины столетия, лидирующие позиции в глобальной урбанизации будут занимать азиатские регионы [40].

На сегодняшний день стартовые возможности в рассматриваемых регионах неодинаковые. Эффект реализации данного мегапроекта будет иметь глобальный характер, что потребует более четких шагов в разработке стратегических планов пространственного развития. Отдельное внимание заслуживает доработка стратегии развития городов Сибири и Дальнего Востока с учетом текущей социально-экономической ситуации и глобальных вызовов развития.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта

БИП СО РАН № 122021800169-0.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out within the framework of the budget project of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences No. 122021800169-0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тулохонов А.К. Политическая география Северной Азии в условиях глобализации или как обустроить российскую периферию. Улан-Удэ: ЭКОС, 2014. 256 с.
2. Brenner N. Theses on urbanization // Public Culture. 2013. V. 25 (1). P. 85–114. DOI: 10.1215/08992363-1890477
3. Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Теория «дифференциальной урбанизации» и иерархия городов в России на рубеже XXI века // Проблемы урбанизации на рубеже веков. Смоленск. Ойкумена, 2002. С. 71–86.
4. Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Города и сельская местность состояние и соотношение в пространстве России // Региональные исследования. 2010. N 2 (28). С. 42–57.
5. Галиймаа Н. Internal migration of Mongols to Ulaanbaatar and the Problem with the City // Мир Большого Алтая. 2017. N 3 (1). С. 43–51.
6. Панарин С.А. Казахстан: города и урбанизация в межпереписной период (1989–1999) // Вестник Евразии. 2005. N 3 (29), С. 48–70.
7. Нурланова Н.К. Города как точки роста экономического пространства Казахстана: тенденции и перспективы развития // Проблемы развития территории. 2016. N 5 (85). С. 201–206.
8. Погодина Ю.Ю. Особенности процесса урбанизации в Китае // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2011. Сер. 9. Вып. 4. С. 171–177.
9. Юань Ли. Специфические механизмы урбанизации Китая на рубеже XX–XXI вв. // Власть. 2012. N 4. С. 146–149.
10. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Ильинский Ю.Ю., Евдокимова Ю.Г. Урбанизация и строительство городов в Китае // Россия и Китай: проблемы стратегического

- взаимодействия: сборник восточного центра. 2013. N 3. С. 45–54.
11. Коломак Е. Развитие городской системы Сибири в постсоветский период: прогнозы и реальность // Эко. 2018. N 7. С. 57–66.
12. Ерохина Л.Д., Чжан Х.Л. Трансформация социальной структуры городов Китая в условиях урбанизации // Общество, психология, педагогика. 2018. N 2. <https://doi.org/10.24158/spp.2018.2.9>
13. China Statistical Yearbook. National Statistics Bureau of China. 2019. URL: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm>. (дата обращения: 28.06.2024).
14. China Statistical Yearbook. National Statistics Bureau of China. 2022. URL: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexeh.htm>. (дата обращения: 28.06.2024)
15. Плесский Н.С. Особенности урбанизационных и миграционных процессов современного Китая // Известия Восточного Института. 2015. N 2. С. 38–42.
16. Плесский Н.С. Социально-экономическое положение формирующихся мегалополисов Китая в современных условиях // Вестник ВГУ. Серия: география, геоэкология. 2018. N 2. С. 58–65.
17. Изотов Д.А. Экономический рост городов в неоднородном пространстве Китая // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 3. С. 789–802. <https://doi.org/10.17059/2017-3-12>
18. Нежданов В.Л. На Цифровом Шелковом пути: стратегия Пекина в глобальном цифровом пространстве // ПИР-ЦЕНТР. 2023. URL: <https://pircenter.org/editions/na-cifrovom-shelkovom-puti-strategiya-pekina-v-globalnom-cifrovom-prostranstve/> (дата обращения: 28.07.2024)
19. National Statistics Office of Mongolia. Official Website. URL: <http://1212.mn> (дата обращения: 20.06.2024)
20. Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан // Official Website. URL: <http://stat.gov.kz> (дата обращения: 20.07.2024)
21. Федеральная служба государственной статистики (Росстат) URL: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 20.07.2024)
22. Google Earth Engine. URL: <https://earthengine.google.com/timelapse/?ref> (дата обращения: 28.06.2024)
23. Си Ц. О государственном управлении Пекин. 2015. С. 642.
24. Сун И Мин, Лысяя Д.А. Обзор развития урбанизации в Китае. Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды Мархи // Материалы международной научно-практической конференции, Московский архитектурный институт. Москва, 2016. С. 128–133.
25. Чэнь Сюэ, Цию Минфэн. Возможности и вызовы в процессе продвижения инициативы «Один пояс, один путь» в России // Креативная экономика. 2013. Т. 12. N 8. С. 1065–1072.
26. Соломатина А.Р. Цифровой Шёлковый путь, как составляющая инициативы «Один пояс - Один путь» // Постсоветские исследования. 2021. N 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-shyolkovyy-put-kak-sostavlyayuschaya-initsiativy-odin-poyas-odin-put> (дата обращения: 31.07.2024)
27. Астана вошла в международный рейтинг «умных городов» // МИР 24. 2019 URL: <https://mir24.tv/news/16345841/astana-voshla-v> mezhhdunarodnyi-reiting-umnyh-gorodov (дата обращения: 28.07.2024)
28. Thorez J. The development of Astana/Nur-Sultan, Kazakhstan's new capital (1998–2018): Growth, capitalization and normalization // *Cybergeo-european Journal of Geography*. 2019. Article id: 897 <http://doi.org/10.4000/cybergeo.32223>
29. Шац Э. Когда столицы переносят: политическая география национального и государственного строительства // Логос, 2013. N 4. С. 142.
30. Искалиев Д.Ж. Городское расселение Казахстана: тенденции и факторы // Наука. Инновации. Технологии. 2017. N 2. С. 131–146.
31. Токжуманов К.Г. В поисках образа идеального города // Новый взгляд. Международный научный вестник. 2014. N 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/astana-v-poiskah-obraza-idealnogo-goroda> (дата обращения: 01.08.2024).
32. Castrillon R.D., Kummel O., Ershuu P.E. Social Development and Space Patterns in Ger Settlements Fencing, Water and Festivities in Yarmag, Ulaanbaatar [Inner Asia]. 2016. V. 18. N 2. P. 223–224.
33. Айдаев Г.А., Тучков С.М., Нагуслаева Т.М., Номогоева В.В., Матвеева А.И. История Улан-Удэ. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. 160 с.
34. Всемирный Банк. Экономика одного пояса, одного пути. Возможности и риски транспортных коридоров // 2020. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31878/211392RU.pdf?sequence=12> (дата обращения: 12.01.2024)
35. Воробьев Н.В., Емельянова Н.В., Рыков П.В. Урбанизация и развитие городских агломераций Сибири и Северного Китая: в контексте Нового Шелкового пути. Континент Сибирь // Всероссийский экономический журнал «ЭКО». 2020. С. 454.
36. Островский А.В. Как подключить Сибирь и Дальний Восток к Шелковому пути? Новый шелковый путь и его значение для России. М.: Дели плюс. 2016. С. 131–146.
37. Безруков Л.А. Великий Шелковый путь и Транссибирская магистраль: конкуренция и взаимодействие? // Россия и Китай. 2015. N 17. С. 35–38.
38. Якунин В.И. Транс-Евразийский пояс «Razvitie». Интегральный проект солидарного развития на Евро-Азиатском континенте (научно-практическая концепция). URL: http://www.kpplant.ru/upload_data/2015/TEDB-Razvitie.YakuninDoklfd.pdf (дата обращения: 28.07.2024)
39. Минэкономразвития РФ. Россия – Китай – Монголия подписали меморандум о разработке программы создания экономического коридора // Информационный портал. URL: <http://economy.gov.ru/minec/press/news/2015090706> (дата обращения: 28.07.2024)
40. World Urbanization Prospects 2018. New York, Highlights Publ., 2019. 38 p.

REFERENCES

1. Tulokhonov A.K. *Politicheskaya geografiya Severnoi Azii v usloviyakh globalizatsii ili kak obustroit' rossiiskuyu periferiyu* [Political geography of North Asia in the context of globalization or how to equip the Russian periphery]. Ulan-Ude, EHKOS Publ., 2014, 256 p. (In Russian)

2. Brenner N. Theses on urbanization. *Public Culture*, 2013, vol. 25 (1), pp. 85–114. DOI: 10.1215/08992363-1890477
3. Nefedova T.G., Treyvish A.I. [The theory of "differential urbanization" and the hierarchy of cities in Russia at the turn of the XXI century]. In: *Problemy urbanizatsii na rubezhe vekov* [Urbanization problems at the turn of the century]. Smolensk, Oykumena Publ., 2002, pp. 71–86. (In Russian)
4. Nefedova T.G., Treivish A.I. Cities and rural areas state and correlation in the space of Russia. *Regional'nye issledovaniya* [Regional Studies]. 2010, no. 2 (28), pp. 42–57. (In Russian)
5. Galiimaa N. Internal migration in Mongolia to Ulaanbaatar and problems of urbanization. *Mir Velikogo Altaya* [World of Greater Altai]. 2017, vol. 3, no. 7, pp. 43–51.
6. Panarin S.A. Kazakhstan: cities and urbanization in the intercensal period (1989–1999). *Vestnik Evrazii* [Bulletin of Eurasia]. 2005, no. 3 (29), pp. 48–70. (In Russian)
7. Nurlanova N.K. Cities as points of growth of the economic space of Kazakhstan: trends and development prospects. *Problemy razvitiya territorii* [Territory development problems]. 2016, no. 5 (85), pp. 201–206. (In Russian)
8. Pogudina Yu.Yu. Features of the urbanization process in China. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Bulletin of St. Petersburg University]. 2011, series 9, iss. 4, pp. 171–177. (In Russian)
9. Li Y. Specific mechanisms of urbanization in China at the turn of the XX – XXI centuries. *Vlast'* [Power]. 2012, no. 4, pp. 146–149. (In Russian)
10. Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Ilyinsky Yu.Yu., Evdokimova Yu.G. Urbanization and city building in China. *Russia and China: Problems of Strategic Interaction: Collection of the Eastern Center*. 2013, no. 3, pp. 45–54. (In Russian)
11. Kolomak E. Development of the urban system of Siberia in the post-Soviet period: forecasts and reality. *EKO* [Eco]. 2018, no. 7, pp. 57–66. (In Russian)
12. Erokhina L.D., Zhang Kh.L. Transformation of the social structure of Chinese cities in the context of urbanization. *Society, psychology, pedagogy*, 2018, no. 2. (In Russian) <https://doi.org/10.24158/spp.2018.2.9>
13. China Statistical Yearbook. National Statistics Bureau of China. 2019. Available at: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm>. (accessed 28.06.2024)
14. China Statistical Yearbook. National Statistics Bureau of China. 2022. Available at: <https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2022/indexeh.htm>. (accessed 28.06.2024)
15. Plesskiy N.S. Features of urbanization and migration processes in modern China. *Izvestiya Vostochnogo Instituta* [Izvestia of the Eastern Institute]. 2015, no. 2, pp. 38–42. (In Russian)
16. Plesskiy N.S. Socio-economic situation of the emerging megalopolises of China in modern conditions. *Vestnik VGU. Seriya: geografiya, geoekologiya* [Vestnik VSU. Series: geography, geoecology]. 2018, no. 2, pp. 58–65. (In Russian)
17. Izotov D.A. Economic growth of cities in the heterogeneous space of China. *Economy of the region*, 2017, vol. 13, iss. 3, pp. 789–802. (In Russian) <https://doi.org/10.17059/2017-3-12>
18. Nezhdanov V.L. *Na Tsifrovom Shelkovom puti: strategiya Pekina v global'nom tsifrovom prostranstve* [On the Digital Silk Road: Beijing's Strategy in the Global Digital Space]. PIR CENTER. Available at: <https://pircenter.org/editions/na-cifrovom-shelkovom-puti-strategiya-pekina-v-globalnom-cifrovom-prostranstve/> (accessed 28.07.2024)
19. National Statistics Office of Mongolia. Official Website. Available at: <http://1212.mn> (accessed 20.06.2024)
20. *Komitet po statistike Ministerstva natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan* [Committee on Statistics of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan]. Official Website. Available at: <http://stat.gov.kz> (accessed 20.07.2024)
21. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat)* [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. Available at: <https://www.gks.ru/> (accessed 20.07.2024)
22. Google Earth Engine. Available at: <https://earthengine.google.com/timelapse/?ref> (accessed 28.06.2024)
23. Xi J. *O gosudarstvennom upravlenii Pekin* [On public administration Beijing]. 2015, p. 642.
24. Sun Yi Ming, Lysaya D.A. *Obzor razvitiya urbanizatsii v Kitae. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie* [An overview of the development of urbanization in China. Science, education and experimental design]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 2016* [Materials of the international scientific and practical conference. Markha's works, Moscow, 2016]. Moscow, Moscow Architectural Institute Publ., 2016, pp. 128–133. (In Russian)
25. Chen Syue, Tsiyu Minfen. Opportunities and challenges in promoting the «One belt, one road» initiative in China. *Kreativnaya ekonomika* [Journal of Creative economy]. 2018, vol. 12, no. 8, pp. 1065–1072. (In Russian)
26. Solomatina A.R. [Digital Silk Road as a component of the One Belt – One Road initiative]. *Postsovetkie issledovaniya*, 2021, no. 4. (In Russian) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-shyolkovyy-put-kak-sostavlyayuschaya-initsiativy-odin-poyas-odin-put> (accessed 31.07.2024)
27. *MIR 24. Astana voshla v mezhdunarodnyi reiting «umnykh gorodov»* [Astana entered the international rating of "smart cities"]. Available at: <https://mir24.tv/news/16345841/astana-voshla-v-mezhdunarodnyi-reiting-umnyh-gorodov> (accessed 28.07.2024)
28. Thorez J. The development of Astana/Nur-Sultan, Kazakhstan's new capital (1998–2018): Growth, capitalization and normalization. *Cybergeo-european Journal of Geography*, 2019, article id: 897. <http://doi.org/10.4000/cybergeo.32223>
29. Shats E. When capitals are moved: the political geography of the national and state construction. *Logos* [Logos]. 2013, no. 4, p. 142. (In Russian)
30. Iskaliev D.Zh. Urban Settlement of Kazakhstan: Trends and Factors. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii* [The science. Innovation. Technology]. 2017, no. 2, pp. 131–146. (In Russian)
31. Tokzhumanov K.G. [In Search of the Image of the Ideal City]. *Novyi vzglyad. Mezhdunarodnyi nauchnyi vestnik*, 2014, no. 3. (In Russian) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/astana-v-poiskah-obrazo-idealnogo-goroda> (accessed 01.08.2024)
32. Castrillon R.D., Kummel O., Ershuu P.E. Social Development and Space Patterns in Ger Settlements Fencing, Water and Festivities in Yarmag, Ulaanbaatar [Inner Asia]. 2016, vol. 18, no. 2, pp. 223–224.

33. Aidaev G.A., Tuchkov S.M., Naguslaeva T.M., Nomogoeva V.V. and Matveeva A.I. *Istoriya Ulan-Ude* [History of Ulan-Ude]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 2012, 160 p. (In Russian)
34. *Vsemirnyi Bank. Ekonomika odnogo poyasa, odnogo puti. Vozmozhnosti i riski transportnykh koridorov* [World Bank. Economy of One Belt, One Road. Transport Corridor Opportunities and Risks]. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31878/211392RU.pdf?sequence=12> (accessed 12.01.2024)
35. Vorobiev N.V., Emelyanova N.V., Rykov P.V. Urbanization and Development of Urban Agglomerations in Siberia and Northern China: in the Context of the New Silk Road. The Continent of Siberia. *Vserossiiskii ekonomicheskii zhurnal «EKO»* [All-Russian economic journal ECO]. 2020, pp. 454 (In Russian)
36. Ostrovsky A.V. *Kak podklyuchit' Sibir' i Dal'nii Vostok k Shelkovomu puti? Novyi shelkovyi put' i ego znachenie dlya Rossii* [How to connect Siberia and the Far East to the Silk Road? The New Silk Road and its Significance for Russia]. Moscow, Delhi plus Publ., 2016, pp. 131–146 (In Russian)
37. Bezrukov L.A. The Great Silk Road and the Trans-Siberian Railway: Competition and Interaction? *Rossiia i Kitai* [Russia and China]. 2015, no. 17, pp. 35–38 (In Russian)
38. Yakunin V.I. *Trans-Evraziiskii poyas «Razvitie». Integral'nyi proekt solidarnogo razvitiya na Evro-Aziatskom kontinente (nauchno-prakticheskaya kontseptsiya)* [Trans-Eurasian belt "Razvitie". Report of the President of JSC "Russian Railways" "Integral project of solidarity development on the Euro-Asian continent (scientific and practical concept)]. Available at: http://www.kpplant.ru/upload_data/2015/TEDB-Razvitie.YakuninDoklfd.pdf (accessed 28.07.2024)
39. *Minehkonomrazvitiya RF. Rossiya – Kitai – Mongoliya podpisali memorandum o razrabotke programmy sozdaniya ekonomicheskogo koridora* [Ministry of Economic Development. Russia – China – Mongolia signed a memorandum on the development of a program for creating an economic corridor]. Information portal of the RF. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/press/news/2015090706> (accessed 28.07.2024)
40. World Urbanization Prospects 2018. New York, Highlights Publ., 2019, 38 p.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Наталья Р. Зангеева и Валентин С. Батомункуев провели анализ на основе собранного материала. 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

Natalia R. Zangeeva and Valentin S. Batomunkuev conducted the analysis based on the collected material. 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

Наталья Р. Зангеева / Natalia R. Zangeeva <http://orcid.org/0000-0001-9365-4190>

Валентин С. Батомункуев / Valentin S. Batomunkuev <http://orcid.org/0000-0001-9477-0652>

Оригинальная статья / Original article

УДК 502.175; 502.653

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-13



Оценка воздействия подземного размещения жидких отходов на геологическую среду (на примере истощенных газовых месторождений)

Рамиз А. Гасумов¹, Эльдар Р. Гасумов^{2,3}¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджанская Республика³Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджанская Республика

Контактное лицо

Рамиз А. Гасумов, доктор технических наук, профессор, заведующей кафедрой, Северо-Кавказский федеральный университет; 355017 Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1. Тел. +79624405599

Email r.gasumov@yandex.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

Формат цитирования

Гасумов Р.А., Гасумов Э.Р. Оценка воздействия подземного размещения жидких отходов на геологическую среду (на примере истощенных газовых месторождений) // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 145-159. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-13

Получена 22 апреля 2024 г.

Прошла рецензирование 27 августа 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: провести исследование и оценить воздействия подземного размещения промышленных стоков и жидких отходов на геологическую среду при их размещении (закачки) в палеоценовый водоносный комплекс в пределах горного отвода на примере истощенного газового месторождения.

Проводились: сбор и обобщения геологических, геофизических и гидрогеологических материалов по изучаемому району, результатов бурения и испытания скважин, проведение замеров пластовых давлений и температур, оценка совместимости жидких отходов с пластовыми водами.

Проводилась оценка воздействия закачки промстоков на гидродинамическую обстановку поглощающего горизонта. Рассчитаны устьевые давления способствующей на гидроразрыв пласта и увеличение пластового давления в нагнетательных скважинах за счет закачки промстоков. Определены радиусы распространения промстоков на конец расчетного периода эксплуатации полигона с учетом уже закачанного объема и снос «пятен загрязнения» под естественным напором пластовых вод за 20 лет. Предложена геологическая модель отклонений от проектных показателей при эксплуатации объекта, рассмотрены варианты, при которых промстоки могут выйти за пределы горного отвода.

Установлено, что по предложенная геологическая модели позволяет предотвратить отклонение от проектных показателей эксплуатации объекта, прогнозировать и предупредить выход размещенных жидких отходов на геологической среде за пределы горного отвода, а воздействие на гидродинамическую систему поглощающего пласта будет незначительно и сосредоточено в основном в пределах допустимого. При эксплуатации полигона необходимо постоянно следить за репрессией на пласт и не допускать ее увеличения выше рекомендованного, несмотря рост пластового давления вследствие закачки жидких отходов будет менее интенсивным, выход промстоков за пределы горного отвода при фактических объемах закачки в поглощающий пласт предложенной толщиной не представляется возможным.

Ключевые слова

Жидкие отходы, палеоценовый водоносный комплекс, подземное размещение, технология закачки.

Assessment of the impact of underground disposal of liquid waste on a geological environment (using the example of depleted gas fields)

Ramiz A. Gasumov¹ and Eldar R. Gasumov^{2,3}

¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

²Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

³Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Principal contact

Ramiz A. Gasumov, Doctor of Technical Sciences, Professor & Head of Department, North Caucasus Federal University; 1 Pushkin St, Stavropol, Russia 355017.
Tel. +79624405599
Email r.gasumov@yandex.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

How to cite this article

Gasumov R.A., Gasumov E.R. Assessment of the impact of underground disposal of liquid waste on a geological environment (using the example of depleted gas fields). *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):145-159. (In Russ.)
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-13

Received 22 April 2024

Revised 27 August 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to conduct a study and evaluate the impact of underground disposal of industrial wastewater and liquid waste on the geological environment when they are placed (injected) into a Paleocene aquifer complex and placed within a mining allotment, using the example of a depleted gas field.

The following were carried out: collection and synthesis of geological, geophysical and hydrogeological materials for the study area; results of drilling and testing of wells; measurements of formation pressures and temperatures; assessment of the compatibility of liquid waste with formation waters.

The impact of industrial waste injection on the hydrodynamic conditions of the absorption horizon was assessed. The wellhead pressures contributing to hydraulic fracturing and the increase in reservoir pressure in injection wells due to the injection of industrial waste were calculated. The radii of distribution of industrial wastewater at the end of the estimated period of operation of the landfill were determined, taking into account the volume already injected and the removal of 'pollution spots' under the natural pressure of formation water over 20 years. A geological model of deviations from design indicators during the operation of the facility has been proposed and options have been considered in which industrial wastewater may go beyond the boundaries of the mining allotment.

It has been established that according to the proposed geological model, it is possible to prevent deviations from the design indicators of the operation of the facility, to predict and prevent the release of disposed liquid waste in the geological environment beyond the boundaries of the mining allotment. The impact on the hydrodynamic system of the absorbent formation is considered to be insignificant and concentrated mainly within the permissible limits. When operating a landfill, it is necessary to constantly monitor the repression on the formation and not allow it to increase above 8.5 MPa. During the operation of the landfill, it is necessary to constantly monitor the repression on the formation and not allow it to increase above the recommended level. Despite the growth of formation pressure due to the injection of liquid waste being less intense, the release of industrial waste beyond the mining allotment with the actual volumes of injection into the absorbing formation of the thickness proposed is not expected to be possible.

Key Words

Liquid waste, Paleocene aquifer complex, underground disposal, injection technology.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке месторождений углеводородов (УВ) и строительстве подземных резервуаров необходимо решить проблему перекачки промышленных сточных вод и жидких отходов в глубокие водоносные горизонты, которые не являются источниками промышленного и бытового использования. В большинстве развитых стран широко развито решение проблем утилизации жидких промышленных отходов при их захоронении в глубоких водоносных горизонтах, содержащих высокоминерализованные грунтовые воды, которые, как правило, не имеют практической ценности [1].

На эксплуатируемых месторождениях УВ и подземных хранилищах газа (ПХГ) на всех этапах их «жизненного цикла», начиная от поиска геологических структур, пригодных для разработки и/или создания подземного резервуара, до их последующей освоения происходит образование промышленных стоков и жидких отходов (ПСЖО) [2].

Подземное захоронение жидких отходов и промышленных стоков, это размещение (производства) в глубокие поглощающие водоносные горизонты земной коры, осуществляется на основании гидрогеологического обоснования и выбора геологической структуры. Для этого в основном используется бывшие пьезометрические и/или приконтурные скважины разрабатываемой углеводородной залежи [3].

Не практикуется закачка через обычные скважины производить захоронение ПСЖО, химически не совместимых с пластовыми водами, так как в результате, которых возможно образование твердый

осадок, закупоривающий поры пласта непосредственно призабойной зоне пласта и провоцирующий снижение проницаемость пласта-коллектора, что имеет важное значение поглощающей залежи. Предупреждение и (или) предотвращения негативных последствий возможно, или за счет специальной химической обработки промстоков, или путем предварительной закачки в пласт буферной нейтральной жидкости, что связано с большими материально-техническими затратами. В связи чем, данная проблема требует геологическое изучение и гидрогеологическое обоснование размещения ПСЖО в стиххруктурах в глубж недра.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе работы проводились: сбор и обобщения геологических, геофизических и гидрогеологических материалов по изучаемому району, результатов бурения и испытания скважин, проведение замеров пластовых давлений и температур, оценка совместимости жидких отходов с пластовыми водами, выбор объектов, пригодных для подземного размещения промышленных стоков и жидких отходов, расчет параметров закачки, выбор способов контроля за надежностью их размещения.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование способов закачки жидких отходов в геологические структуры должно поддерживать экологическую безопасность и экономический эффект по сравнению с применяемыми физическими, химическими и термическими методами утилизации (рис. 1).

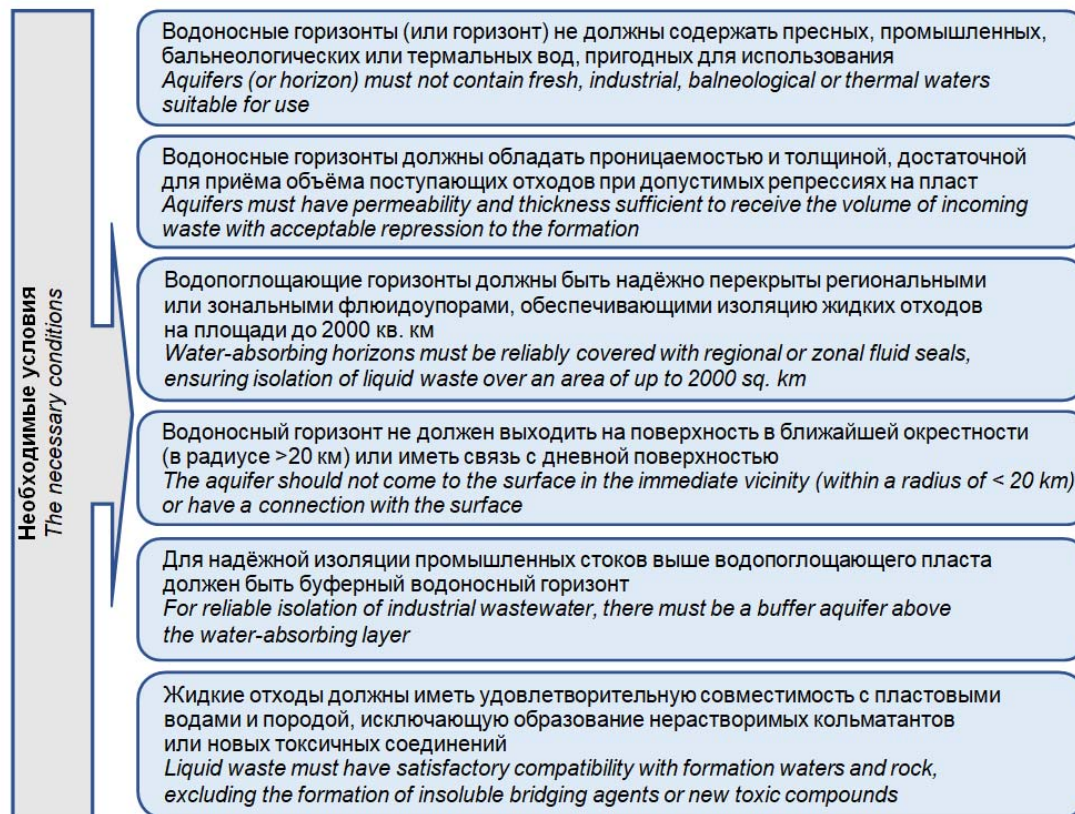


Рисунок 1. Необходимые условия для захоронения промышленных стоков и жидких отходов в водоносных горизонтах

Figure 1. Necessary conditions for storage of industrial wastewater and liquid waste in aquifers

Анализ промысловых материалов показывает, что при выборе метода закачке ПСЖО не всегда соблюдается эти условия (рис. 1) и не учитываются основные факторы размещения их в водоносный комплекс [4]. Рассмотрим данную проблему на примере хадумского горизонта (бывшего Северо-Ставропольского газового месторождения – ССГМ):

- в водах горизонта концентрация йода достигает 40–60 мг/дм³, брома – 95–115 мг/дм³, что позволяет относить их к промышленным, пригодным для извлечения этих компонентов, где область наибольшего содержания йода приурочена к полосе развития зон наиболее проницаемых коллекторов;
- над водоносным горизонтом нет хорошо проницаемых водоносных горизонтов, не имеющих выходов на поверхность в зоне влияния будущего полигона и могущих быть буферными, способными

принять жидкие отходы, в случае непредвиденных аварийных перетоков;

- предположение о том, что жидкие отходы (ЖО) состоят в основном из пластовых вод бывшего газового месторождения, неверно и поэтому исследования их совместимости не проводились; предложенная система подготовки сточных вод к закачке не обеспечивала [5];

- их совместимости (ЖО содержали агрессивные компоненты – CO₂ и H₂S), в анаэробных условиях образовывались сульфиды железа, колющие пласт и трубопроводы).

Изучения данного вопроса показала, что для захоронения промстоков более подходящим является палеоценовые водоносные комплексы бывшего ССГМ (рис. 2).

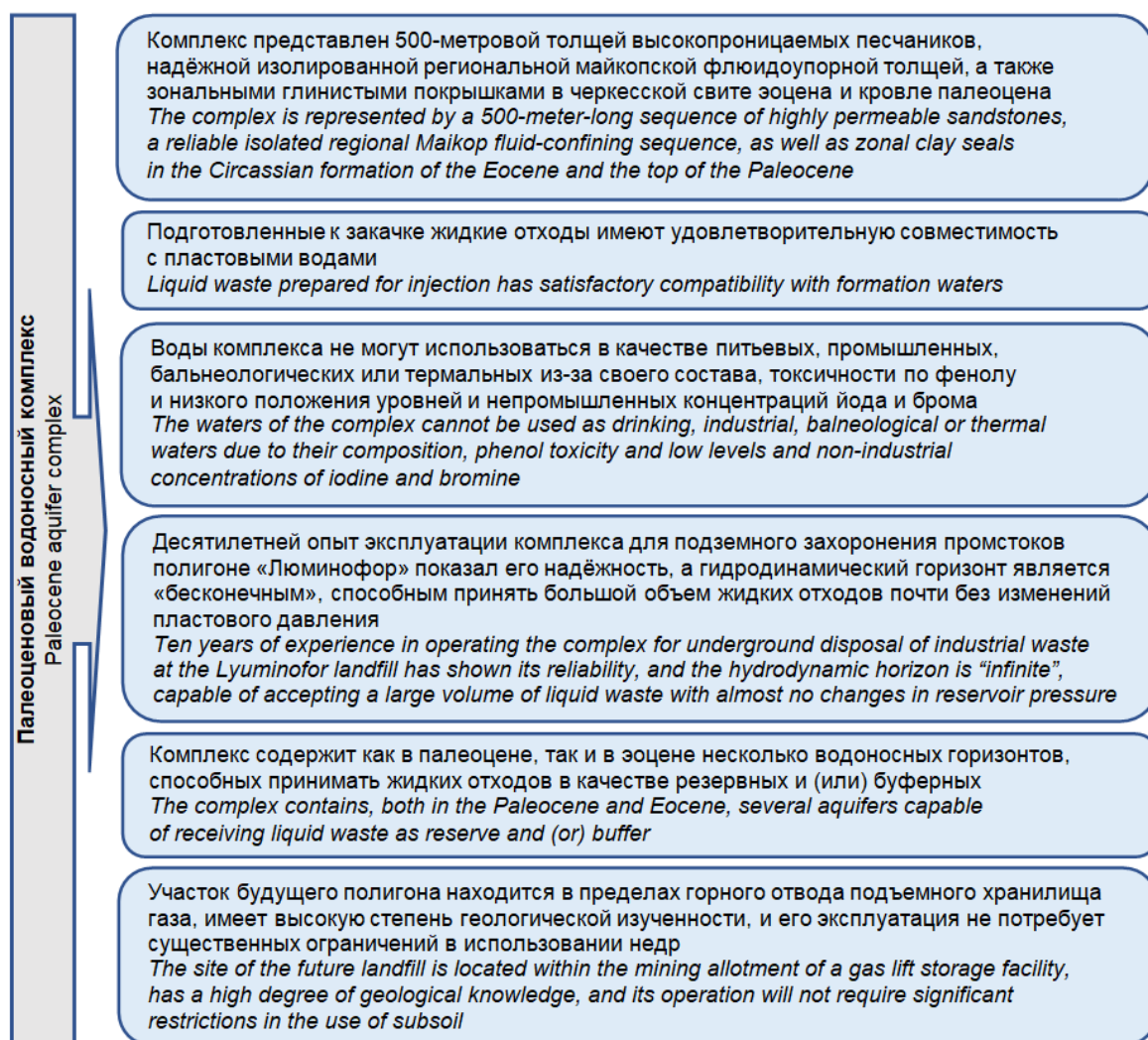


Рисунок 2. Палеоценовый водоносный комплекс для захоронения промышленных стоков и жидких отходов
Figure 2. Paleocene aquifer complex for the disposal of industrial wastewater and liquid waste

Для закачки ПСЖО используется в основном поглощающая скважина, где выбираются несколько геологических объектов, в которых размещаются отходы.

Конструкции скважин должны позволять использование их по результатам пробных гидрогеологических работ (откачка – закачка, оценка совместимости пластовых вод с жидкими отходами) как поглощающие или наблюдаемые, обеспечивающих

подготовку ЖО до удовлетворительной совместимости с пластовыми водами и исключая образование в пласте нерастворимых колюматантов и повышенную коррозию оборудования.

Жидкие отходы (промышленные стоки), это отходы, которые не поддаются биологической очистке из-за повышенного содержания, большой загрязнённости нефтепродуктами и химическими реагентами. Требования к хранению ПСЖО в

геологических структурах направлены, прежде всего, на охрану подземных водоносных горизонтов, вода которых в настоящее время используется для питьевого и хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоносных горизонтов, содержащих воду, используемую в бальнеологических и промышленных целях. Запрет не распространяется на сброс промышленных сточных вод в глубокие водоёмы [6–8].

Захоронение сточных вод в глубокие горизонты может осуществляться при обоснованной технической невозможности или эколого-экономической нецелесообразности обезвреживания жидких отходов на земле с учетом их совместимости с пластовыми водами и коренными породами пласта (оба этих условия должно быть отражено в заключении специализированной научно-исследовательской организации) (рис. 3).

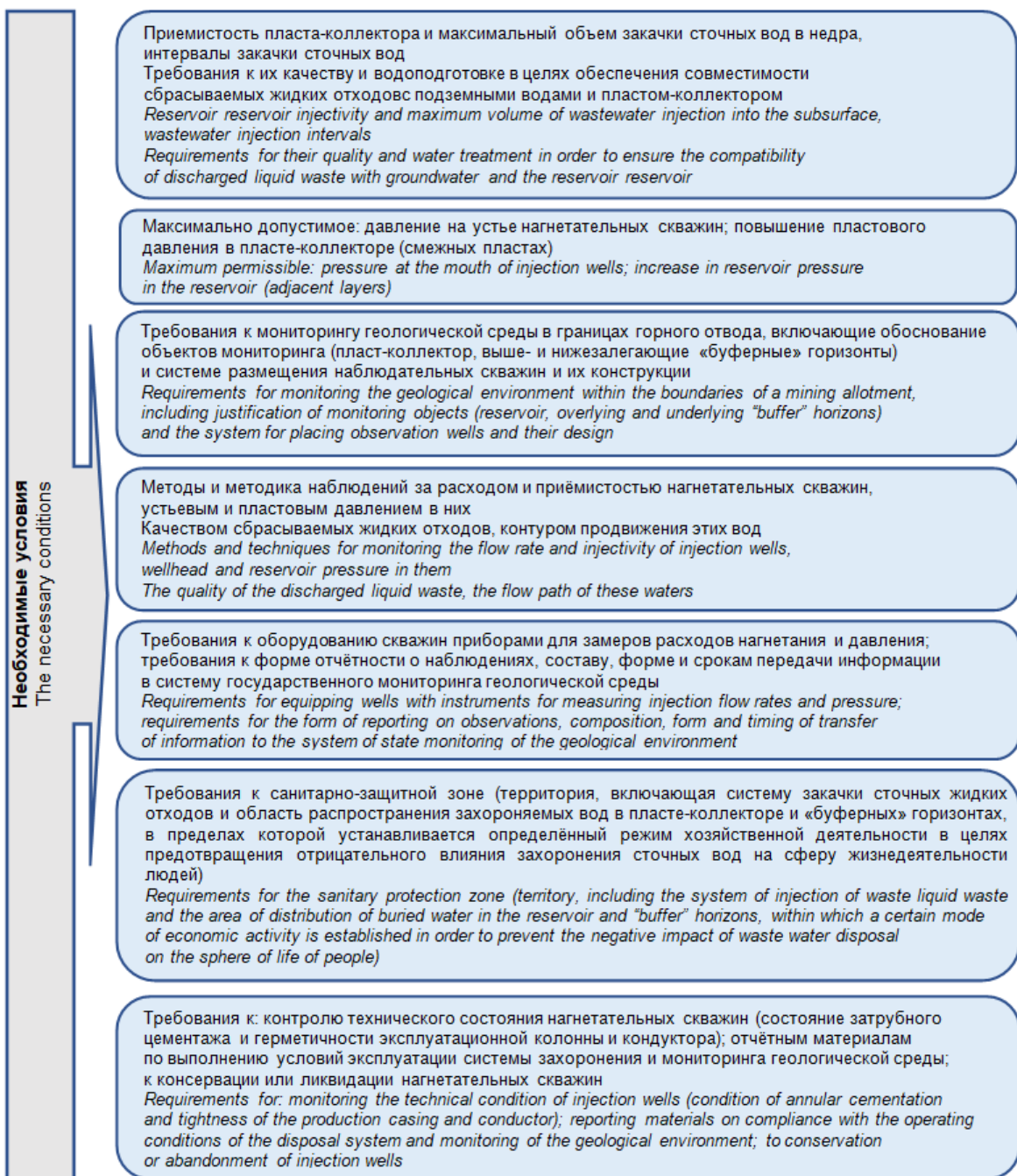


Рисунок 3. Необходимые условия для захоронения промышленных стоков и жидких отходов в геологических структурах

Figure 3. Necessary conditions for the storage of industrial wastewater and liquid waste in geological structures

По мере выработки основных месторождений Юга России, регион из газоснабжающего постепенно становится газопотребляющим и представляет свои территории для хранения и газотранспортировки природного газа в Закавказье и на Северный Кавказ. В качестве ёмкостей для подземного хранения ПСЖО в

бывшем ССГМ возможно использование два пласта-коллектора (рис. 4).

Покрышками для обоих газоносных пластов служат глинистые толщи, мощность которых в верхней части разреза достигает 500 м, где характер газоносной залежи — пластово-сводовый. Граница газоводяного

контакта (по хадумскому горизонту) при максимально-возможном заполнении хранилища практически совпадает с границей горного отвода подземного хранилища газа. Граница газоводяного контакта (по

хадумскому горизонту) при максимально-возможном заполнении хранилища практически совпадает с границей горного отвода подземного резервуара [8–10].

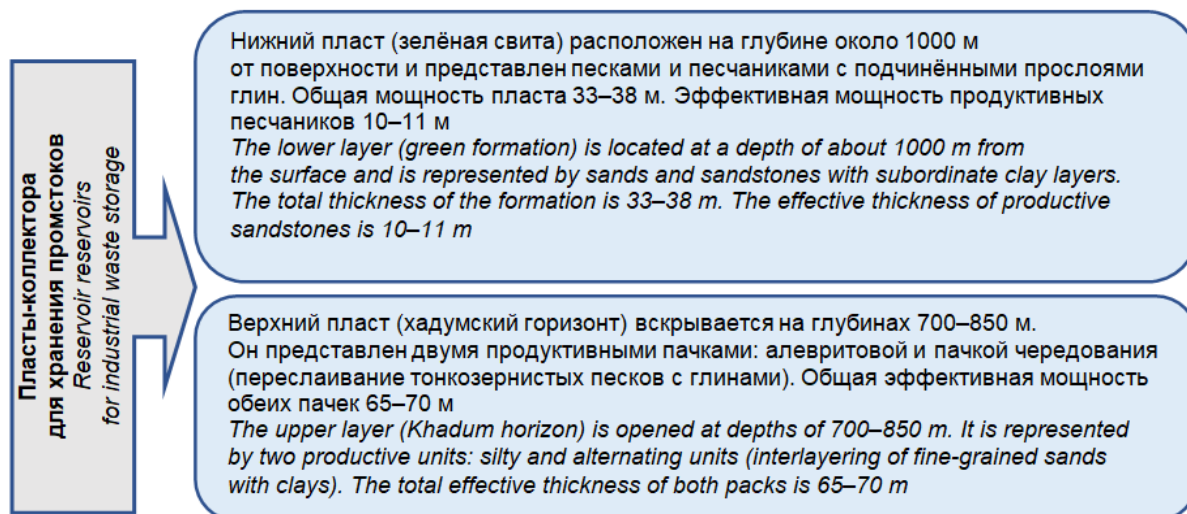


Рисунок 4. Возможные пласты-коллектора для использования в качестве ёмкостей для подземного хранения промстоков

Figure 4. Possible reservoir layers for use as tanks for underground storage of industrial wastes

Подземное хранилище газа – комплекс технических сооружений в пластах геологических структур, предназначенных для закачки, хранения и последующей добычи газа, и включает в себя подземное хранилище, ограниченное горным отводом, фондом скважин различного назначения, сбора газа и технологические комплексы, компрессорный цех, где формируется большое количество ПСЖО различных типов. компрессорный цех, где формируется большое количество ПСЖО различных типов. В подземных хранилищах газа, например, жидкие отходы, состоящие из конденсированной пластовой воды, технической воды для питающих насосов и промывных систем, подаются на локальные очистные сооружения дожимной компрессорной стаеции и после отстаивания подаются под давлением. Вода для закачки в поглощающую скважину на Хадумском горизонте, из которой добывается газ. Максимальный объем перекачиваемых промышленных сточных вод составляет 65 м³/сут. Следует отметить, что состав сточных вод не постоянен, а варьируется по содержанию минерализации, H₂S+HS⁻, CO₂ag, SO₄²⁻, механические примеси.

Проведённые исследования и расчёты показали, что проектирование и строительство установок биологической очистки стоков от органических компонентов (диэтиленгликоль, метанол, фенолы) перед их закачкой в пласт технологически и экономически не оправдано [11; 12]. Согласно результатом исследований по водоотведению в процессе всего цикла работы подземного хранилища (отбор-закачка) дополнительно расходуется технологическая вода в объеме, примерно равном объему попутных вод. В период цикла закачки газа отводится только отработанная технологическая вода сульфатно-натриевого генетического типа, минерализация 0,45 г/дм³, pH-7,7.

Нижнемеловые отложения (кровля 1785 м) в нижней части представлены плохо проницаемыми песчаниками, залегающими на глубинах 1783–1800м, и сверху в интервале 1783–1775 м перекрыты маломощными альбскими темно-серыми плотными глинами толщиной 8 м, которые являясь флюидоупором на всей территории Предкавказья, имеют толщину до 200 м и более. Они разделяют верхнемеловые и нижнемеловые водоносные комплексы [13; 14]. Верхнемеловые отложения (известняки) залегают в интервале 1706–1783 м и объем резервуара ограниченный, так как в данном комплексе он представлен трещиноватыми (1725–1735 м) водонасыщенными известняками.

Одним из необходимых условий при выборе геологической структуры о захоронении промстоков в пластах является отсутствие проводящих глубинных разломов. Анализ тектонического строения Северо-Ставропольской геологической структуры показывает, что последний отвечает необходимым условиям изоляции. В радиусе 40 км от него промстоки не будут иметь связи с дневной поверхностью через высокоамплитудные тектонические нарушения. В случае если в районе и имеются малоамплитудные сейсмические нарушения, не обнаруженные сейсморазведкой, то последние не могут служить окнами, так как майкопский и эоценовый региональные флюидоупоры обеспечивают надежную изоляцию высокопластичными глинами.

По гидрогеологическим особенностям в разрезе Центрального Предкавказья выделяются два водоносных этажа: донеогеновый и неогеновый, разделенные мощной толщей майкопских глин, выполняющих роль регионального флюидоупора (рис. 5).

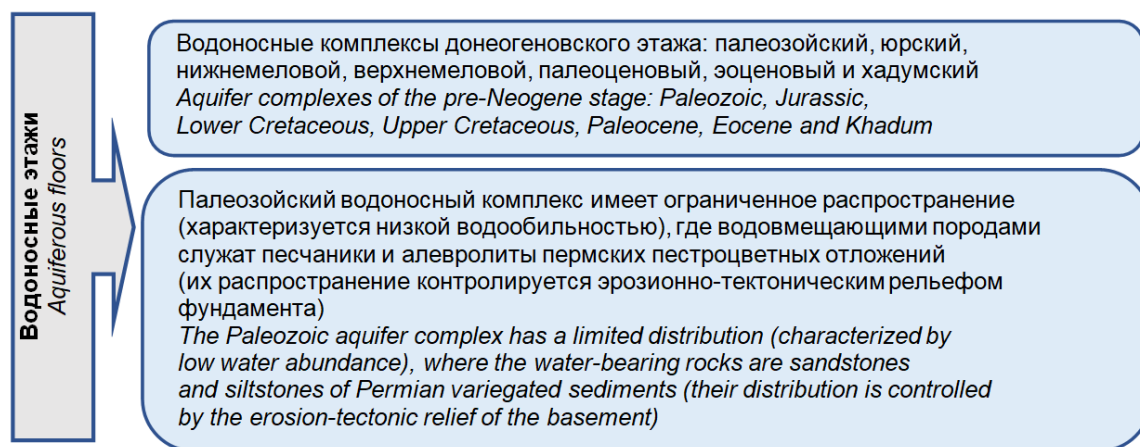


Рисунок 5. Водоносные этажи выделяемые по гидрогеологическим особенностям в разрезе Центрального Предкавказья

Figure 5. Aquifers identified by hydrogeological features in the Central Ciscaucasia section

Нижнемеловой водоносный комплекс распространен повсеместно за исключением отдельных площадей Ставропольского свода, выполняющий роль своеобразной преграды, которую подземные воды обтекают. По гидрохимическим особенностям в комплексе прослеживается четкая зональность. В районах, прилегающих к выходам нижнемеловых отложений, на дневную поверхность распространены слабоминерализованные воды (1–5 г/дм³). По мере фильтрации вод к северу минерализация их закономерно увеличивается, достигая 60–90 г/дм³ в зоне затрудненного водообмена.

Гидрогеологические особенности верхнемеловых пород показывает, что областью питания служит полоса выходов трещиноватых известняков верхнего мела вдоль северного склона Кавказского хребта. В рассматриваемом районе минерализация вод составляет 35–60 г/дм³. Из-за низкой приемистости воды верхнемеловых отложений не могут быть использованы для подземного захоронения жидких отходов. Палеоценовый и эоценовый водоносные комплексы в Центральном Предкавказье представляет уникальный объект из-за значительной толщины песчаных образований хорошей проницаемости. Минерализация вод палеоцен-эоценовых отложений закономерно увеличивается в направлении их движения от 300–500 мг-экв/дм³ на юге до 2000–3000 мг-экв/дм³ на севере (от 9–13 до 60–80 г/дм³). Зона опреснения подземных вод, условно оконтуренная минерализацией 500 мг-экв/л (13 г/дм³), протягивается с юго-запада на север, занимая наиболее приподнятую часть Ставропольского свода. В этой зоне на ряде площадей получены обильные притоки весьма слабо минерализованных вод – (70–150 мг-экв/дм³).

По разрезу палеоценового и эоценового водоносного комплексов с глубиной наблюдается увеличение общей минерализации вод. Химический состав вод зависит от общей минерализации. Для слабо минерализованных вод характерно преобладание щелочей над хлоридами. В водах сильно минерализованных (свыше 1000 мг-экв/дм³) хлориды преобладают над щелочами. Содержание сульфатов обычно 20–30 мг-экв/дм³.

Хадумский водоносный горизонт приурочен к полосообразным песчаным образованиям различной толщины. Между хадумским горизонтом и

палеоценэоценовым комплексом залегают глинисто-мергельные эоценовые отложения, которые обычно выполняют роль водоупорных разделов.

Многочисленные данные по статическим уровням указывают на движение вод в хадумском горизонте с запада-юга-запада на северо-восток. Величины напоров в этом направлении изменяются от 190 до 35 м. Хадумский горизонт повсеместно перекрывается мощной толщей глин майкопа, которая надежно изолирует его от вышележащих водоносных горизонтов неогена. Эти данные по региональной гидрогеологии однозначно указывают на палеоценовый и эоценовый комплексы, как наиболее благоприятные для захоронения ЖО.

Отличительной особенностью караганчокракской залежи является природное аномально низкое пластовое давление. При глубинах залегания 100–280 м давление всего 0,03–0,15 МПа. Статические уровни находятся на отметках +130–140 м. Минерализация вод, как правило, заполняющих до половины толщины пласта – 2–4 г/дм. Они относятся, в основном, к гидрокарбонатно-натриевому типу. Эти отложения выходят на дневную поверхность в зонах развития оползней на Сенгилеевском выступе на расстоянии 20–30 км от создаваемых полигонов. Оползни играют роль своеобразных клапанов, закупоривающих газ во время подвижек. Этот газодяной комплекс очень удобен в качестве индикатора аварийных заколонных перетоков, так как из-за АНПД при заполнении маломощных пластов околоскважинного пространства проток прекратится поступление газа. Воды сарматского водоносного комплекса безнапорные инфильтрационного типа, развиты повсюду, где сохранилась верхняя песчано-известковая серия среднего сармата (глубина уровней достигает 15–25 м). Минерализация вод обычно 0,3–0,8 г/л. Сарматские воды часто используются для местного водоснабжения, поэтому необходим контроль за загрязненностью этого горизонта. При выборе рабочего поглощающего объекта требуется соблюдать определённые условия [15–17]:

- объект должен иметь высокие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), способный обеспечить планируемую приемистость нагнетательных скважин;

- объект должен залегать под эксплуатируемыми объектами подземного хранилища изолирован снизу и сверху крышками, сложенными глинами или сильно глинистыми алевролитами, выполняющими роль флюидоупоров;

- по гидродинамическим и гидрохимическим показателям объект должен находиться в зоне застойного режима;

- объект не должен иметь связи с гидродинамической системой подземного хранилища;

- жидкие отходы должны быть совместимы с пластовыми водами и породами рабочего поглощающего объекта;

- выше поглощающего объекта должны находиться резервные объекты и буферные пласты, на которые при кольматации основного объекта возможен возврат, а также проведение мониторинга за возможными вертикальными перетоками жидких отходов;

- поглощающие скважины должны быть расположены в пределах санитарно-защитных зон.

В гидрогеологическом обосновании подземного захоронения промстоков было выделено четыре (I, II, III, IV) объекта для подземного захоронения ЖО. Наиболее перспективным для захоронения жидких отходов рассматривался III объект, аналог полигона «Люминофор», который, как установлено опытно-промышленной эксплуатацией обладает высокой поглощательной способностью до 1800 м/сут. Исходя из результатов анализа, наиболее перспективным поглощающим горизонтом является третий объект палеоцена, на который пробурены нагнетательные и резервные-наблюдательные скважины. Межскважинная корреляция геолого-геофизических разрезов позволила расчленить разрез палеоцена (свита горячего ключа) на пачки. На основании этих данных с учётом ранее пробуренных поисковых и эксплуатационных скважин построены структурные карты

подшвы и кровли основного (III) поглощающего объекта, а также кровли буферного (IV) горизонта.

Анализ структурных планов показывает на малые углы падения пластов, составляющие $0^{\circ}30'$. Это позволяет сделать прогноз о том, что смещение «пятна загрязнения» жидких отходов будет происходить незначительно. Исследование показало, что размещаемые в пласт промышленные сточные воды не будут вызывать набухание глинистого компонента пласта, так как его соотношение к сумме катионов в дренаже $(Ca + Mg)/100$ составляет 46,5 %, что на 45,3 % выше этого соотношения в пласте. вода (1,2 %). Поэтому образование солей неорганических соединений при сбросе сточных вод в палеоценовый комплекс непредсказуемо, что подтверждается лабораторными экспериментами. Из-за высокого содержания органических компонентов химическая потребность сточных вод в кислороде превышает 2000 мг $O_2/дм^3$ [5; 16]

Чтобы обеспечить стабильную работу скважин при сохранении способности к закачке, сточные воды необходимо предварительно очищать и доводить до состояния, соответствующего определенным параметрам [5] (рис. 6).

Технологические методы очистки сточных вод включают в себя следующие процессы в зависимости от качественных показателей: нейтрализацию, осаждение, применение ингибиторов коррозии и солеотложений, биоцидов, деаэрацию, осаждение нестабильных компонентов [5].

Набухаемость глинистой составляющей пласта-коллектора сточных вод прогнозируется по соотношению коэффициентов в пластовых (K_{fw}) и сточных водах (K_{ww}).

Набухаемость глин пласта не прогнозируется в том случае, если $K_{ww} \geq K_{fw}$. Оптимальный вариант, когда массовая концентрация концентрации ионов кальция и магния в стоках составляет не менее 10 % от суммы катионов [9; 14].

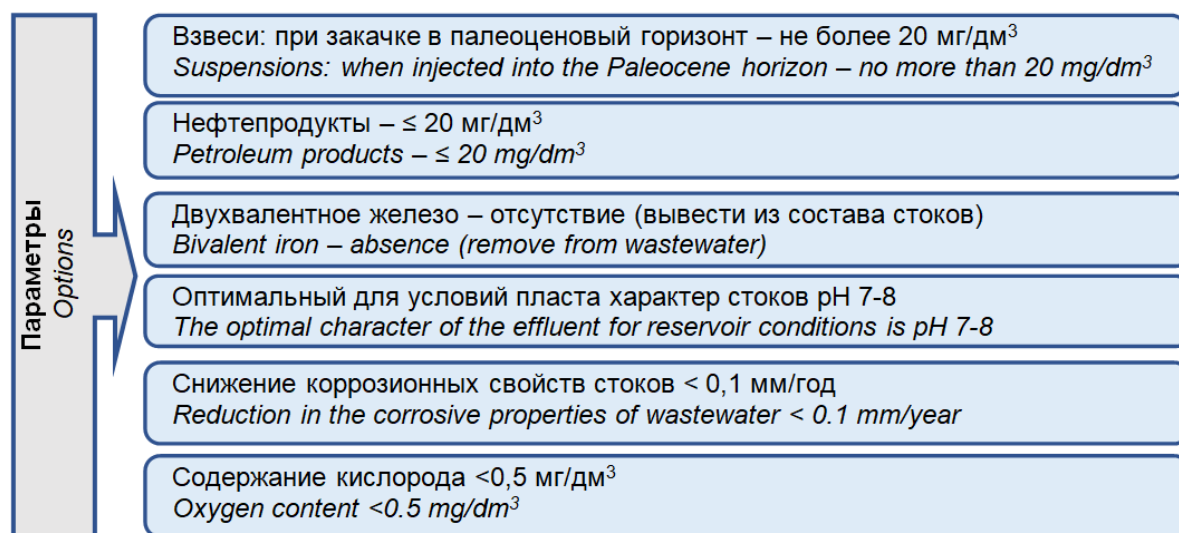


Рисунок 6. Параметры предварительной подготовки жидких стоков к захоронению в водоносных горизонтах

Figure 6. Parameters for the preliminary preparation of liquid wastewater for disposal in aquifers

Совместимость по основным осадкообразователям: карбонатам и сульфатам кальция ($CaCO_3$, $CaSO_4$) является неперменным условием при проведении

закачки стоков в глубокопогруженные горизонты. Как известно, количество выпадающего карбонат кальция контролируется карбонатным равновесием,

отражающим соотношением между CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} в растворе. Количественные соотношения данных компонентов могут определяться концентрацией ионов водорода (величина pH), которая характеризует условия равновесия между жидкой фазой, с одной стороны, и твердой и газообразной – с другой [3; 13].

На этом основан прогноз возможности осаждения карбоната кальция сравнением фактического pH воды с расчетным значением pH_s при насыщении данной воды карбонатом кальция в интервале температур от 0 до 90 °C. За показатель солеотложения принимают «индекс насыщения» – IS и «индекс стабильности» – ISt:

$$IS = \text{pH} - \text{pH}_s, \quad (1)$$

где pH – экспериментальные данные; pH_s – равновесное насыщение воды карбонатом кальция.

IS позволяет оценить способность смеси отлагать или растворять карбонат кальция, а ISt качественно оценивает солеотложения. Процесс образования гипса в водных системах контролируется присутствием Ca^{2+} , SO_4^{2-} – и других ионов и зависит от дефицита насыщения растворов CaSO_4 , который определяется с помощью расчетных формул и номограмм [14]. Отложений гипса также не прогнозируется: дефицит насыщения смесей составляет 2176, 1963, 1711 мг/дм³, соответственно. Прогноз выпадения сульфатных солей основывается на результатах оценки насыщенности вод непосредственно сульфатом кальция, основанной на теории активности ионов в диапазоне температур от 0 до 90 °C [10; 11].

Породы палеоценового комплекса представлены темно-серыми, квар-цитовидными, слабосцементированными светло-серыми песчаниками с прослоями известковых разностей со средней проницаемостью 0,04 мкм². Допустимое содержание механических примесей в стоках для таких коллекторов 20 мг/дм³, нефти – 20 мг/дм³. Механические примеси – жидких отходов представлены гидроксидом железа;

гидроксидом и сульфидом железа, нерастворимый в соляной кислоте остаток составляет 55,65 %.

Стоки коррозионно-агрессивны, содержание $\text{CO}_{2\text{агр}}$ до 70 мг/дм³, pH – 5,6, содержание Fe_3^+ – до 6 мг/дм³, Fe_2^+ – до 150 мг/дм³. Содержание H_2S + HS- в осадке составило до 2,38 мг/дм³. Скорость коррозии (по образцам-свидетелям) при закачке стоков в нагнетательные скважины составлял 0,026–0,18 мм/год.

В анаэробных условиях пласта за счет процессов сульфатредукции (при содержании $\text{Fe}_2^+ = 150$ мг/дм³) может образоваться осадок сульфида железа (более 240 мг/дм³), кольтирующий пласт (при закачке 200 м³/сут. масса осадка составит 48 кг). Набухаемость глинистой составляющей пород определяется отношением суммы двухвалентных катионов к общей сумме катионов в стоках, в сравнении с таковой в пластовой воде.

Для палеоценового комплекса набухаемость не прогнозируется, так как это отношение в стоках (16 %) и технической воде (56 %) выше, чем в пластовой воде палеоцена. Оценка вероятности выпадения в пласте неорганических солеотложений (сульфатов и карбонатов кальция), определялась лабораторными экспериментами и расчетами. Прогноз осаждения карбонатов кальция проведен с помощью расчетов по методике Стиффа-Девиса [12; 16] (рис. 7).

Возможность отложения гипса в смеси сточной и пластовой вод оценивают по коэффициенту перенасыщения, который зависит от концентрации ионов сульфатов и кальция в смеси вод.

Учитывая, что состав закачиваемых промстоков не постоянен, расчет физических свойств промстоков в пластовых условиях производится для двух участков подземного захоронения по усредненным параметрам. Средняя плотность промстоков по результатам проб из накопительной емкости и жидких отходов после основных технологических процессов составляет 1000 кг/м³. Максимальное значение минерализации по результатам анализов отдельных составляющих промстоков составляет 3,2 г/дм³ [5; 12]

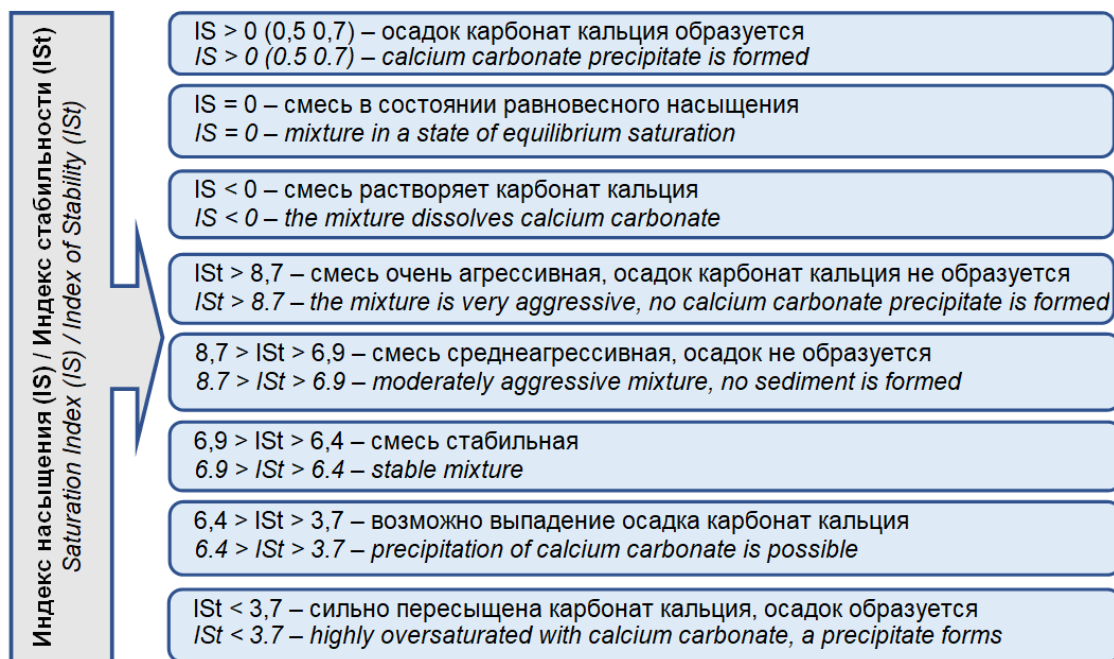


Рисунок 7. Прогноз осаждения карбонатов кальция

Figure 7. Prediction of calcium carbonate precipitation

Коэффициенты сжимаемости и динамической вязкости промстоков в пластовых условиях определены в соответствии с [4; 11]. Расчетные значения динамической

вязкости, коэффициента сжимаемости воды для термобарических условий пласта-приемника представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика физических свойств промстоков в пластовых условиях

Table 1. Characteristics of the physical properties of industrial wastewater in reservoir conditions

Коэффициенты a_0, a_1, a_2, T Odds, a_0, a_1, a_2, T	$\rho_w, \text{кг/м}^3$ $\rho_w, \text{kg/m}^3$	$M, \text{г/л}$ $M, \text{g/l}$	$\beta_f, \text{МПа}^{-1}$ β_f, MPa^{-1}	$t_{rt}, ^\circ\text{C}$ $t_{rt}, ^\circ\text{C}$	a_μ a_μ	$\mu_1, \text{МПа}\cdot\text{с}$ $\mu_1, \text{mPa}\cdot\text{s}$	$\mu_{dv}, \text{МПа}\cdot\text{с}$ $\mu_{dv}, \text{mPa}\cdot\text{s}$
$a_0 = 500$ $a_1 = -2,76$ $a_2 = 0,0306$ $T = 25 ^\circ\text{C}$	1000	3,2	$4,48 \cdot 10^{-4}$	79	$7,15 \cdot 10^{-4}$	0,36	0,363

где, T – пластовая температура начальная, $^\circ\text{C}$; M – минерализация воды, г/л ; β_f – коэффициент сжимаемости жидкости, МПа^{-1} ; t_{rt} – пластовая температура, $^\circ\text{C}$; a_μ – коэффициент, влияние минерализации на вязкость воды; μ_1 – коэффициент динамической вязкости дистиллированной воды при заданной температуре, $\text{МПа}\cdot\text{с}$; μ_{dv} – динамическая вязкость, $\text{МПа}\cdot\text{с}$.

Под влиянием закачки промышленных сточных вод в палеоценовом водоносном комплексе произойдет повышение пластового давления. Радиус влияния закачки зависит от пьезопроводность пласта (χ) и период закачки ЖО.

За 20-летний период рассматриваемых скважинах: радиус и площадь влияния закачки промстоков составит: при $\chi = 23845,22 \text{ м}^2/\text{сут}$ 19790,35 м и 1229,8 км^2 ; при $\chi = 57361,43 \text{ м}^2/\text{сут}$ соответственно 30694,65 и 2958,4 км^2 .

Эффективная емкость поглощающего пласта определяется исходя из площади влияния закачки, эффективной толщины рабочего объекта захоронения и его эффективной пористости ($V_{эф} = S_k \cdot h_{эф} \cdot k_n$), где $V_{эф}$ – эффективный объем, м^3 ; S_k – площадь влияния закачки, м^2 ; $h_{эф}$ – эффективная толщина, м; k_n – коэффициент эффективной пористости.

Полезная емкость водоносного горизонта зависит также от упругих свойств пласта, которые проявляются при изменении пластового давления ($V_{упр} = \beta_n \cdot S_k \cdot h_{эф} \cdot \Delta P$), где $V_{упр}$ – приращение объема пласта за счет упругости, м^3 ; ΔP – средневзвешенное по площади избыточное давление, МПа; β_n – коэффициент упругости

пласта, МПа^{-1} . Коэффициент упругости пласта определяется ($\beta_n = k_n \cdot \beta_{ж} + \beta_c$), сумма коэффициентов сжимаемости жидкости ($\beta_{ж}$) и скелета породы (β_c). Коэффициенты сжимаемости при расчетах составляет: для жидкости $\beta_{ж} = 4,48 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$ и скелета породы при эффективной пористости 31% $\beta_c = 1 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$ [2, 15].

Коэффициент упругости для III объекта свиты горячего ключа палеоценовых отложений составляет: $\beta_n = k_n \cdot \beta_{ж} + \beta_c = 0,31 \cdot 4,48 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{-1}$.

Общая емкость поглощающего пласта (водоносного комплекса) определяется суммой эффективной емкости и приращения объема пласта за счет упругости.

При объемах закачке сточных вод 220 $\text{м}^3/\text{сут}$ (скважину №1Us) и 70 $\text{м}^3/\text{сут}$ (скважину №2Us), на конец расчетного 20-ного периода, их объем составит соответственно 1,6 млн м^3 и 0,511 млн м^3 . По отношению к общему объему поглощающего резервуара, объем закачиваемых промстоков составит 0,01 % и 0,0023 %.

В соответствии с требованиями, давление нагнетания не должно превышать давления гидроразрыва поглощающего пласта (ГРП). Для чего необходимо прогнозирование и мониторинг устьевое давление, при котором может быть достигнуто давление непроизвольного ГРП.

Расчетные данные по определению непроизвольного давления гидроразрыва сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета величины давления непроизвольного гидроразрыва поглощающего пласта по скважинам

Table 2. Results of calculating the pressure value of involuntary hydraulic fracturing of the absorbent formation by wells

Скважина, №	$H, \text{м}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$P_{vm}, \text{МПа}$	$P_{sm}, \text{МПа}$	$P_{fl}, \text{МПа}$	$P_{hf}, \text{МПа}$	$P_{ww}, \text{МПа}$
Well, No	H, m	$\rho, \text{kg/m}^3$	P_{vm}, MPa	P_{sm}, MPa	P_{fl}, MPa	P_{hf}, MPa	P_{ww}, MPa
1Us	1288	1005	28,89	13,38	0,164	24,38	12,49
2Us	1265	999	29,24	12,53	0,01	24,59	12,26

где, H – глубина залегания поглощающего пласта, м; ρ – плотность пластовой воды, кг/м^3 ; P_{vm} – вертикальное горное давление, МПа; P_{sm} – боковое горное давление, МПа; P_{fl} – потери давления на трение, МПа; P_{hf} – давление гидроразрыва, МПа; P_{ww} – давление на устье скважины, МПа.

Для не допущения ГРП поглощающего пласта не рекомендуется увеличение устьевое давление выше 10 МПа. При закачке промстоков в пласт в нагнетательной скважине будет происходить рост пластового давления. Расчет увеличения пластового давления в нагнетательных скважинах за 20-летний период эксплуатации полигона приведен в таблице 3.

Таблица 3. Расчет увеличения пластового давления в нагнетательных скважинах за 20-летний период эксплуатации полигона**Table 3.** Calculation of the increase in reservoir pressure in injection wells over a 20-year period of operation of the landfill

Сква- жина, № Well, No	γ , кг/м ³ γ , kg/m ³	Q , м ³ /сут Q , m ³ /day	k_f , м/сут k_f m/day	h_{ef} , м h_{ef} , m	χ , м ² /сут χ m ² /day	r_w^2 , м r_w^2 , m	P_{rp} , МПа P_{rp} MPa	ΔP_{ls} , МПа ΔP_{ls} MPa	t , сут t , day	ΔP_t , МПа ΔP_t MPa	P_{rp} , МПа P_{rp} MPa
1Us	1000	220	0,079	40	24901,84	0,01	10,85	1,8	365	1,5	14,11
									1825	1,6	14,24
									3650	1,63	14,28
									5475	1,66	14,31
									7300	1,67	14,32
2Us	1000	70	0,19	23	59903,19	0,01	10,65	0,5	365	0,36	11,51
									1825	0,38	11,53
									3650	0,39	11,54
									5475	0,4	11,54
									7300	0,4	11,55

где P_{rp} – пластовое давление, МПа; ΔP_t – увеличение пластового давления в следствие закачки промстоков в нагнетательной скважине, МПа; P_{ls} – потеря давления в замковых соединениях, МПа; Q – дебит закачки, м³/сут; γ – плотность стоков, кг/см³; k_f – коэффициент фильтрации, м/сут; h_{ef} – эффективная толщина пласта, м; t – продолжительность закачки, сут; χ – пьезопроводность, м²/сут; r_w^2 – радиус скважины, м.

Как следует из таблицы 4, максимальное пластовое давление в нагнетательных скважинах спустя 20-летний период закачки составит 14,32 МПа и 11,55 МПа, для скважин №1Us и №2Us соответственно. Как следует из приведенных расчетов, избыточное устьевое давление через 20-летний период эксплуатации полигона в скважине №1Us достигнет 2 МПа, что составит 15 % от устьевого давления

непроизвольного ГРП. В скважине №2Us избыточное давление на устье составит минус 0,8 МПа.

Как было показано выше, палеоценовый комплекс в зоне влияния закачки выходов на дневную поверхность не имеет, и в зоне воздействия закачки не расчленен региональными высокоамплитудными разрывными нарушениями. Расчеты проведены для бесконечного пласта. Повышение уровней пластовых вод на различных расстояниях от скважины в зависимости от ФЕС пласта и времени закачки рассчитано в соответствии с методикой [21]. Результаты расчета увеличения пластового давления при закачке промстоков в скважине приведены в таблице 4. Исходными параметрами для расчета приняты следующие:

Таблица 4. Результаты расчет увеличения пластового давления в результате закачки промстоков в поглощающий пласт палеоценовых отложений**Table 4.** Results of calculation of the increase in reservoir pressure as a result of injection of industrial waste into the absorbing layer of Paleocene sediments

Рост напоров Increase in pressure		Удаление от скважины, км Distance from well, km								
Продолжительность закачки, лет Duration of download, years		Исходные параметры для скважин №2 Us: $\gamma = 1$ г/см ³ ; $Q = 220$ м ³ /сут; $k_f = 0,076$ м/сут; $h_{эф} = 40$ м; $\chi = 23845,22$ м ² /сут Initial parameters for wells No. 2 Us: $\gamma = 1$ g/cm ³ ; $Q = 220$ m ³ /day; $k_f = 0.076$ m/day; $h_{ef} = 40$ m; $\chi = 23845.22$ m ² /day								
		0,82	1	2	5	7	10	12	15	20
1		19	17	9	-	-	-	-	-	-
5		29	26	18	8	4	-	-	-	-
10		33	30	22	12	8	4	2	-	-
15		35	33	25	14	10	6	4	2	1
20		37	34	26	16	12	8	6	3	1
Продолжительность закачки, лет Duration of download, years		Исходные параметры для скважин №3 Us: $\gamma = 1$ г/см ³ ; $Q = 70$ м ³ /сут; $k_f = 0,18$ м/сут; $h_{эф} = 23$ м; $\chi = 57361,42$ м ² /сут Initial parameters for wells No. 3 Us: $\gamma = 1$ g/cm ³ ; $Q = 70$ m ³ /day; $k_f = 0.18$ m/day; $h_{ef} = 23$ m; $\chi = 57361.42$ m ² /day								
		0,73	1	2	5	7	10	12	15	20
1		6	5	3	1	-	-	-	-	-
5		8	7	5	3	2	1	<1	<1	-
10		9	8	6	4	3	2	2	1	<1
15		10	9	7	4	4	3	2	2	1
20		10	9	7	5	4	3	3	2	1

Расчет радиуса «пятна загрязнения» произведен с учетом уже закачанного количества промстоков за прошедший период с начала эксплуатации полигона захоронения. Радиус «пятна загрязнения» для скважин рассчитан исходя из поршневого вытеснения стоками пластовых вод. Который зависит от: коэффициентов надежности (принимается 1,5), вытеснения пластовой воды (0,7) и эффективной пористости поглощающего пласта; эффективной толщины поглощающего пласта; объема и время закачки сточных вод. Радиус «пятна загрязнения» промстоками палеоценовых отложений при их закачке в течение 20 лет соответственно составили: в объеме 220 м³/сут – 368 м (скважина № 1Us) и 70 м³/сут – 272 м (скважина №2Us). По промысловым данным закачка промстоков в скважину №1Us производилась объеме более 10 раз чем в скважину №2Us ежегодно (32849 м³ при 3576 м³).

Кроме кругового распространения ЖО вокруг поглощающих скважин, необходимо учитывать снос «пятна загрязнения» естественным потоком пластовых вод. среднюю скорость движения палеоценовых вод определено в величине 2,5 м/год при перепаде уровней 34–40 м.

В таблице 5 приведены данные замеров пластовых давлений на полигонах «Люминофор» (Lph) и рассматриваемого полигона (CP), из которых видно, что перепад напоров между скважинами незначителен и находится в пределах погрешности инструментальных замеров. Поэтому для оценили скорость сноса используем данные перепада напоров между скважинами 2Люм, 1РП и участками захоронения, на которую влияет коэффициент проницаемости, перепад напоров, динамическая вязкость, расстояние между скважинами и пористость.

Таблица 5. Расчет сноса зон распространения промстоков в поглощающем пласте

Table 5. Calculation of the drift of industrial waste zones in the absorption layer

Пункты сравнения, скважины Comparison points, wells	Расстояние между скважинами, м Distance between wells, m	Проницаемость, 10 ⁻¹² м ² Permeability, 10 ⁻¹² m ²	Перепад давления, МПа Drop pressure, MPa,	Динамическая вязкость, МПа.с Dynamic viscosity, MPa.s	Пористость, доли ед. Porosity, fractions of units	Скорость, м/год Speed, m/year	Расстояние сноса через 20–100 лет, м Demolition distance after 20–100 years, m
2Lph / 1CP	21600	0,0323	0,2	0,347·10 ⁻⁹	0,31	0,088	1,76 / 88
2Lph / 2CP	36000	0,0777	0,17	0,347·10 ⁻⁹	0,31	0,1	2 / 100

Из проведенных расчетов видно, что как в период закачки, так и после ее прекращения зона, занятая промстоками в пласте, будет находиться в пределах горного отвода подземного резервуара. Забойные давления весь период закачки не будут достигать давлений ГРП.

При пользовании недрами для захоронения сточных вод устанавливаются границы горного отвода, соответствующие контуру распространения сточных вод в пласте-коллекторе и смежных (буферных) водоносных горизонтах на конец расчетного срока эксплуатации. Соответственно, горный отвод для рассматриваемого первого и второго участка должен охватывать радиус распространения промстоков в поглощающем и буферном пласте на конец 20-летнего периода эксплуатации полигона. По скважине №1Us и №2Us радиус распространения промстоков соответственно составляет 368 м и 272 м, где при использовании скважины №3Us и №4Us как резервные под закачку промстоков, необходимо при установлении горного отвода учесть возможный радиус распространения промстоков. При параметрах поглощающего пласта соответственно для первого и второго участка: $h_{ef}=36$ м и 33 м, $k_n=0,28$ и 0,29 и закачке с дебитом $Q=220$ м³/сут и 70 м³/сут в течение 20 лет, радиус распространения стоков составит соответственно 408 м и 235 м.

Поглощающий горизонт, как резервные, так и буферные не имеют выходов на дневную поверхность и не осложнены региональными дизъюнктивными нарушениями в зоне распространения влияния закачки. Участки полигона закачки промстоков расположены на разных периклиналях одной складки, и над буферным горизонтом в каждом их выделяется шестиметровый глинистый пропласток. Над поглотительным горизонтом эксплуатируется подземное хранилище газа в

зеленой свите и хадумском горизонте, которые в свою очередь залегают под пятисотметровой толщей майкопских глин.

В связи с крайне благоприятными геологическими условиями для подземного захоронения сточных вод, основной причиной отклонения от проектных показателей эксплуатации полигона может служить колюматация интервалов перфорации и призабойной зоне пласте. При этом может развиваться целый ряд негативных процессов: повышается давление нагнетания в поглощающую скважину, увеличивается гидродинамическое воздействие на поглощающий горизонт и увеличивается радиус распространения промстоков. Если указанные процессы не регулировать, то они могут создать крайне неблагоприятную гидрогеологическую обстановку: увеличение пластового давления в поглощающем горизонте выше давления ГРП, повышение уровня жидкости в контрольных скважинах выше устья и выход пятна распространения промстоков за границы горного отвода.

Были рассмотрены базовый вариант закачки промстоков, где объемы закачки приняты по максимальной производительности очистных сооружений, где периодичность закачки осуществляется в течение всего года, с целью не допустить выхода «пятна распространения» промстоков за пределы предполагаемого горного отвода.

При закачке промстоков в поглощающем пласте будет происходить изменение гидродинамического поля. Вокруг нагнетательной скважины формируется репрессивная воронка и происходит увеличение напоров в пласте-коллекторе. При рассматриваемых дебитах закачки и принятых параметрах пласта площадь влияния на конец

расчетного срока эксплуатации полигона по участкам №1Us и № 2Us составит 1230 км², и 2960 км² соответственно. Оказываемое прогнозируемое воздействие невелико и практически не окажет заметного влияния на гидродинамическую обстановку в поглощающем пласте. Расчетное увеличение напора пластовых вод в наблюдательной скважине №1Us через 20-летний период эксплуатации полигона составит 40 м, а на расстоянии 15 км от нагнетательной скважины 3 м. В расчетах не учтено расформирование репресссионной воронки в периоды простоя нагнетательных скважин, что придает определенный запас прочности полученным результатам. В поглощающих скважинах также произойдет рост пластового давления, где за 20-летний период времени он составит 1,67 МПа (скважина №2Us) и 0,4 МПа (скважина №3Us).

Кольматация перфорационных отверстий и призабойной зоны пласта будет приводить к увеличению репрессии в скважине. Рассмотрено несколько вариантов возможных отклонений от проектных показателей эксплуатации полигона, в том числе и тот, при котором произойдет гидроразрыв поглощающего пласта. Для скважины №2Us минимальная необходимая для этого репрессия равняется 8,6 МПа. При дебите закачки в 220 м³/сут, для достижения такой величины репрессии необходимо снижение коэффициента приемистости с нынешних 121 м³/МПа·сут до 25 м³/МПа·сут. Как показал опыт эксплуатации полигона, процесс кольматации в скважине протекает медленно и при своевременном проведении необходимых наблюдений может быть своевременно обнаружен и устранен. Для скважины 3Us минимальная величина репрессии, при которой произойдет гидроразрыв пласта, составляет 13,3 МПа·сут, и будет достигнута при снижении коэффициента приемистости с нынешних 136 м³/МПа·сут до 5,3 м³/МПа·сут.

Следующим процессом, сопровождающим закачку промстоков в пласт-коллектор, будет его загрязнение жидкими отходами. Закачиваемые в водоносный горизонт промстоки будут оттеснять пластовые воды, частично смешиваясь с ними. Процесс смешивания рассмотрен в соответствующем разделе. Совместимость промстоков с пластовыми водами и породой поглощающего горизонта удовлетворительная. При соблюдении технологии подготовки промстоков кольматации пласта не ожидается. Нет оснований ожидать при смешивании образования каких-либо газов или новых токсичных веществ.

Рассчитанные радиусы распространения «пятен загрязнения» с учетом уже закачанного объема промстоков для скважин №2Us и №3Us составляют 368 м и 272 м соответственно. Снос промстоков в поглощающем пласте под воздействием естественного потока пластовых вод составит порядка 2 м за 20 лет. Через 1000 лет снос «пятен загрязнения» составит порядка 100 м и они не выйдут за пределы горного отвода ПХГ.

В результате закачки промстоков, имеющих температуру ниже пластовой в поглощающем пласте будет происходить формирование областей охлаждения вокруг поглощающих скважин. Области охлаждения пласта против интервалов поглощения при длительной закачке образуются на площади 0,1–0,2 км². После прекращения закачки происходит постепенное увеличение пластовой температуры.

Термометрия является показательным методом для контроля за распространением промстоков в поглощающем пласте. Нижняя его температурной аномалии граница будет определяться резким увеличением градиента на термограмме в работающей скважине, а верхняя – отрицательной аномалией на термограмме после остановки закачки даже на несколько часов.

Естественные изменения геологической среды, которые подразделяются на экзогенные и эндогенные, малозначимы и не вызовут аварийных ситуаций на полигоне. На Ставрополье в широких масштабах развиты такие экзогенные геологические процессы как оползни и оврагообразование. Но они затрагивают верхнюю часть геологической среды (первые десятки метров) и для коллекторских горизонтов, залегающих на глубинах 1100–1500 метров, они малозначимы. Эндогенные процессы являются основной причиной формирования тектонических структур. Усиление тектонической активности не бывает внезапным, ей предшествует длительный период усиления сейсмичности, измеряемый десятками и сотнями тысяч лет. Как показывает опыт, даже землетрясения практически не оказывают влияния на горизонты, залегающие на этих глубинах, в худшем случае может разрушиться устьевое оборудование.

Учитывая удовлетворительную совместимость очищенных промстоков с пластовыми водами и породой поглощающего пласта, негативных последствий, связанных с разрушением покрышек (растворение кислотами, выщелачивание и т.п.) не ожидается. Расчеты диффузии через покрышки толщиной более 50 м практического интереса не представляют и поэтому не выполнялись.

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что геологические и технологические условия подземного захоронения промстоков на рассматриваемом полигоне обеспечивают необходимый уровень экологической и промышленной безопасности, а при возникновении форсмажорных обстоятельств, возможны альтернативные варианты утилизации промстоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при фактических объемах закачки воздействие полигона захоронения промышленных стоков и жидких отходов на гидродинамическую систему минимально и выход промстоков за пределы горного отвода при фактических объемах закачки в поглощающий пласт толщиной 23 м практически не представляется возможным. Негативное воздействие на окружающую среду при предложенном виде утилизации промстоков будет оказываться в основном на глубокозалегающий поглощающий пласт, а благоприятные геологические условия участка захоронения практически исключают выход промстоков за пределы горного отвода и перетоки их в вышележащие отложения. А также над поглощающим горизонтом имеются два буферных горизонта и один резервный (зеленая свита и хадумский горизонт).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gasumov E.R., Gasumov R.A., Minchenko Yu.S. Features of the underground storages construction in depleted oil

- and gas condensate fields // *Notes of the Mining Institute*. 2020. V. 244. P. 418–427. DOI: 10.31897/pmi.2020.4.4
2. Ивченко М.В., Мельников Е.А., Хвостова В.Ю., Чугунов А.В. Захоронение промышленных сточных вод на подземных хранилищах газа // *Газовая промышленность*. 2017. N S1(750). С. 112–117.
3. Гасумов Э.Р., Велиев В.М. Методы обеспечения экологической безопасности при разработке малых газоконденсатных месторождений // *Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития»*, Ставрополь, Северо-Кавказский федеральный университет, 2020. С. 402–412.
4. Гасумов Э.Р., Павлюкова И.В., Гасумов Р.А., О влиянии техногенных факторов на геотехнические системы и обеспечении экологической безопасности разработки месторождений углеводородов // *Территория Нефтегаз*. 2016. N 7-8. С. 110–115.
5. Бешенцев В.А. Захоронение сточных вод в глубокие водоносные горизонты // *Научный лидер*. 2021. Вып. 9(11). URL: <https://scilead.ru/article/154-zakhoronenie-stochnik-vod-v-glubokie-vodonosn> (дата обращения: 3.04.2024)
6. Зверев В.П. Гидрохимические исследования системы гипсы подземные воды. Москва: Наука, 1967. 99 с.
7. Ильченко В.П. и др. Технология газопромысловых гидрогеологических исследований. Москва: Недра, 1997. 300 с.
8. Ильченко В.П. и др. Технология глубинных нефтегазопромысловых гидрогеологических исследований. Москва: Недра, 1992. 173 с.
9. Гасумов Р.А. Особенности разработки малых месторождений (на примере газоконденсатных месторождений Северного Кавказа) // *Записки горного института*. 2016. Т. 220. С. 556–563. DOI: 10.18454/PMI.2016.4.556
10. Ilinykh G. et al. A life cycle assessment of drilling waste management: a case study of oil and gas condensate field in the north of western Siberia, Russia // *Sustainable Environment Research*. 2023. V. 33. N 9. P. 1–17. <https://doi.org/10.1186/s42834-023-00171-0>
11. Крупнова Т.Г., Ракова О.В. Специальные методы очистки водных систем в промышленности. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. 70 с.
12. Абдурахманов Р.Ф. Проблема удаления жидких промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты // *Геологический вестник*. 2019. N 1. С. 159–165. <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-13>
13. Боровская В.А. и др. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты. Москва: Недра, 1976. 311 с.
14. Абдулмуталимова Т.О., Рамазанов О.М., Алхасов А.Б., Газалиев И.М. Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. N 2. С. 92–101. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-92-101>
15. Рыбальченко А.И. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. Москва: ИздАТ, 1994. 256 с.
16. Njuguna J. et al. The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations // *Waste Management*. 2022. V. 139. P. 362–380. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.025>
17. Krupskaya L.T., Orlov A.M., Golubev D.A., Kolobanov K.A., Filatova M.A. Assessment of environmental hazard of accumulated mineral processing waste of closed mining enterprises in the Amur river region and Primorye // *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020. V. 5. N 3. P. 208–223. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-208-223>

REFERENCES

- Gasumov E.R., Gasumov R.A., Minchenko Yu.S. Features of the underground storages construction in depleted oil and gas condensate fields. *Notes of the Mining Institute*, 2020, vol. 244, pp. 418–427. (In Russian). DOI: 10.31897/pmi.2020.4.4
- Ivchenko M.V., Mel'nikov E.A., Khvostova V.YU., Chugunov A.V. Chronation of industrial wastewater in underground gas storage facilities. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas Industry Journal]. 2017, no. S1(750), pp. 112–117. (In Russian)
- Gasumov E.R., Veliev V.M. [Metody obespecheniya ehkologicheskoi bezopasnosti pri razrabotke malykh gazokondensatnykh mestorozhdenii]. In: *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v neftegazovoi otrasli. Problemy ustoichivogo razvitiya»*, Stavropol', 2020 [Collection of works of the International scientific and practical conference "Innovative technologies in the oil and gas industry. Problems of sustainable development", Stavropol, 2020]. Stavropol, North Caucasus Federal University Publ., 2020, pp. 402–412. (In Russian)
- Gasumov E.R., Pavlyukova I.V., Gasumov R.A. Effect of man-made factors on geotechnical systems and ensuring ecological safety of hydrocarbon fields development. *Territoriya Neftegaz* [Territory "Neftegaz"]. 2016, no. 7-8, pp. 110–115. (In Russian)
- Beshentsev V.A. [Disposal of waste water in deep aquifers]. *Scientific leader*, 2021, no. 9(11). (In Russian) Available at: <https://scilead.ru/article/154-zakhoronenie-stochnik-vod-v-glubokie-vodonosn> (accessed 3.04.2024)
- Zverev V.P. *Gidrokhimicheskie issledovaniya sistemy gipsy podzemnye vody* [Hydrochemical studies of the gypsum-groundwater system]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 99 p. (In Russian)
- Il'chenko V.P. et al. *Tekhnologiya gazopromyslovykh gidrogeologicheskikh issledovaniy* [Technology of gas field hydrogeological research]. Moscow, Nedra Publ., 1997, 300 p. (In Russian)
- Il'chenko V.P. et al. *Tekhnologiya glubinykh neftegazoposkovykh gidrogeologicheskikh issledovaniy* [Technology of deep oil and gas exploration hydrogeological research]. Moscow, Nedra Publ., 1992, 173 p. (In Russian)
- Gasumov R.A. The specifics of operating minor deposits (as given by the examples of gas condensate deposits of the Northern Caucasus). *Journal of Mining Institute*, 2016, vol. 220, pp. 556–563. (In Russian) DOI: 10.18454/PMI.2016.4.556
- Ilinykh G. et al. A life cycle assessment of drilling waste management: a case study of oil and gas condensate field in the north of western Siberia, Russia. *Sustainable Environment Research*, 2023, vol. 33, no. 9, pp. 01–17. <https://doi.org/10.1186/s42834-023-00171-0>
- Krupnova T.G., Rakova O.V. *Spetsial'nye metody ochistki vodnykh sistem v promyshlennosti* [Special methods of cleaning water industry]. Chelyabinsk, South Ural State University Publ., 2020, 70 p. (In Russian)

12. Abdrakhmanov R.F. The problem of removal of liquid industrial effluents in deep aquifers. *Geologicheskii vestnik*, 2019, no. 1, pp. 159–165. (In Russian) DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-13>
13. Borevskaya V.A. et al. *Gidrogeologicheskie issledovaniya dlya zakhoroneniya promyshlennykh stochnykh vod v glubokie vodonosnye gorizonty* [Hydrogeological studies for the disposal of industrial wastewater in deep aquifers]. Moscow, Nedra Publ., 1976, 311 p. (In Russian)
14. Abdulmutalimova T.O., Ramazanov O.M., Alhasov A.B., Gazaliev I.M. The assessment of quality of groundwater used for drinking by the population of the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 92–101. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-2-92-101>
15. Rybalchenko A.I. et al. *Glubinnoe zakhoroneniye zhidkikh radioaktivnykh otkhodov* [Deep burial of liquid radioactive waste]. Moscow, Izdat Publ., 1994, 256 p. (In Russian)
16. Njuguna J. et al. The fate of waste drilling fluids from oil & gas industry activities in the exploration and production operations. *Waste Management*, 2022, vol. 139, pp. 362–380. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.025>
17. Krupskaya L.T., Orlov A.M., Golubev D.A., Kolobanov K.A., Filatova M.A. Assessment of environmental hazard of accumulated mineral processing waste of closed mining enterprises in the Amur river region and Primorye. *Mining Science and Technology (Russia)*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 208–223. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-3-208-223>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рамиз А. Гасумов и Эльдар Р. Гасумов собрали промышленные материалы и проводили исследования, проанализировали данные. 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

Ramiz A. Gasumov and Eldar R. Gasumov collected material in the field and conducted research, analysed the data. 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

Рамиз А. Гасумов / Ramiz A. Gasumov <http://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

Эльдар Р. Гасумов / Eldar R. Gasumov <http://orcid.org/0000-0003-2704-0523>

Оригинальная статья / Original article
УДК 330.35.011; 330.356; 330.15; 504.75.05
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14



Экологические аспекты экономического роста Российских регионов

Набиюла С. Гичиев¹, Надира О. Гусейнова²

¹Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

²Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Набиюла С. Гичиев, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом теории и методологии регионального развития, Институт социально-экономических исследований Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; 367030 Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 75.
Тел. +79034820767
Email nabi-05@mail.ru
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

Формат цитирования

Гичиев Н.С., Гусейнова Н.О. Экологические аспекты экономического роста Российских регионов // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 160-178. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14

Получена 22 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Целью исследования является оценка взаимосвязи динамики экономического роста и уровня выбросов загрязняющих веществ в экосистему регионов России в период с 1999 по 2023 год.

В работе использованы методы анализа уровня антропогенного воздействия на окружающую среду, основанные на оценке параметров «экологической кривой Кузнецца», декаплинга и регрессионной модели.

Анализ выполнен на основе данных, охватывающих 8 федеральных округов России, включая Южный и Северо-Кавказский федеральные округа. Рассмотрены особенности применения анализа экологической кривой Кузнецца для изучения взаимосвязи экологических и экономических показателей. Представлена количественная оценка взаимосвязи валового регионального продукта с показателями сброса загрязненных сточных вод, выбросами загрязняющих веществ в атмосферу по федеральным округам России: построена экологическая кривая Кузнецца, рассчитаны значения декаплинга и параметры регрессионной модели для федеральных округов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что экономическое развитие регионов России в долгосрочной перспективе не может быть в полной мере признано экологически сбалансированным и способствующим снижению его воздействия на окружающую среду. Результаты статистической оценки взаимного влияния антропогенного воздействия на окружающую среду могут служить основой для корректировки параметров эколого-экономической стратегии, направленной на достижение устойчивого и сбалансированного роста регионов России.

Ключевые слова

Экономический рост, экология, каплинг, декаплинг, экологическая кривая Кузнецца, диаграмма рассеяния, макрорегион, регрессионная модель.

Environmental aspects of the economic growth of Russian administrative regions

Nabiyula S. Gichiev¹ and Nadira O. Guseynova²

¹Institute of Social and Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Principal contact

Nabiyula S. Gichiev, PhD in Economics, Leading Researcher, Head, Department of Theory and Methodology of Regional Development, Institute of Social and Economic Research, Dagestan Federal Research Centre, Russian Academy of Sciences; 75 Yaragskogo St, Makhachkala, Russia 367030. Tel. +79034820767

Email nabi-05@mail.ru

ORCID <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

How to cite this article

Gichiev N.S., Guseynova N.O. Environmental aspects of the economic growth of Russian administrative regions. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):160-178. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-14

Received 22 October 2024

Revised 14 December 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The objective was to assess the relationship between the dynamics of economic growth and the level of pollutant emissions in the ecosystems of Russian administrative regions in the period from 1999 to 2023.

The work uses methods for analysing the level of anthropogenic impact on the environment, based on the assessment of the parameters of the "ecological Kuznets curve", coupling, decoupling and regression modelling. The analysis is based on data covering 8 federal districts of Russia, including the Southern and North Caucasian federal districts. Features were considered of application of the analysis of the ecological Kuznets curve to study the relationship between environmental and economic indicators. A quantitative assessment is presented of the relationship between the gross regional product and the rate of discharge of polluted wastewater and pollutant emissions into the atmosphere by federal districts of Russia: ecological Kuznets curves were constructed and the decoupling values and the parameters of the regression model are calculated.

The results obtained indicate that the economic development of Russian regions in the long term cannot be fully recognized as being balanced ecologically nor does it contribute to the reduction of its environmental impact. The results of the statistical assessment of the anthropogenic impact on the environment can serve as a basis for adjusting the parameters of an ecological-economic strategy aimed at achieving sustainable and balanced growth in Russian administrative regions.

Key Words

Economic growth, ecology, coupling, decoupling, ecological Kuznets curve, scatter diagram, macroregion, regression model.

ВВЕДЕНИЕ

Взаимосвязь между экономическим ростом и антропогенным воздействием на окружающую среду представляет собой сложную и многогранную задачу, учитывающую многие факторы и условия их развития. Наблюдаемая сегодня экономическая динамика, особенно в промышленных секторах, может привести к негативным последствиям для окружающей среды, включая неконтролируемое использование ресурсов, что, в свою очередь, ведет к их истощению.

С другой стороны, состояние экологии оказывает влияние на экономический рост. Загрязнение воздуха, воды и почвы может отрицательно сказаться на здоровье населения и качестве жизни, что приводит к снижению производительности труда и увеличению расходов на здравоохранение. В то же время более чистая экология обеспечивает повышение качества жизни и рост производительности труда.

Однако взаимосвязь между экономическим ростом и качеством окружающей среды может быть жесткой и зависеть от контекста, политики и мер, направленных на более устойчивое развитие. В концепции перехода РФ к устойчивому развитию отмечается структурная деформация и неэффективность прежней российской экономики, что привело к относительно более быстрому росту проблем в сфере экологии по сравнению с технологическими новациями. Значительная часть производственных фондов не соответствовала современным экологическим требованиям, а 16 % территории страны, где проживает более половины населения, относилась к экологически неблагоприятной.

Концепция перехода к устойчивому социально-экономическому развитию должна предлагать сбалансированное решение проблем сохранения благоприятной окружающей среды, обеспечивающей нынешнее и будущее его гармоничное развитие, что в свою очередь подразумевает последовательное решение ряда принципиальных задач в этой сфере.

В этой связи следует отметить, что использование валового внутреннего продукта (ВВП) в качестве основного показателя оценки уровня благосостояния привело к различным проблемам, угрожающим сбалансированному развитию, таким как увеличение доходов, одновременно сопряженное с быстрым истощением ресурсов и ростом выбросов загрязняющих веществ. Хотя ВВП является важным индикатором экономической активности, он недостаточен для интегральной оценки сбалансированного роста экономики, поскольку не учитывается множество других нерыночных активов, имеющих значение для роста благосостояния. Поэтому для достижения сбалансированного развития необходимо учитывать не только социально-экономические, но и экологические аспекты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экономический рост часто оказывается экологически неустойчивым, а низкие или отрицательные темпы его роста могут привести к негативным последствиям. Развивающаяся экологическая макроэкономика предлагает новые подходы к моделированию взаимосвязей между динамикой валового регионального продукта и выбросом загрязняющих веществ.

Поэтому необходим постоянный мониторинг и изучение взаимосвязей экономического роста с антропогенным воздействием на окружающую среду.

В работе [1] отмечается, что «Экологическая экономика фокусируется на ценности природных услуг и пытается включить эти услуги в расчеты цен. В этом кратком документе основное внимание уделяется тому, как общества могут создавать возможности для зеленого и инклюзивного экономического восстановления, и направлено на достижение этой цели с помощью структурированного подхода к оценке, который помогает лицам, принимающим решения, осознать широкий спектр преимуществ, предоставляемых экологией и экосистемами, их ценность в экономическом плане и в принятии решений».

В работе [2] представлен критический анализ исследований экологической проблематики, рассмотрены 179 статей, содержащих доказательства абсолютного декаплинга между выбросами CO₂, но отмечается отсутствие доказательств абсолютного глобального разрыва такой связи.

В работе [3] отмечается, что «Производство сельскохозяйственных культур и животноводство стали пространственно разъединенными в существующих коммерческих сельскохозяйственных режимах по всему миру. Эти сегрегированные системы производства с высоким уровнем затрат способствуют возникновению некоторых из наиболее острых проблем устойчивости в мире, включая изменение климата, дисбаланс питательных веществ, загрязнение воды, сокращение биоразнообразия и все более нестабильные условия жизни в сельской местности».

Отдельные аспекты влияния глобальных изменений окружающей среды на экологию представлены в исследовании [4], в котором отмечается, что «исследование подчеркивает важность интегративных исследований надземной-подземной системы для улучшения прогнозирования последствий глобальных изменений окружающей среды».

В исследовании отмечается взаимосвязь изменений климата с биологическим разнообразием в природе [5] «Разрыв связи между видообразованием и вымиранием в сочетании с экологическим разделением раскрывает более сложную картину эволюции ..., чем считалось ранее. Поскольку число видов, находящихся под угрозой исчезновения из-за антропогенного изменения климата, продолжает расти...».

В диссертации Miguel Clavero Pablo M. Avidad также исследованы экологические аспекты и представлены доказательства взаимосвязанных изменений в окружающей среде [6] «результаты предоставляют достаточно доказательств ... быстрых изменений ... за относительно короткие промежутки времени, что имеет последствия для экологии и перспектив сохранения».

В нашем исследовании для оценки детерминант сбалансированного роста региона использованы следующие методы анализа взаимосвязи экономического роста и уровня загрязнения окружающей среды – *каплинг*, *декаплинг* и *экологическая кривая Кузнеца* (ЭКК).

В данном контексте требуется единообразное понимание контекста используемого понятийно-категориального аппарата. Поэтому ниже приводится

характеристика основных терминов, используемых в данной статье.

Экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) представляет собой гипотетическую модель, которая описывает взаимосвязь между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды. Исследования Гроссмана и Крюгера в начале 1990-х годов привели к использованию кривой Кузнеца в экологической политике. Они применили эту концепцию для изучения взаимосвязи между экономическим ростом и состоянием окружающей среды, что привело к появлению «экологической кривой Кузнеца».

Экологическая кривая Кузнеца имеет форму перевернутой U-образной кривой, которая иллюстрирует, как загрязнение окружающей среды меняется с ростом доходов на душу населения. На ранних стадиях экономического развития, когда доходы на душу населения низкие, загрязнение окружающей среды в нынешней эпоху увеличивается по мере роста экономики. Это связано с тем, что в периоды быстрого индустриального развития страны часто отдают приоритетное значение над ростом экологических проблем.

Однако когда доходы на душу населения распределяются по определенным уровням, тенденция меняется. В результате экономического роста в странах, где доходы высоки, начинается улучшение ситуации в окружающей среде. Это происходит потому, что более высокие состоятельные граждане начинают требовать более чистой и безопасной среды обитания, а у правительства появляется больше ресурсов для инвестирования в экологические проекты.

Экологическая кривая Кузнеца используется в качестве инструмента анализа взаимосвязей между экономическим развитием и экологическими показателями, помогая лучше оценить влияние экономического роста на состояние окружающей среды, и определению мер борьбы с загрязнением окружающей среды.

Вместе с тем данный аналитический инструмент имеет свои специфические недостатки. Некоторые исследователи оспаривают универсальность этой модели, указывая на то, что она может не работать одинаково для всех стран и регионов.

Кроме того, ЭКК не учитывает все факторы, влияющие на современное состояние окружающей среды, такие как технологические достижения, политические решения и изменения в поведении потребителей. Поэтому важно использовать эту модель в сочетании с другими инструментами анализа для получения более полных картин взаимосвязи между экономикой и текущим состоянием.

Таким образом, экологическая кривая Кузнеца является достаточно востребованным методом исследования сложных взаимосвязей между экономическим ростом и загрязнением окружающей среды, позволяющим оценить возможные положительные, так и отрицательные последствия экономического развития для окружающей среды, в зависимости от стадии развития страны. Используя эту модель, правительство и бизнес смогут разработать более эффективные стратегии для достижения прогресса и снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Характеризуя понятие *каплинга* (coupling) в экологии, необходимо отметить, что с его помощью также оцениваются взаимосвязи между экономическим развитием и воздействием на окружающую среду. Это понятие подразумевает, что увеличение экономической активности может приводить к росту экологического давления, однако существует также концепция *декаплинга*, которая предполагает возможность отделения экономического роста от негативного воздействия на природу.

Декаплинг (decoupling) представляет собой концепцию, которая предполагает разрыв или разделение между экономическим ростом и негативными воздействиями на окружающую среду. Основная цель декаплинга заключается в достижении экономического роста без увеличения вреда для окружающей среды, а даже с его уменьшением.

Сущность одного из методических подходов к оценке фактора декаплинга (D_t) выражается отношением уровня экологической нагрузки к ВВП (ВРП) в конце и начале исследуемого периода [7; 8]. Например, для оценки уровня экологической нагрузки от выброса парниковых газов используется расчетная формула следующего вида (1):

$$D_t = \frac{CO_{2t}}{GDP_t} / \frac{CO_{2t-1}}{GDP_{t-1}} \quad (1)$$

где D_t – индекс декаплинга;

CO_{2t} – текущее значение выброса вредных веществ;

CO_{2t-1} – предыдущее значение выброса вредных веществ;

GDP_t – текущее значение ВРП;

GDP_{t-1} – предыдущее значение ВРП.

Интерпретация методики: полученные результаты оцениваются относительно единицы. При $D_t \leq 1$ фиксируется наличие эффекта декаплинга.

Согласно методике Организации экономического сотрудничества и развития, «фактор декаплинга определяется по формуле (2), только указанное соотношение вычитается из единицы» [9]:

$$D_t = 1 - \frac{EF_t}{DF_t} / \frac{EF_{t-1}}{DF_{t-1}} \quad (2)$$

где EF – показатель, отражающий негативное воздействие на окружающую среду;

DF – показатель, отражающий развитие экономики (ВВП, ВРП, объем производства и др.).

Расчет эффекта декаплинга возможен по формуле:

$$DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0) \quad (3)$$

где ΔE – изменение воздействия на окружающую среду (например, выбросы CO₂, водопользование) за период (конечное значение минус начальное значение).

E_0 – начальное воздействие на окружающую среду в начале периода.

ΔGRP – изменение валового регионального продукта за тот же период (конечный GRP минус начальный GRP).

GRP_0 – начальный GRP в начале периода.

Интерпретация:

$DI > 1$ – воздействие на окружающую среду растет быстрее, чем GRP – связь сохраняется.

$DI = 1$ – воздействие и GRP растут с одинаковой скоростью – нет расщепления.

$0 < DI < 1$ – относительное расщепление – воздействие растет, но медленнее, чем GRP.

$DI \leq 0$ – абсолютное расщепление – воздействие остается неизменным или снижается по мере роста GRP.

Методика трехкомпонентного интегрированного подхода к оцениванию социально-экономической устойчивости региона с учетом экологической составляющей представлена расчетной формулой следующего вида:

$$\Xi_y = \frac{\sum_{t=0}^I \sum_{i=1}^N (P_{it}^{ec} + P_{it}^{ek} + P_{it}^{soc})}{(1+d)^t} - \frac{\sum_{t=0}^I \sum_{i=1}^N (I_{it}^{ec} + I_{it}^{ek} + I_{it}^{soc})}{(1+d)^t} \quad (4)$$

где Ξ_y – приведенный доход в результате осуществления мероприятий по обеспечению социально-экономической устойчивости региона (руб. эффекта/руб. затрат);

P_{it}^{ec} – результат реализации мероприятия по компоненте экологической устойчивости в году 1, руб.;

P_{it}^{ek} – результат реализации мероприятий по компоненте экономической устойчивости в году 1, руб.;

P_{it}^{soc} – результат реализации мероприятий по компоненте социальной устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{ec} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте экологической устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{ek} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте экономической устойчивости в году 1, руб.;

I_{it}^{soc} – инвестиции (затраты) на реализацию мероприятий по компоненте социальной устойчивости в году 1, руб.;

d – норма дисконта.

Основные методические подходы к оценке экологической нагрузки можно условно классифицировать по четырем группам (табл. 1). Следует отметить, что представленные методические подходы имеют свои преимущества и недостатки. Однако в целом все они объективно отражают уровень экологической нагрузки в результате антропогенного воздействия на окружающую среду и могут полноценно использоваться в анализе эффекта декарпинга.

Таблица 1. Основные методические подходы к оценке эффекта декарпинга

Table 1. Main methodological approaches to assessing the decoupling effect

№	Сущность методики расчета Essence of the calculation method	Преимущества Advantages	Недостатки Flaws
1	Индексный подход (Decoupling Index) основан на расчете коэффициента декарпинга, который измеряет отношение темпов роста экологической нагрузки (например, выбросов CO₂) к темпам роста экономической активности (например, ВВП). Формула может выглядеть так: $DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0)$ Index approach (Decoupling Index) based on calculation of the decoupling coefficient, which measures the growth rate of the environmental load (e.g. CO₂ emissions) to the growth rate of economic activity (e.g. GDP). The formula may appear thus: $DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0)$	Простота расчета и интерпретации: значение. Универсальность: применим к различным странам и регионам. Доступность данных: базируется на стандартных статистических показателях (ВВП, выбросы) Ease of calculation and interpretation: value Universality: applicable to different countries and regions. Data availability: based on standard statistical indicators (GDP, emissions)	Упрощение: игнорирует качественные аспекты экономического роста (например, структурные изменения в экономике). Чувствительность к выбору базового года: результаты могут варьироваться в зависимости от начальной точки анализа. Не учитывает внешние факторы, такие как импорт ресурсов или перенос производства в другие страны Simplification: Ignores qualitative aspects of economic growth (e.g. structural changes in the economy). Sensitivity to the choice of base year: Results may vary depending on the starting point of the analysis. Does not take into account external factors such as imports of resources or the transfer of production to other countries

Эконометрические модели, такие как регрессионный анализ, используются для оценки зависимости между экономическими и экологическими переменными. Например, можно построить модель вида: $E = \beta_0 + \beta_1 * GDP + \beta_2 * X + \varepsilon$ где X — дополнительные факторы (технологии, политика и т.д.), а $\beta_{1,2}$ — коэффициенты, показывающие степень влияния Econometric models, such as regression analysis, are used to estimate the relationship between economic and environmental variables. For example, a model of the form: $E = \beta_0 + \beta_1 * GDP + \beta_2 * X + \varepsilon$ where X are additional factors (technology, policy, etc.), and $\beta_{1,2}$ are coefficients showing the degree of influence	Гибкость: позволяет учитывать множество факторов (технологический прогресс, государственные меры, демографию). Статистическая точность: дает возможность оценить значимость декарплинга с учетом ошибок Flexibility: allows for many factors to be taken into account (technological progress, government measures, demographics). Statistical accuracy: allows for the significance of decoupling to be assessed taking into account errors	Сложность: требует высокого уровня математической подготовки и качественных данных. Зависимость от данных: при их отсутствии или низком качестве результаты могут быть искажены. Предположения модели: линейность или стационарность данных могут не соответствовать реальности Complexity: requires a high level of mathematical training and high-quality data. Data dependence: if there is no data or if it is of poor quality, the results may be distorted. Model assumptions: the linearity or stationarity of the data may not correspond to reality
Анализ декомпозиции (Decomposition Analysis). Метод декомпозиции разлагает изменения в экологической нагрузке на составляющие: экономический рост, структурные изменения в экономике (например, переход к услугам) и технологические улучшения (энергоэффективность). Популярный подход — индекс Ласпейреса или метод Логистического среднего Дивизии (LMDI) Decomposition Analysis. The decomposition method breaks down changes in environmental load into components: economic growth, structural changes in the economy (e.g., transition to services), and technological improvements (energy efficiency). A popular approach is the Laspeyres index or the Logistic Mean Difference Index (LMDI)	Детализация: позволяет понять, какой фактор (рост, структура, технологии) вносит основной вклад в декарплинг. Практическая применимость: помогает разрабатывать целенаправленные экологические политики. Относительная независимость от базового года по сравнению с индексным подходом Detailing: allows the understanding of which factor (growth, structure, technology) makes the main contribution to decoupling. Practical applicability: helps to develop targeted environmental policies. Relative independence from the base year compared to the index approach	Сложность интерпретации: требует глубокого понимания структуры данных и экономики. Ограниченность данных: для точного анализа нужны подробные отраслевые показатели. Субъективность: выбор факторов декомпозиции может влиять на выводы Complexity of interpretation: requires a deep understanding of the data structure and economics. Limited data: detailed industry indicators are needed for accurate analysis. Subjectivity: the choice of decomposition factors can influence the conclusions
Системный анализ и моделирование. Системный анализ включает использование комплексных моделей (например, моделей общего равновесия или динамических систем), которые симулируют взаимодействие экономики, окружающей среды и общества. Пример — модель STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) Systems analysis and modeling. Systems analysis involves the use of complex models (e.g., general equilibrium or dynamic systems models) that simulate the interactions of the economy, environment, and society. An example is the STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) model	Комплексность: учитывает нелинейные связи и обратные эффекты между системами. Долгосрочный взгляд: подходит для оценки устойчивости декарплинга в будущем. Адаптивность: можно включать социальные, политические и климатические факторы Complexity: takes into account non-linear relationships and feedback effects between systems. Long-term view: suitable for assessing the sustainability of decoupling in the future. Adaptability: can include social, political and climatic factors	Высокая ресурсоемкость: требует больших вычислительных мощностей и экспертных знаний. Неопределенность: результаты зависят от множества предположений и сценариев. Ограниченная прозрачность: сложно объяснить неспециалистам High resource intensity: requires large computing power and expert knowledge. Uncertainty: results depend on many assumptions and scenarios. Limited transparency: difficult to explain to non-experts

Каждая из методик (табл. 1) имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор подходящего подхода зависит от целей исследования. Индексный подход идеален для быстрого сравнения стран или регионов, но слишком упрощает картину. Эконометрические модели и декомпозиция подходят для более глубокого анализа причин декаплинга, однако требуют качественных данных и аналитических навыков. Системный анализ незаменим для стратегического планирования, но его сложность ограничивает массовое применение.

Для повышения точности оценки эффекта декаплинга рекомендуется комбинировать методы. Например, использовать индексный подход для первичной оценки, а затем декомпозицию или системное моделирование для выявления причин и прогнозов. Такой интегрированный подход позволяет минимизировать недостатки отдельных методик и получить более полное представление о процессе декаплинга.

В условиях глобальных вызовов, таких как изменение климата и истощение ресурсов, развитие и совершенствование этих методик остается важной задачей для науки и политики. Только так можно обеспечить устойчивое развитие, где экономический прогресс не будет достигаться за счет окружающей среды.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование проводилось в два этапа: на первом этапе были собраны и проанализированы данные из статистических источников, описывающих динамику роста валового регионального продукта и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду по федеральным округам, проведена оценка декаплинга. На

втором этапе дана оценка регрессионной модели по двум индикаторам – выбросу загрязняющих веществ и темпам роста валового регионального продукта.

Результаты статистического анализа показывают, что темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, в течение 2000–2023 гг. значительно варьировал по федеральным округам (табл. 2). Сравнение темпов выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников за почти четвертьвековой период (2000–2023 гг.) показывает разнонаправленную тенденцию.

В частности, Дальневосточный федеральный округ показал наибольший рост выбросов с 2000 по 2023 годы (соотношение 1,5148). Южный федеральный округ имеет максимальное значение темпов выброса загрязняющих веществ в 2023 году (1,2266), но при этом наблюдается наибольшее снижение данного показателя с 2000 года (соотношение 0,6955). Таким образом, в Южном федеральном округе границы вариации темпов выброса загрязняющих веществ включают данные от 0,8015 до 1,2266, что может указывать на нестабильность экономической динамики. Центральный федеральный округ демонстрирует стабильность с минимальными колебаниями темпов роста в диапазоне от 0,9620 до 1,0886, что указывает на меньшую волатильность экономической динамики.

Для лучшего восприятия тенденций с выбросом загрязняющих веществ в атмосферный воздух ниже представлена графическая визуализация статистики по федеральным округам (рис. 1).

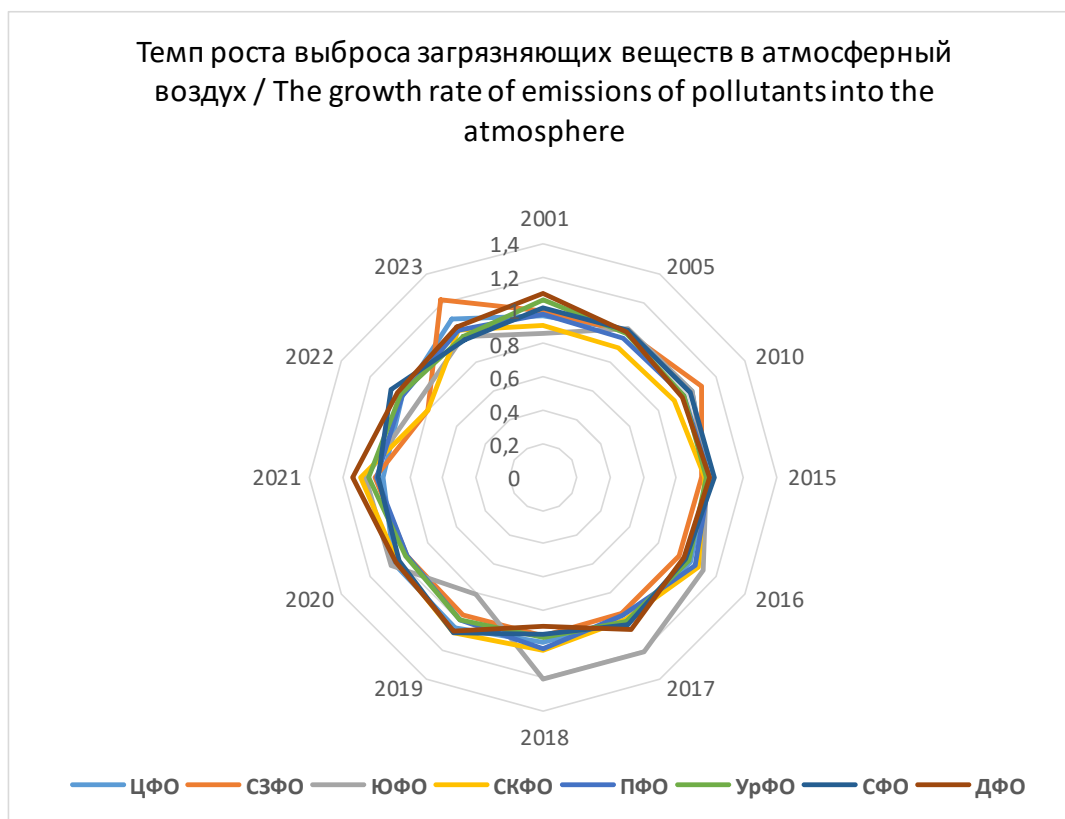


Рисунок 1. Темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников по федеральным округам с 2000 по 2023 гг.: ЦФО, СЗФО, ЮФО, СКФО, ПФО, УрФО, СФО, ДФО

Figure 1. Growth rate of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources in federal districts from 2000 to 2023: Central Federal District, Northwestern Federal District, Southern Federal District, North Caucasian Federal District, Volga Federal District, Ural Federal District, Siberian Federal District, Far Eastern Federal District

Как видно из лепестковой диаграммы (рис. 1) наибольший темп роста выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух с 2016 по 2018 гг. наблюдался в Южном федеральном округе. В 2023 году максимальный темп роста выбросов наблюдался в Дальневосточном федеральном округе.

Анализ статистических данных по сбросу загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (табл. 3) показывает, что ситуация с экологией в федеральных округах России значительно варьируется, с наибольшим ухудшением в Северо-Западном округе в 2023 году.

В течение 2000–2023 гг. снижение темпов сброса загрязненных сточных вод наблюдаются в РФ (0,9043), Северо-Западном (0,6955), Приволжском (0,7976), Уральском (0,7626) и Сибирском округах (0,9836). На этом временном отрезке произошло ухудшения экологической ситуации по данному показателю (соотношение больше 1) в Центральном (1,0545), Южном (1,0893), Северо-Кавказском (1,0350) и Дальневосточном округах (1,5148).

Обращает на себя внимание неожиданный аспект: несмотря на улучшение экологической ситуации в отдельных округах с 2000 года, в Северо-Западном

округе, темп сброса загрязненных сточных вод в 2023 году все еще оставался высоким (1,2266), что может указывать на сложные долгосрочные экологические вызовы.

Таким образом, анализ показывает, что Северо-Западный федеральный округ имеет наихудшую экологическую ситуацию в 2023 году, что делает его приоритетным регионом для срочной реализации комплекса экологических мер. Сибирский федеральный округ демонстрирует наилучшие показатели, что может быть связано с меньшей промышленной нагрузкой и более высокой эффективностью инвестиций в охрану окружающей среды. В этой связи следует отметить, что с 2000 по 2023 годы относительное улучшение экологической ситуации отмечается в РФ, Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском округах, в то время как Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Дальневосточный округа показали ухудшение экологической обстановки.

Графическая иллюстрация векторов разнонаправленной динамики (2000–2023 гг.) сброса загрязненных сточных вод в виде лепестковой диаграммы представлена на рисунке 2.

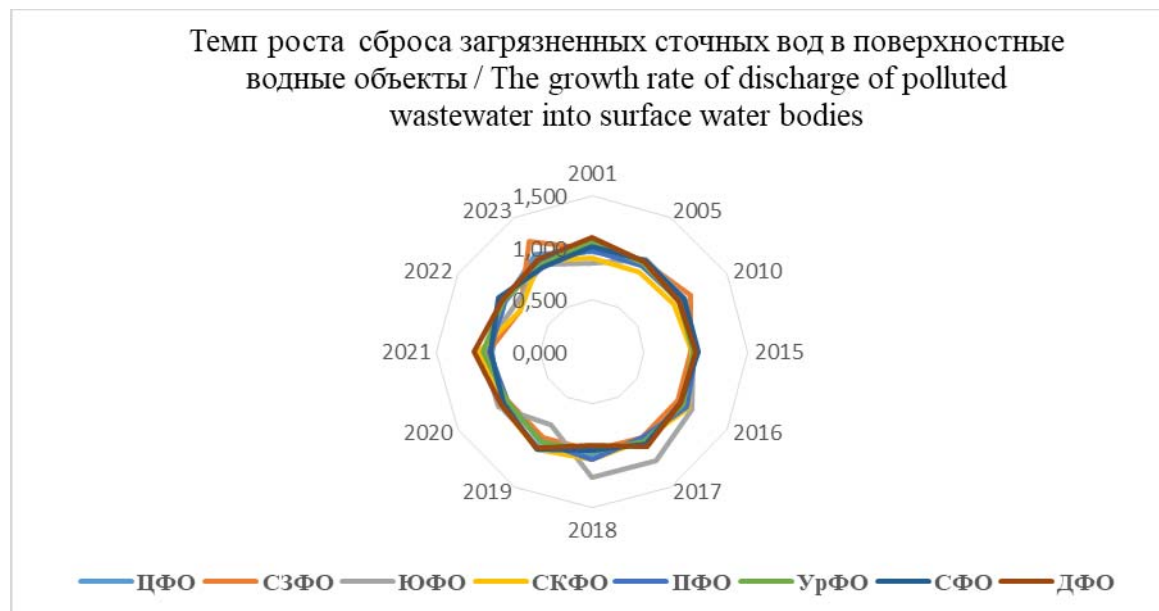


Рисунок 2. Темп сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты по федеральным округам с 2000 по 2023 гг.: ЦФО, СЗФО, ЮФО, СКФО, ПФО, УрФО, СФО, ДФО

Figure 2. Rate of discharge of polluted wastewater into surface water bodies by federal districts from 2000 to 2023: Central Federal District, Northwestern Federal District, Southern Federal District, North Caucasian Federal District, Volga Federal District, Ural Federal District, Siberian Federal District, Far Eastern Federal District

Ситуация с темпом выброса загрязняющих сточных вод аналогична с динамикой выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от

стационарных источников, что свидетельствует о достаточно сильной корреляции между данными индикаторами.

$$DI = (\Delta E / E_0) / (\Delta GRP / GRP_0) \quad (5)$$

В данном контексте индекс декаплинга (Decoupling Index) показывает на сколько процентов изменяется скорость роста или сокращения антропогенного воздействия на окружающую среду при изменении темпов роста ВРП на 1 % за определённый период времени.

Расчеты индекса декаплинга представлены в таблице 4.

В течение 2000–2023 гг. можно выделить два периода: с 2000–2015 гг. наблюдается снижение экологической нагрузки РФ и все ФО показывают снижение Decoupling index, а в течение второго периода 2020–2023 гг. значение Decoupling index в РФ выросло с 0,519 (2015 г.) до 0,907 (2023 г.).

Таблица 2. Темп роста выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников (%)
Table 2. Growth rate of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources (%)

	2001	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 к 2000
РФ RF	1,0160	0,9951	1,0053	0,9886	1,0000	1,0116	0,9771	1,0117	0,9827	1,0118	1,0000	0,9884	0,9043
ЦФО Central Federal District	0,9668	1,0122	1,0260	0,9858	1,0183	0,9917	0,9890	1,0484	1,0331	0,9620	0,9711	1,0886	1,0545
СФО Siberian Federal District	0,9940	1,0027	1,0979	0,9461	0,9449	0,9461	0,9540	0,9568	0,9428	1,0024	0,8015	1,2266	0,6955
ЮФО Southern Federal District	0,8579	1,0249	1,0302	0,9740	1,1114	1,2152	1,2068	0,8067	1,0508	1,0667	0,8780	0,9667	1,0893
СКФО North Caucasian Federal District	0,9091	0,8937	0,9079	0,9655	1,0714	0,9867	1,0338	1,0784	1,0121	1,0898	0,8022	1,0137	1,0350
ПФО Volga Federal District	0,9768	0,9624	0,9790	0,9934	1,0544	0,9593	1,0293	0,9933	0,9470	0,9971	0,9747	1,0121	0,7976
УрФО Ural Federal District	1,0662	0,9896	0,9702	0,9767	1,0076	1,0008	0,9615	0,9900	0,9475	1,0494	0,9884	0,9685	0,7626
СФО Siberian Federal District	1,0099	1,0191	1,0159	1,0225	0,9866	1,0239	0,9458	1,0795	0,9929	0,9855	1,0533	0,9495	0,9836
ДФО Far Federal District	1,1020	1,0018	0,9622	0,9982	0,9731	1,0571	0,8945	1,0712	1,0191	1,1384	1,0031	1,0375	1,5148

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 3. Темп сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты
Table 3. Rate of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2001	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023/2000
РФ	1,016	0,995	1,005	0,989	1,000	1,012	0,977	1,012	0,983	1,012	1,000	0,988	0,534
ЦФО													
Central Federal District	0,967	1,012	1,026	0,986	1,018	0,992	0,989	1,048	1,033	0,962	0,971	1,089	0,577
СФО													
Siberian Federal District	0,994	1,003	1,098	0,946	0,945	0,946	0,954	0,957	0,943	1,002	0,802	1,227	0,590
ЮФО													
Southern Federal District	0,858	1,025	1,030	0,974	1,111	1,215	1,207	0,807	1,051	1,067	0,878	0,967	0,344
СКФО													
North Caucasian Federal District	0,909	0,894	0,908	0,966	1,071	0,987	1,034	1,078	1,012	1,090	0,802	1,014	0,548
ПФО													
Volga Federal District	0,977	0,962	0,979	0,993	1,054	0,959	1,029	0,993	0,947	0,997	0,975	1,012	0,457
УрФО													
Ural Federal District	1,066	0,990	0,970	0,977	1,008	1,001	0,962	0,990	0,948	1,049	0,988	0,969	0,530
СФО													
Siberian Federal District	1,010	1,019	1,016	1,023	0,987	1,024	0,946	1,080	0,993	0,986	1,053	0,950	0,505
ДФО													
Far Federal District	1,102	1,002	0,962	0,998	0,973	1,057	0,895	1,071	1,019	1,138	1,003	1,038	0,251

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 4. Индекс декаплинга выброса загрязняющих веществ в *атмосферный воздух*, отходящих от стационарных источников**Table 4.** Decoupling index of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,676	0,815	0,425	0,448	0,519	0,684	0,782	0,869	0,907
ЦФО Central Federal District	0,613	0,794	0,346	0,505	0,561	0,717	0,790	0,853	0,997
СЗФО Northwestern Federal District	0,603	0,811	0,383	0,484	0,491	0,516	0,646	0,706	1,124
ЮФО Southern Federal District	0,730	0,785	0,358	0,421	0,524	0,944	0,890	0,727	0,881
СКФО North Caucasian Federal District	0,696	0,666	0,580	0,294	0,529	0,862	0,951	0,699	0,959
ПФО Volga Federal District	0,683	0,783	0,496	0,401	0,547	0,722	0,793	0,850	0,934
УФО Ural Federal District	0,673	0,824	0,469	0,490	0,421	0,708	0,722	0,833	0,899
СФО Siberian Federal District	0,702	0,824	0,428	0,473	0,583	0,723	0,779	0,921	0,869
ДФО Far Eastern Federal District	0,764	0,863	0,437	0,484	0,623	0,671	0,905	0,880	0,941

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Для расчета Decoupling Factor используется следующая формула расчета: Decoupling Factor = 1 – Decoupling Index (6)

Результаты вычисления Decoupling Factor можно интерпретировать следующим образом: если Decoupling Factor > 0 и с течением времени этот показатель увеличивается — наблюдается эффект декаплинга, что означает уменьшение антропогенного воздействия на окружающую среду или более эффективное использование природных ресурсов при росте ВРП; если Decoupling Factor < 0 и со временем продолжает снижаться — экономический рост сопровождается значительным усилением антропогенного давления или истощением природных ресурсов; если Decoupling Factor = 0 — это указывает на одинаковые темпы роста экономики и антропогенного воздействия или потребления природных ресурсов.

Анализ статистических данных из таблицы 4 «Декapлинг-фактор выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в Российской Федерации (РФ) и ее федеральных округах за период с 2000 по 2023 годы» позволяет сделать следующие выводы: значение декаплинг-фактора в целом по РФ снижается с 0,324 (2000 г.) до 0,093 (2023 г.), что говорит о растущем согласовании экономического роста с выбросами загрязняющих

веществ в атмосферный воздух от стационарных источников; наиболее заметное ухудшение экологической составляющей роста экономики по предварительным данным отмечается в СЗФО (–0,124 в 2023 г.) и ЦФО (0,003 в 2023 г.); по СКФО отмечается снижение значения декаплинг-фактора с максимального уровня (0,706 в 2010 г.) до почти нулевого (0,041 в 2023).

Проведем анализ статистических данных индекса декаплинга сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты Российской Федерации (РФ) и ее федеральных округов (ФО) за период с 2000 по 2023 годы. Как видно из представленных статистических данных таблицы 5 наблюдается положительная динамика в РФ и большинство ФО: начиная с 2015 года показатель индекс декаплинга по РФ вырос с 0,501 до 0,877, особенно заметный рост данного показателя зафиксирован на временном отрезке 2021–2023 гг., что указывает на снижение корреляции между сбросом загрязняющих сточных вод с ВРП.

В этой связи следует отметить и негативную тенденцию: резкое снижение данного показателя в 2005 г. для большинства регионов (РФ – 0,381, ДФО – 0,166), когда рост сброса загрязняющих сточных вод опережал ВВП, возможно, из-за посткризисного подъема промышленности.

Таблица 5. Декаплинг – фактор выброса загрязняющих веществ в *атмосферный воздух*, отходящих от стационарных источников**Table 5.** Decoupling – factor of pollutant emissions into the atmosphere from stationary sources

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,324	0,185	0,575	0,552	0,481	0,316	0,218	0,131	0,093
ЦФО Central Federal District	0,387	0,206	0,654	0,495	0,439	0,283	0,210	0,147	0,003
СЗФО Northwestern Federal District	0,397	0,189	0,617	0,516	0,509	0,484	0,354	0,294	-0,124
ЮФО Southern Federal District	0,270	0,215	0,642	0,579	0,476	0,056	0,110	0,273	0,119
СКФО North Caucasian Federal District	0,304	0,334	0,420	0,706	0,471	0,138	0,049	0,301	0,041
ПФО Volga Federal District	0,317	0,217	0,504	0,599	0,453	0,278	0,207	0,150	0,066
УФО Ural Federal District	0,327	0,176	0,531	0,510	0,579	0,292	0,278	0,167	0,101
СФО Siberian Federal District	0,298	0,176	0,572	0,527	0,417	0,277	0,221	0,079	0,131
ДФО Far Eastern Federal District	0,236	0,137	0,563	0,516	0,377	0,329	0,095	0,120	0,059

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 6. Индекс декаплинга сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты**Table 6.** Decoupling index of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,655	0,782	0,381	0,417	0,501	0,569	0,761	0,848	0,877
ЦФО Central Federal District	0,669	0,812	0,341	0,392	0,509	0,583	0,830	0,820	0,936
СЗФО Northwestern Federal District	0,700	0,791	0,369	0,434	0,467	0,568	0,628	0,849	0,921
ЮФО Southern Federal District	0,814	0,746	0,520	0,300	0,455	0,519	0,967	0,927	0,427
СКФО North Caucasian Federal District	0,771	0,672	0,356	0,689	0,212	0,805	0,775	0,857	0,938
ПФО Volga Federal District	0,696	0,758	0,430	0,417	0,495	0,573	0,775	0,845	0,883
УФО Ural Federal District	0,566	0,764	0,370	0,628	0,606	0,437	0,638	0,812	0,872
СФО Siberian Federal District	0,671	0,814	0,405	0,389	0,464	0,638	0,759	0,846	0,922
ДФО Far Eastern Federal District	0,685	0,789	0,166	0,390	0,471	0,646	0,756	0,882	0,916

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Таблица 7. Декаплинг – фактор сброса загрязненных *сточных вод* в поверхностные водные объекты
Table 7. Decoupling – factor of discharge of polluted wastewater into surface water bodies

	2000	2001	2005	2010	2015	2020	2021	2022	2023
РФ RF	0,345	0,218	0,619	0,583	0,499	0,431	0,239	0,152	0,123
ЦФО Central Federal District	0,331	0,188	0,659	0,608	0,491	0,417	0,170	0,180	0,064
СЗФО Northwestern Federal District	0,300	0,209	0,631	0,566	0,533	0,432	0,372	0,151	0,079
ЮФО Southern Federal District	0,186	0,254	0,480	0,700	0,545	0,481	0,033	0,073	0,573
СКФО North Caucasian Federal District	0,229	0,328	0,644	0,311	0,788	0,195	0,225	0,143	0,062
ПФО Volga Federal District	0,304	0,242	0,570	0,583	0,505	0,427	0,225	0,155	0,117
УФО Ural Federal District	0,434	0,236	0,630	0,372	0,394	0,563	0,362	0,188	0,128
СФО Siberian Federal District	0,329	0,186	0,595	0,611	0,536	0,362	0,241	0,154	0,078
ДФО Far Eastern Federal District	0,315	0,211	0,834	0,610	0,529	0,354	0,244	0,118	0,084

Источник: рассчитано по: [10–16] / Source: calculated from: [10–16]

Как известно, декаплинг-фактор отражает степень разрыва связи (уровень корреляции) между экономической активностью и загрязнением окружающей среды, т.е. снижение показателя указывает на относительный рост загрязнения по сравнению с экономическим ростом и ухудшение экологической ситуации (табл. 6).

Необходимо отметить долгосрочное снижение декаплинг-фактора в РФ с 2005 года, особенно заметное в последние три года, что указывает на рассогласованность экологической ситуации относительно экономической активности (табл. 6). Резкое снижение происходит в 2021–2023 годах, что может быть связано с нарастанием промышленной активности и снижением расходов на экологические мероприятия.

При этом на общем фоне федеральных округов ЮФО выделяется аномальным ростом декаплинг-фактора в 2023 году (0,573) после минимума в 2021 году (0,033), что может быть связано с локальными факторами (нарастанием темпов сброса загрязнённых сточных вод и изменением отраслевой структуры экономики).

Ухудшение экологической ситуации к 2023 г. наблюдается практически во всех федеральных округах, включая в порядке убывания значения декаплинг-фактора – СКФО (0,062), ЦФО (0,064), СФО (0,078), СЗФО (0,079), ДФО (0,084).

Для более полной оценки взаимосвязей экологической составляющей экономического роста необходимо использование методов эконометрической

интерпретации данного процесса: построение экологической кривой Кузнецца.

Экологическая кривая Кузнецца (Environmental Kuznets Curve, ЕКС) представляет собой гипотезу, согласно которой взаимосвязь между экономическим развитием и деградацией окружающей среды имеет форму перевернутой U-образной кривой. Согласно ЕКС, на ранних стадиях экономического роста (увеличение ВВП на душу населения) уровень загрязнения окружающей среды растёт, достигает пика, а затем снижается по мере роста доходов, технологического прогресса и изменения общественных приоритетов.

ЕКС предполагает, что экологическая деградация зависит от трех ключевых факторов: масштаба экономики, структуры производства и уровня технологий. На начальном этапе индустриализации (низкий ВВП на душу населения) экономический рост опирается на расширение производства и добычу ресурсов, что увеличивает выбросы загрязняющих веществ и потребление природных ресурсов. По мере роста доходов (средний уровень ВВП) структура экономики смещается от тяжелой промышленности к услугам и высокотехнологичным секторам, а общества начинают требовать более строгих экологических стандартов. На высоком уровне доходов (развитые экономики) внедрение чистых технологий и регуляторных мер приводит к снижению экологической нагрузки, даже если экономика продолжает расти.

Математически ЕКС часто моделируется как квадратичная функция:

$$E = \alpha + \beta Y + cY^2 \quad (6)$$

где (E) – уровень загрязнения, (Y) – ВВП на душу населения, (α , β , c) – коэффициенты, причем $c < 0$, что обеспечивает перевернутую U-образную форму. Точка

перегиба ($Y^2 = -\beta/2c$) указывает уровень дохода, при котором загрязнение достигает максимума.

ВЫВОДЫ

Экологическая кривая Кузнеца остается полезным инструментом для анализа взаимодействия экономики и экологии, но ее применимость варьируется. Данные о декаплинге показывают прогресс в рассогласовании темпов роста экономики ЮФО (табл. 6) от ускорения

сброса загрязнённых сточных вод. Однако выбросы в атмосферу и сброс загрязнённых сточных вод для СКФО демонстрируют синхронизацию с экономикой (табл. 6), что противоречит классической ЕКС на текущем этапе развития.

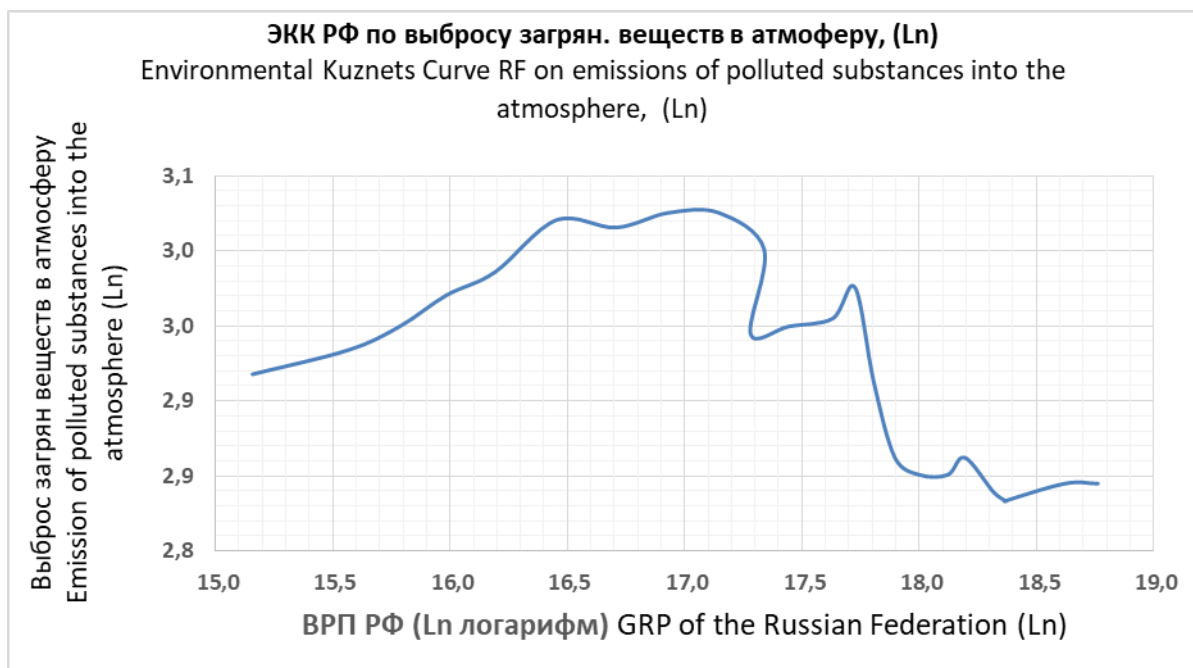


Рисунок 3. Экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) РФ по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух, (Ln)

Figure 3. Ecological Kuznets curve (EKC) of the Russian Federation for the emission of pollutants into the ambient air, (Ln)

График ЭКК для РФ на рисунке демонстрирует перевернутую U-образную зависимость между Ln GDP и Ln выброса загрязняющих веществ в атмосферу, подтверждая теоретическую модель на макроуровне.

Однако точка перегиба ниже, чем в развитых экономиках, а нисходящий участок менее выражен из-за сохраняющегося роста выбросов (хоть и замедленного).

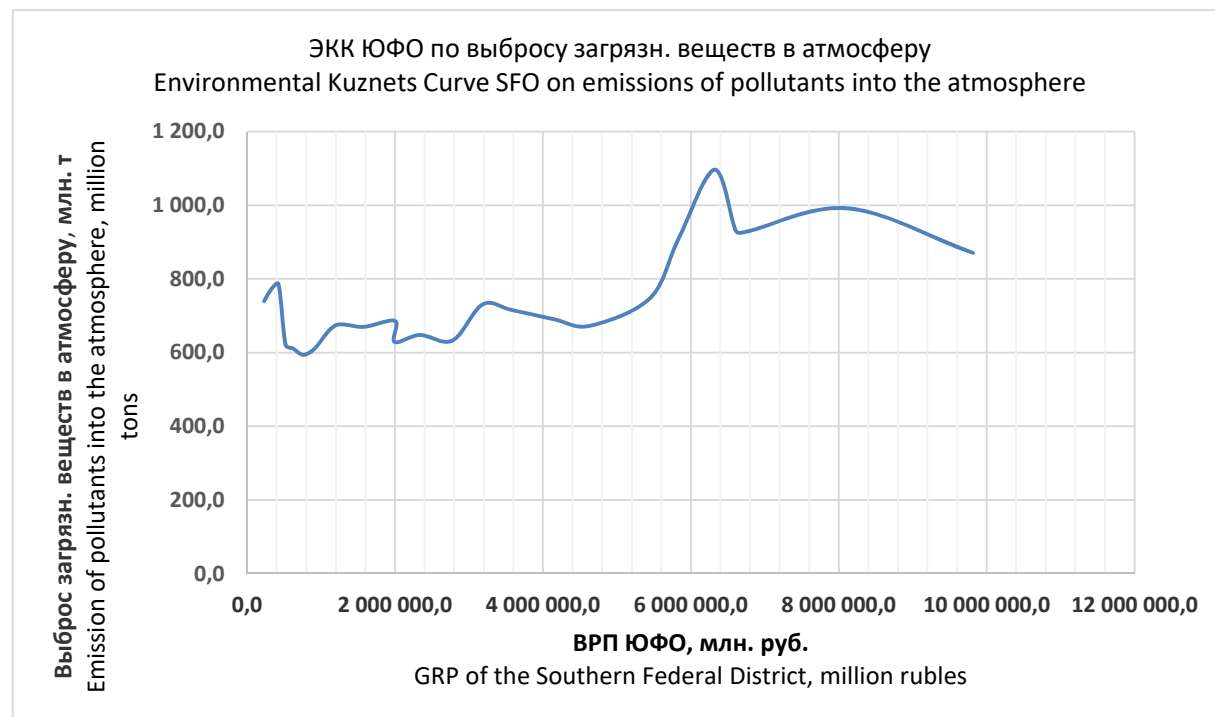


Рисунок 4. Экологическая кривая Кузнеца (ЭКК) ЮФО по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух

Figure 4. Ecological Kuznets curve (EKC) of the Southern Federal District of the emission of pollutants into the surrounding air

На рисунке ЭКК ЮФО наблюдаются точки перегиба. Под точкой перегиба ЭКК ЮФО понимается максимум кривой, где выбросы достигают пика, после чего начинают снижаться с ростом ВРП.

Форма экологической кривой Кузнеця по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух ЮФО не показывает четкой U-образной формы, а скорее выделяет два цикла роста и снижения выбросов. Первый пик в 2001 году (785.0 тыс. т) отражает раннюю стадию роста экономики ЮФО.

На первом пике в 2001 году выбросы загрязняющих веществ в атмосферу достигли 785.0 тыс. т при ВРП 426,507.8 млн руб. (ВРП на душу ~25.8 тыс. руб.). После этого выбросы снизились до

622.0 в 2002 году. Однако это снижение оказалось неустойчивым, так как выбросы снова стали увеличиваться в 2005–2006 годах.

Вторая точка перегиба приходится на 2018 год (1,097.0 тыс. т) – более зрелую фазу, когда рост ВРП (туризм, сельское хозяйство) сопровождался временным всплеском выбросов.

Второй пик (2018): максимум выбросов 1,097.0 тыс. т при ВРП 6,320,333.0 млн руб. (ВРП на душу ~383.1 тыс. руб.). После 2018 года выбросы устойчиво снижались до 871.0 тыс. т в 2022 году, что лучше соответствует классической ЭКК. Второй пик более значим, так как снижение выбросов после него устойчиво, что ближе к классической ЭКК.

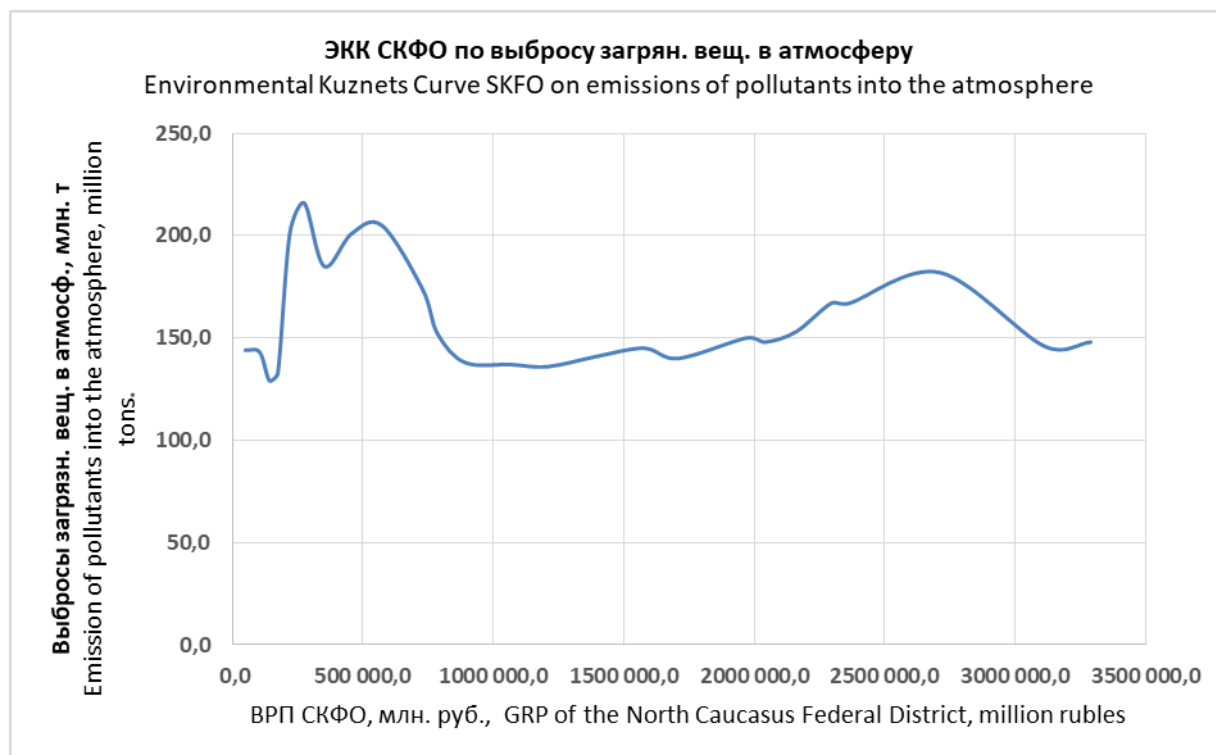


Рисунок 5. Экологическая кривая Кузнеця (ЭКК) СКФО по выбросу загрязняющих веществ в окружающий воздух, млн т.

Figure 5. Ecological Kuznets curve (EKC) of the North Caucasus Federal District of emissions of pollutants into the surrounding air, million tons

Анализ экологической кривой Кузнеця (ЭКК) для Северо-Кавказского федерального округа (СКФО) демонстрирует нелинейную динамику взаимосвязи его валового регионального продукта (ВРП) и выбросов загрязняющих веществ: двухволновую динамику вместо единой перевернутой U-образной кривой.

Выделяются две основные точки перегиба. Первый пик приходится на 2004–2005 гг., когда максимальное значение выбросов в 2004 году достигло 216 млн т при ВРП в 275,6 млрд руб., после чего началось снижение до 136 млн т к 2012 году (ВРП 1 209 млрд руб.). Отмеченная динамика соответствует классической ЭКК: экономический рост сопровождался сокращением загрязнения,

Вторая точка перегиба находится на временном отрезке 2012–2021 гг., когда, начиная с 2012 года выбросы достигли 182 млн т в 2021 году при соответствующем значении ВРП 2710 млрд руб. Сложная двухволновая траектория ЭКК СКФО с двумя точками перегиба (2004–2005 и 2021–2023) противо-

речит классической модели ЭКК. Возможными причинами такой деривации являются активизация добывающих отраслей и пространственная автокорреляция загрязнений, характерная для российских регионов. Повторный рост загрязнений после 2012 года подчеркивает важность учета отраслевых и пространственных факторов при анализе экологической политики в российских регионах. Поэтому для обеспечения устойчивого развития экономики требуется усиление мер по снижению выбросов в периоды экономического роста.

В современных исследованиях взаимосвязи экологии и экономического роста ключевое внимание уделяется регрессионным моделям, которые позволяют количественно оценить влияние экономических показателей на экологическую ситуацию. Анализ российских данных за последние два десятилетия выявил сложные зависимости, требующие дифференцированного подхода.

Для оценки взаимосвязи между экологическими показателями и экономическим ростом применяют комбинацию методов регрессионного анализа, учитывающих пространственные, временные и структурные особенности данных. Ниже представлены наиболее эффективные подходы, подтвержденные исследованиями: **метод** наименьших квадратов (OLS),

панельная регрессия, пространственные методы, динамические модели, специализированные подходы.

Для целей нашего исследования использован метод наименьших квадратов (OLS метод). Уравнение линейной регрессии по OLS имеет следующий вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (7)$$

где Y — экологический показатель (например, уровень загрязнения), X_i — экономические факторы (ВВП, инвестиции).

В данном исследовании используется метод наименьших квадратов (OLS). Применительно к РФ

уравнение регрессии по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 3,658 - 0,048X_1 - 0,014X_2 + \varepsilon \quad (8)$$

где Y — выброс загрязняющих веществ атмосферный воздух (Ln);

X_1 — ВРП РФ (Ln);

X_2 — Инвестиции в основе капитал по очистке выбросов загрязняющих веществ атмосферный воздух (Ln).

Оценка регрессионной модели (8) показывает умеренно сильную линейную зависимость (множественный $R = 0.734$); объяснённая вариация: $R^2 = 0.539$ означает, что 53.9 % изменчивости выбросов

объясняется включёнными переменными; стандартная ошибка: 0.0504 свидетельствует о средней точности прогнозов (± 5.04 % от масштаба данных); модель в целом значима: статистическая значимость ($F=11.68$, $p=0.000435$).

Для РФ уравнение регрессии по сбросу загрязнённых сточных вод с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 13,615 + 0,223X_1 - 0,363X_2 + \varepsilon \quad (9)$$

где Y — выброс загрязняющих веществ атмосферный воздух РФ (Ln);

X_1 — ВРП РФ (Ln);

X_2 — Инвестиции в осн капитал по очистке загрязнённых сточных вод Ln РФ (Ln).

Представленные результаты анализа регрессионной модели (9) демонстрируют высокое качество модели, но требуют проверки на соответствие ключевым статистическим допущениям: предикторы статистически значимы ($p < 0.05$); увеличение X_1 (роста экономики РФ) на 1 единицу генерирует рост целевой переменной на 0.2232 (при прочих равных); увеличение

X_2 (инвестиций в очистку сброса сточных вод) на 1 единицу — снижение целевой переменной (выброса загрязняющих сточных вод) на 0.3632; стандартные ошибки коэффициентов небольшие (0.0826 и 0.0675); знаки коэффициентов логичны (положительный для X_1 , отрицательный для X_2). В целом представленная регрессионная модель демонстрирует отличное качество по ключевым метрикам: высокий R^2 (92.14 %) при значимых коэффициентах, сильная прогностическая способность ($F=117.26$). ЮФО уравнение регрессии по сбросу загрязнённых сточных вод с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 9,646 - 0,254X_1 + 0,126X_2 + \varepsilon \quad (10)$$

где Y — сброс загрязнённых сточных вод, млн. куб. м ЮФО (Ln);

X_1 — ВРП ЮФО (Ln);

X_2 — инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод ЮФО (Ln).

Представленные результаты (10) оценки параметров регрессионной модели указывают на ее удовлетворительное качество с потенциалом дальнейшего улучшения: коэффициент X_1 (ВРП ЮФО) статистически значим ($p < 0.05$) и при увеличении X_1 на 1 единицу происходит снижение целевой переменной (Y — сброса загрязнённых сточных вод) на 0.2538, X_2

(инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод) незначим ($p = 0.324 > 0.05$). Необходимо отметить сильные стороны регрессионной модели: значимая F-статистика, X_1 имеет ожидаемый знак и статистическую значимость. В целом регрессионная модель демонстрирует хорошую объясняющую способность ($R^2 = 78.5\%$), но требует доработки.

Уравнение регрессии ЮФО по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений (Ln) имеет следующий вид:

$$Y = 5,337 - 0,048X_1 + 0,252X_2 + \varepsilon \quad (11)$$

где Y — выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т ЮФО (Ln);

X_1 — ВРП ЮФО (Ln);

X_2 — инвестиции в основной капитал по очистке выброса загрязняющих веществ в атмосферу ЮФО (Ln).

Представленные результаты (11) указывают на среднее качество модели с ограниченной объяснительной силой: параметр X_1 статистически незначим ($p = 0,395 > 0.05$); X_2 близок к значимости ($p = 0.067$), но не достигает порога 0.05; значение $R^2 = 0.47$, т.е. модель объясняет менее половины дисперсии. Необходимо отметить статистическую значимость модели в целом

$$Y = 5,378 - 0,184X_1 + 0,216X_2 + \varepsilon \quad (12)$$

где Y – выбросу загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т СКФО ($\ln$);

X_1 – ВРП СКФО ($\ln$);

X_2 – инвестиции в основной капитал по очистке выброса загрязняющих веществ в атмосферу СКФО ($\ln$).

Качество регрессионной модели не позволяет использовать ее для прогнозирования, т.к. предикторы незначимы ($p > 0.05$); доверительные интервалы

$$Y = 9,732 - 0,008X_1 - 0,162X_2 + \varepsilon \quad (13)$$

где Y – сброс загрязненных сточных вод, млн. куб. м СКФО ($\ln$);

X_1 – ВРП СКФО ($\ln$);

X_2 – инвестиции в основной капитал по очистке загрязнённых сточных вод СКФО ($\ln$).

Представленные результаты указывают на высокое качество модели, но с некоторыми ограничениями, т.к. X_2 статистически значим ($p = 0.003 < 0.05$), его увеличение 1 единицу приводит снижению целевой переменной на 0.1621, но при этом X_1 статистически незначим ($p = 0.841 > 0.05$). В целом представленная регрессионная модель демонстрирует высокую объяснительную силу ($R^2 = 88.1\%$), высокое значение R^2 и значимая F-статистика, значимый коэффициент X_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрена проблема имманентной взаимосвязи экономического развития российских регионов с динамикой выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, связанная с рисками безопасности и устойчивого развития.

Сравнение темпов выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников за почти четвертьвековой период (2000–2023 гг.) показывает разнонаправленную динамику: с 2016 по 2018 гг. его рост отмечается в Южном федеральном округе, а в 2023 году максимальный темп роста выбросов наблюдался в Дальневосточном федеральном округе. Анализ статистических данных по сбросу загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты (табл. 3) показывает, что ситуация с экологией в федеральных округах России значительно варьируется.

В этой связи следует отметить, что с 2000 по 2023 годы относительное улучшение экологической ситуации отмечается в целом по РФ, Северо-Западном, Приволжском, Уральском и Сибирском округах, в то время как Центральный, Южный, Северо-Кавказский и Дальневосточный округа показали усиление антропогенного воздействия на окружающую среду.

На основе методики оценки эффекта декарпинга, представлена его оценка по федеральным

($F=8.88$, $p=0.0017$); X_2 демонстрирует тенденцию к значимости ($p=0.067$), но в целом регрессионная модель обладает ограниченной прогностической силой.

Уравнение регрессии СКФО по выбросу загрязняющих веществ в атмосферу с использованием логарифмированных значений ($\ln$) имеет следующий вид:

коэффициентов включают ноль; Y -пересечение значимо, но это не имеет смысловой нагрузки без значимых предикторов; F-статистика (1.537) с $p=0.239$ свидетельствует о том, что модель не объясняет зависимую переменную лучше, чем простое среднее значение. С нашей точки зрения, полученные результаты могут свидетельствовать о нарушении и разбалансировке порядка системных природоохранных мероприятий в СКФО.

округам РФ с 1999 по 2023 гг., выраженная в табличной и графической форме.

С нашей точки зрения наблюдаемое в 2021–2023 годах снижение декарпинг-фактора в РФ указывает на рассогласованность динамики выброса загрязняющих веществ и роста ВРП (табл. 6), т.е. свидетельствует о разрыве между темпами промышленной активности и динамикой загрязнения окружающей среды.

Приемлемость экологической кривой Кузнеца (ЕКК) для экономики Российской Федерации была проверена на данных за период 1999–2022 гг. Результаты исследования указывают на тот факт, что даже при наличии экологической кривой Кузнеца (ЭКК) для выбросов основных загрязняющих веществ от стационарных источников, экономический рост российских регионов не гарантирует устойчивого снижения антропогенной нагрузки на экосистемы в долгосрочной перспективе.

Возможными причинами такого состояния могут быть сырьевая модель экономики РФ и существующие институциональные пробелы. Отмеченные факторы объясняют, почему ЭКК России отклоняется от классической формы ЭКК: вместо снижения загрязнений по мере роста ВВП наблюдается цикличность выбросов, связанная с колебаниями сырьевого сектора и недостаточной экологической политикой. Для достижения устойчивого развития необходима глубокая структурная перестройка экономики и усиление институтов, ответственных за экологизацию производства.

Представленный регрессионный анализ взаимосвязи экономического роста с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух и сбросом загрязняющих сточных вод указывает на низкий уровень корреляции результирующего фактора с влияющими переменными.

Проведенное исследование взаимосвязи отдельных параметров загрязнения окружающей среды с экономическим ростом позволяет выявить пути дальнейшего снижения экологической нагрузки через адаптированную инвестиционную и структурную политику, нацеленную на снижение антропогенного воздействия.

Полученные результаты статистической оценки взаимовлияния антропогенного воздействия на окружающую среду могут применяться в процессе корректировки параметров эколого-экономического вектора стратегии обеспечения устойчиво-сбалансированного роста в Северо-Кавказском макрорегионе и разработки отраслевых стратегий в рамках общей парадигмы устойчивого развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Meeta J., Mukesh Kumar M. [The Economics of Environment and Ecology for Sustainable Development]. *ZBW – Leibniz Information Centre for Economics*, Kiel, Hamburg, 2020. URL: <https://hdl.handle.net/10419/227598> (дата обращения: 22.03.2024)
2. Vadéna T., Lähdeä V., Majavaa A., Järvensivua P., Toivanena T., Hakalaa E., Eronena J.T. Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature *Environ Sci Policy // Environmental Science & Policy*. 2020. V. 112. P. 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>
3. Garrett R.D., Ryschawy J., Bell L.W., Cortner O., Ferreira J., Garik A.V.N., Gil J.D.B., Klerkx L., Moraine M., Peterson C.A., dos Reis J.C., Valentim J.F. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales // *Ecology and Society*. 2020. V. 25(1). Article id: 24. <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124>
4. Yu Q., He Q., Anthony M.A., et al. Uncoupled responses of plants and soil biota to global change in the world's terrestrial ecosystems // *Nat Commun*. 2024. V. 15. Article id: 10369. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54304-z>
5. Payne A.R.D., Mannion Ph.D., Lloyd G.T., Davis K.E. et al. Breaking the speciation-extinction link shows that both abiotic and biotic factors shaped 250 million years of diversity in crocodile-line archosaurs // *Nat Ecol Evol*. 2024. V. 8. P. 121–132. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02244-0>
6. Avidad P.M. Trait-Based Niche Shifts in Birds Over Four Decades of Global Change // Thesis: Master of Biodiversity and Conservation Biology. 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35209.04968>
7. de Freitas L.C., Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil // *Ecological Economics*. 2011. V. 70. P. 1459–1469. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.011>
8. Sener S., Saridoğan E. The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth // *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 2011. V. 24. P. 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.127>
9. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure and Economic Growth. OECD, Paris. 2002. URL: https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/idsd/pdf/decoupling_environment_&_economy.pdf (дата обращения: 28.05.2024)
10. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2024. 1081 с.
11. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2023. 1126 с.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2021. 1112 с.
14. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2014: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2014. 900 с.
15. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010: Р32 Стат. сб. / Росстат. М., 2010. 996 с.
16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002: Р32 Стат. сб. / Госкомстат России. М., 2002. 863 с.

REFERENCES

1. Meeta J., Mukesh Kumar M. [The Economics of Environment and Ecology for Sustainable Development]. *ZBW – Leibniz Information Centre for Economics*, Kiel, Hamburg, 2020. Available at: <https://hdl.handle.net/10419/227598> (accessed 22.03.2024)
2. Vadéna T., Lähdeä V., Majavaa A., Järvensivua P., Toivanena T., Hakalaa E., Eronena J.T. Decoupling for ecological sustainability: A categorisation and review of research literature *Environ Sci Policy. Environmental Science & Policy*, 2020, vol. 112, pp. 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.016>
3. Garrett R.D., Ryschawy J., Bell L.W., Cortner O., Ferreira J., Garik A.V.N., Gil J.D.B., Klerkx L., Moraine M., Peterson C.A., dos Reis J.C., Valentim J.F. Drivers of decoupling and recoupling of crop and livestock systems at farm and territorial scales. *Ecology and Society*, 2020, vol. 25(1), article id: 24. <https://doi.org/10.5751/ES-11412-250124>
4. Yu Q., He Q., Anthony M.A. et al. Uncoupled responses of plants and soil biota to global change in the world's terrestrial ecosystems. *Nat Commun*, 2024, vol. 15, article id: 10369. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54304-z>
5. Payne A.R.D., Mannion Ph.D., Lloyd G.T., Davis K.E. et al. Breaking the speciation-extinction link shows that both abiotic and biotic factors shaped 250 million years of diversity in crocodile-line archosaurs. *Nat Ecol Evol*, 2024, vol. 8, pp. 121–132. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02244-0>
6. Avidad P.M. Trait-Based Niche Shifts in Birds Over Four Decades of Global Change. *Thesis: Master of Biodiversity and Conservation Biology*, 2024. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35209.04968>
7. de Freitas L.C., Kaneko S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, 2011, vol. 70, pp. 1459–1469. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.011>
8. Sener S., Saridoğan E. The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth. *Procedia-Soc. Behav. Sci.*, 2011, vol. 24, pp. 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.127>
9. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure and Economic Growth. OECD, Paris. 2002. Available at: https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/idsd/pdf/decoupling_environment_&_economy.pdf (accessed 28.05.2024)
10. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2024: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2024: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2024, 1081 p. (In Russian)
11. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2023: R32 Stat. sb. Rosstat*. [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2023: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2023, 1126 p. (In Russian)
12. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2022: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2022, 1122 p. (In Russian)

13. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2021: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2021: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2021, 1112 p. (In Russian)

14. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2014: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2014: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2014, 900 p. (In Russian)

15. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2010: R32 Stat. sb. Rosstat* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2010: R32 Stat. collection. Rosstat.]. Moscow, 2010, 996 p. (In Russian)

16. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli. 2002: R32 Stat. sb. / Goskomstat Rossii* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2002: R32 Stat. collection. State Statistics Committee of Russia]. Moscow, 2002, 863 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Набиюла С. Гичиев проводил анализ и интерпретацию данных, подготовил рисунки, написал статью и корректировал рукопись до подачи в редакцию. Надира О. Гусейнова корректировала рукопись до подачи в редакцию. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nabiyula S. Gichiev analysed and interpreted the data, prepared the figures, wrote the manuscript and corrected it before submission. Nadira O. Guseynova corrected the manuscript before submission to the Editor. Both 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

Набиюла С. Гичиев / Nabiyula S. Gichiev <http://orcid.org/0000-0002-0587-4853>

Надира О. Гусейнова / Nadira O. Guseynova <https://orcid.org/0000-0003-3979-4293>

Оригинальная статья / Original article

УДК 796.43

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-15



Перспективы развития пешего туризма в Республике Татарстан

Мадина Г. Даудова¹, Рамиль В. Кадыров², Гузель Н. Нуруллина²,
Юлия В. Терехина², Венера И. Богданова²

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

²Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Контактное лицо

Мадина Г. Даудова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и биоразнообразия Института экологии и устойчивого развития

ФГБОУ ВО Дагестанский государственный университет; 367000 Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Дахадаева, 21. Тел. +79288095666

Email mia0603@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

Формат цитирования

Даудова М.Г., Кадыров Р.В., Нуруллина Г.Н., Терехина Ю.В., Богданова В.И. Перспективы развития пешего туризма в Республике Татарстан // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 179-186. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-15

Получена 2 октября 2024 г.

Прошла рецензирование 16 декабря 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: оценка туристско-рекреационного потенциала Республики Татарстан для определения перспектив развития пешего туризма.

Рассматривая перспективы развития пешего туризма в Республике Татарстан, авторы исследования определили основные критерии оценки туристско-рекреационного потенциала территории, такие как природная среда, уровень развития инфраструктуры и логистика пеших туристских маршрутов. В статье были использованы картографический метод оценки туристских ресурсов и методика интегральной качественной оценки туристского потенциала территории А.В. Дроздова с помощью индикаторов в виде шкалы баллов.

Для определения перспектив развития пешего туризма в Республике Татарстан были обобщены проблемы, препятствующие развитию данного вида туризма. Среди них выявлены как общие проблемы активного туризма и пути их решения, так и частные. Несмотря на высокие темпы развития спортивного туризма в Татарстане, большие вложения в инфраструктуру и колоссальную работу, сделанную в данной сфере, регион полон нереализованных ресурсов. Исследование показало, что Елабужский и Зеленодольский муниципальные районы Татарстана обладают наибольшим потенциалом для развития пешего туризма. По природно-ландшафтной составляющей Елабужский и Зеленодольский районы лидируют по двум из трех возможных показателей. Из совокупности территориального размещения инфраструктуры Елабужский район обладает большим количеством баллов по двум показателям, а Зеленодольский район – по всем.

Елабужский и Зеленодольский муниципальные районы Татарстана имеют возможность стать центрами развития и организации активных видов отдыха, в том числе организации пешего туризма на востоке и северо-западе Республики Татарстан.

Ключевые слова

Бэкпэкинг, пеший туризм, Республика Татарстан, треккинг, туристско-рекреационные ресурсы, хайкинг.

Prospects for the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan

Madina G. Daudova¹, Ramil V. Kadyrov², Guzel N. Nurullina²,
Yulia V. Terehina² and Venera I. Bogdanova²

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

²Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Principal contact

Madina G. Daudova, PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Biology and Biodiversity, Institute of Ecology and Sustainable Development, Dagestan State University; 21 Dakhadaeva, Makhachkala, Dagestan, Russia 367000.

Tel. +79288095666

Email mia0603@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0456-3698>

How to cite this article

Daudova M.G., Kadyrov R.V., Nurullina G.N., Terekhova Yu.V., Bogdanova V.I. Prospects for the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):179-186. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-15

Received 2 October 2024

Revised 16 December 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to assess the tourism and recreational potential of the Republic of Tatarstan to determine the prospects for the development of hiking tourism.

Considering the prospects for the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan, the authors of the study identified the main criteria for assessing the tourism and recreational potential of the territory, such as the natural environment, the level of infrastructure development and logistics of hiking routes. The article used the cartographic method of assessing tourism resources and the methodology of integrated qualitative assessment of the tourist potential of a region by A.V. Drozdov using indicators in the form of a point scale.

In order to determine the prospects for the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan, problems hindering the development of this type of tourism were summarised. Among the problems currently hindering the development of hiking tourism, general problems of active tourism and ways to solve them and specific problems of the development of hiking tourism in the Republic of Tatarstan were identified.

Despite the high rates of development of sports tourism in Tatarstan, large investments in infrastructure and the enormous work done in this area, the region has many unrealised resources. The study showed that the Yelabuga and Zelenodolsk municipal districts of Tatarstan have the greatest potential for the development of hiking tourism. Of the indicators of the natural landscape component, the Yelabuga and Zelenodolsk districts are leaders in two of three possible indicators. Of the totality of regional distribution of infrastructure, the Yelabuga district has a large number of points in two of three indicators and the Zelenodolsk district in all indicators.

The Yelabuga and Zelenodolsk municipal districts of Tatarstan have the potential to become centres for the development and organization of active recreation, including the organisation of hiking tourism in the east and northwest of the Republic.

Key Words

Backpacking, hiking tourism, Republic of Tatarstan, trekking, tourism and recreational resources, hiking.

ВВЕДЕНИЕ

Пеший туризм – это один из видов активного туризма [1]. При анализе иностранных источников, установлено, что пеший туризм – это собирательное понятие, которое объединяет несколько видов туризма: трекинг, хайкинг и бэкпэкинг [2]. Эти понятия очень схожи, но имеют отличительные черты [3].

Важные характерные черты занятием трекинга: предполагает собой длительное путешествие и не требует специальной подготовки. Передвижение совершается по строго определенному маршруту, но может корректироваться и изменяться в процессе [4; 5]. Этот вид путешествия пользуется популярностью в странах Европы, Америки, Центральной Азии, СНГ [6].

Характерные черты занятием хайкинга: короче занятий трекинга, длится несколько дней и рассчитан на выходные. Следует по строго заготовленному маршруту, исключительно по маркированным тропам [7; 8]. Хайкинг популярен в странах Европы и США [9].

Характерные черты занятием бэкпэкинга: не предусмотрены остановки в кемпингах и турбазах, свободная траектория маршрута. К данному виду можно отнести любое путешествие с рюкзаком за плечами, включая использование поездов на попутном транспорте [10]. Бэкпэкинг пользуется популярностью в странах Европы, Америки, Центральной Азии, СНГ [11].

В Татарстане пеший туризм за последние 25 лет в некоторой степени потерял популярность. Хотя другие виды внутреннего туризма успешно развиваются. Среди них новые виды такие как промышленный туризм, гольф-туризм [12; 13]. Поэтому, для развития пешего туризма в современных условиях необходимо провести анализ туристско-рекреационных ресурсов территории и инфраструктурного потенциала, выявить те проблемы, которые препятствуют развитию пеших путешествий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении развития пешего туризма были выявлены необходимые критерии оценки, по которым проведено исследование: природная среда; уровень развития инфраструктуры; логистика пеших туристических маршрутов.

В.А. Рубцовым и С.А. Шабалиной оценка этого компонента предполагает собой сбор и аналитику больших массивов данных, в частности сбор информации по всем операционно-территориальным единицам в границах муниципальных образований Республики Татарстан [14].

При оценке туристско-рекреационного потенциала по методике Е.Ю. Колбовского высока вероятность появления затруднений оценки, поскольку Е.Ю. Колбовский выделил в отдельный критерий монастыри и сельские храмы [15]. Данный подраздел требует уточнения и последующего выявления и является вторичным условием развития пешего туризма.

Методика Ю.А. Худеньких применима к массовым формам туризма [16]. Такая оценка вызывает затруднения в выявлении, так как пеший туризм может являться частью спортивного, оздоровительного, лечебного туризма.

В методике П.С. Ширинкина и А.С. Пахомовой присутствует такой критерий оценки, как туropеpейтинг [17]. Нередко пешие походы являются частью самостоятельного туризма, поэтому оценка по данному критерию практически не представляет смысла.

Методика интегральной качественной оценки туристского потенциала территории А.В. Дроздова, на наш взгляд, представляет собой наиболее удачную и успешную шкалу оценивания [18]. В данной методике используются критерии оценки для элементов природных и культурных ландшафтов, что является основополагающим условием развития и организации пешего туризма. Все данные критерии учитываются и имеют большую роль при организации пеших туристских походов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ природных ландшафтов и их компонентов является одной из важнейших частей для определения перспектив развития пешего туризма территорий. Оно включает в себя ряд необходимых элементов по оценке рельефа, растительного покрова, водных ресурсов, флоры, фауны и климата.

Рельеф – основополагающий компонент природы любой страны. Для оценки компонентов туристско-рекреационного потенциала рельефа для развития пешего туризма использовались следующие критерии шкалы:

3 балла – наиболее благоприятные (более 5 критериев оценки);

2 балла – благоприятные (более 3 критериев оценки);

1 балл – относительно благоприятные (более 2 критериев оценки).

На основе полученных данных, на карте (рис. 1) отмечены районы, набравшие большее количество баллов при оценке ТРП.

Анализ рельефа Республики Татарстан позволяет сгруппировать территорию на три группы:

– наиболее благоприятные: Бугульминский (1), Бавлинский (2), Лениногорский (3), Альметьевский районы (4);

– благоприятные: Тетюшский (5), Камско-Устьинский (6), Спасский (7), Лаишевский (8);

– относительно благоприятные: Елабужский (9), Тукаевский (10), Чистопольский (11), Менделевский (12).

Наиболее привлекательными для развития пешего туризма с позиции ТРП рельефа, можно назвать Бугульминский, Бавлинский, Лениногорский, Альметьевский районы, отвечающие предъявляемым требованиям.

Для оценки потенциала водных ресурсов для развития пешего туризма использовались следующая шкала оценки:

1 балл – обладают достаточным разнообразием водных ресурсов;

0 баллов – не обладают.

Общая протяженность рек в Республике Татарстан достигает 19 601 км. На территории республики находятся более 8 тыс. озер. Богаты озерами и реками Лаишевский, Зеленодольский и Тукаевский районы Татарстана.

Недра республики богаты подземными водами. Лениногорский район занимает первое место по количеству родников в республике. Наиболее

благоприятными по водным ресурсам были признаны 4 района республики, к благоприятным отнесен

Мамадышский (1), Мензелинский (2), Нижнекамский (3), Спасский районы (4) (рис. 2).

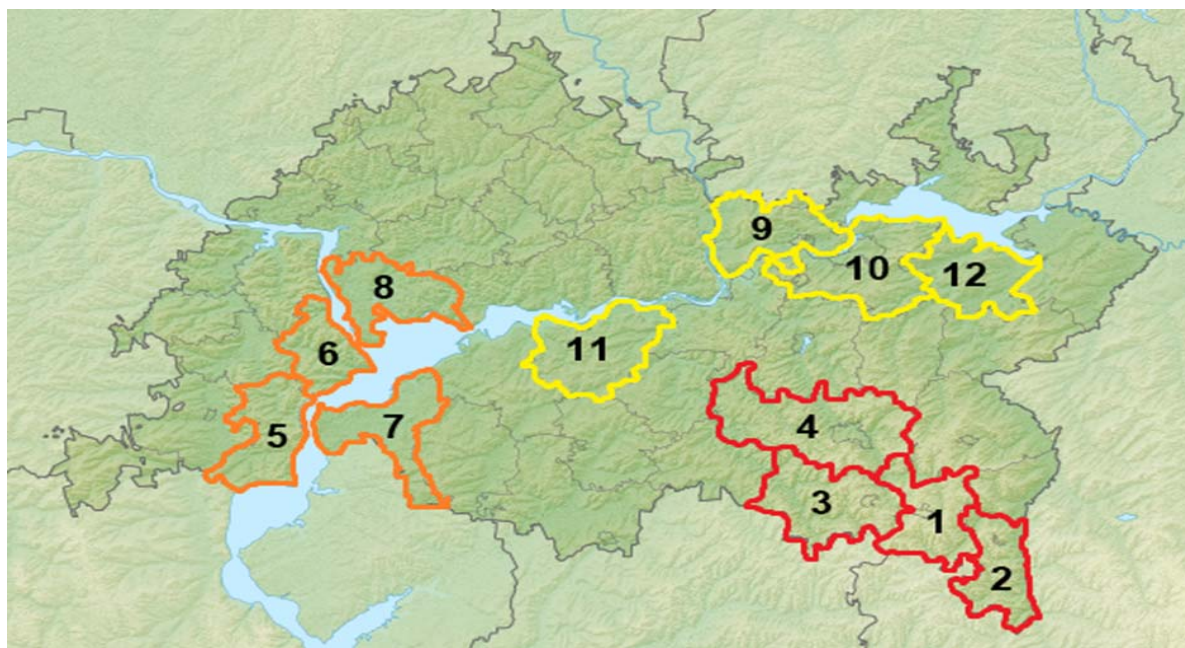


Рисунок 1. Карта географического расположения районов, обладающих наибольшим туристском потенциалом рельефа территории для развития пешего туризма

Figure 1. Map of the geographical location of areas with the greatest tourism potential of terrain for hiking tourism development

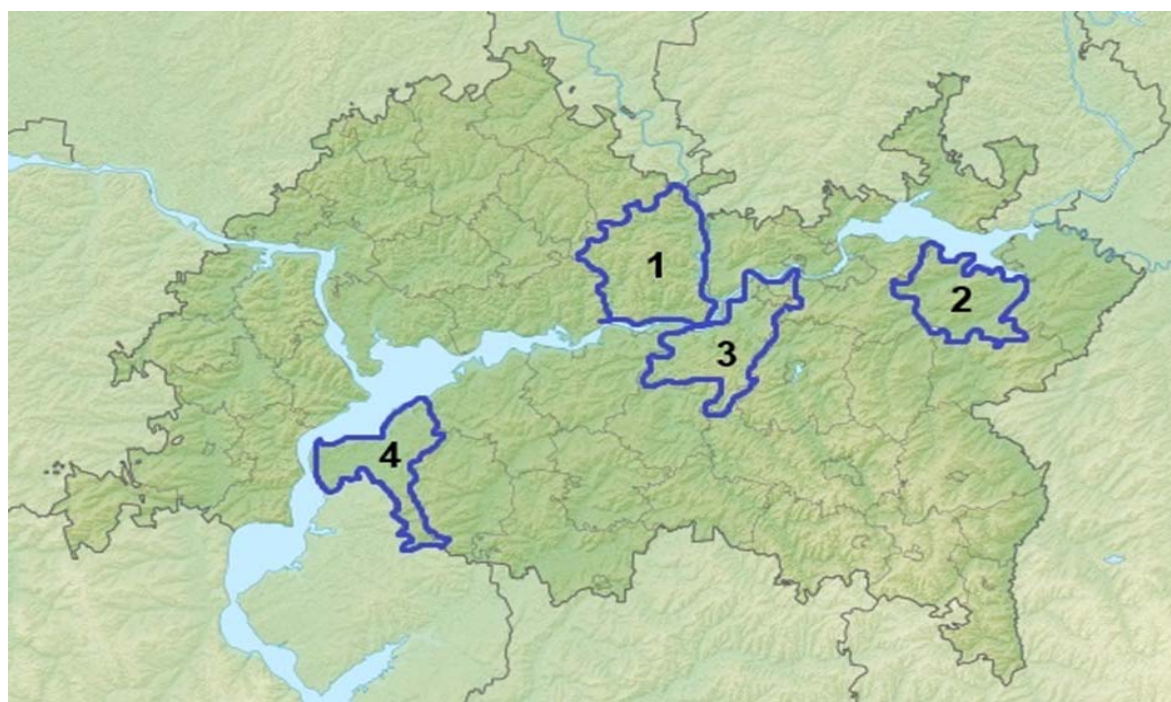


Рисунок 2. Карта географического расположения районов, обладающих наибольшим туристском потенциалом водных ресурсов для развития пешего туризма

Figure 2. Map of the geographical location of areas with the greatest tourism potential of water resources for hiking tourism development

Для оценки компонентов ТРП лесных ресурсов для развития пешего туризма использовались следующая шкала оценивания:

1 балл – наличие лесных ресурсов более, чем на 25 % от общего процентного соотношения территории района;
0 баллов – наличие менее чем на 25 %.

Наибольшая доля земель лесного фонда находится в Нурлатском (43,1 %), Альметьевском (30,6 %), Лениногорском (28,5 %) и Заинском районах (29,6 %). Данные для наглядности были отмечены на карте (рис. 3), под номерами 1, 2, 3, 4 соответственно.

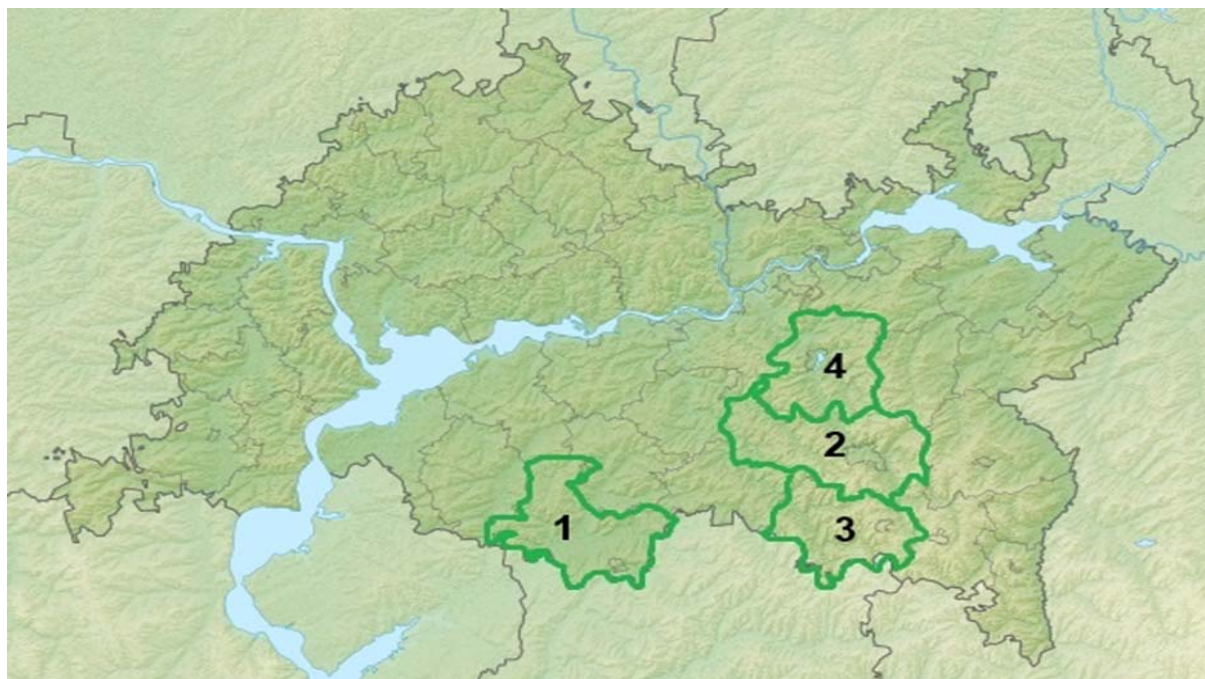


Рисунок 3. Карта географического расположения районов, обладающих наибольшим туристском потенциалом лесных ресурсов для развития пешего туризма

Figure 3. Map of the geographical location of areas with the greatest tourism potential of forest resources for hiking tourism development

Проведенный анализ природных условий организации пешего туризма территории Татарстана позволил выделить следующие группы районов:

1. К первой группе были отнесены районы благоприятные для формирования туристско-рекреационных комплексов (Альметьевский, Елабужский, Зеленодольский, Лениногорский, Нижнекамский) [19].

2. Ко второй группе относятся территории со средними показателями (Агрызский, Алексеевский, Бавлинский, Бугульминский, Заинский, Камско-Устьинский, Лаишевский, Мамадышский, Менделеевский, Мензелинский, Нурлатский, Сабинский, Тетюшский и Тукаевский районы).

3. К третьей группе отнесены территории с низкими показателями (Арский, Тюлячинский, Пестречинский и др.).

Следующим этапом исследования являлся анализ существующего территориального размещения инфраструктуры туризма и рекреации. Оценка проводилась по следующим группам факторов: средства размещения; наличие уже существующих пешех троп; транспортная доступность [20].

Для оценки компонентов существующего территориального размещения инфраструктуры для развития пешего туризма использовались следующая шкала оценивания:

2 балла – наличие коллективных средств размещения (санаториев, профилакториев, домов отдыха, турбаз и т.д.) более одной единицы;

1 балл – возможность организации только площадок для кемпинга, отсутствие организационных специализированных средств размещения.

Районами, с наибольшей концентрацией организованных туристских средств размещения являются Зеленодольский, Тукаевский, Нижнекамский, Елабужский районы Татарстана [21].

Территориями, где идет процесс организации туристских стоянок для кемпинга являются Зеленодольский, Лаишевский, Камско-Устьинский, Менделеевский, Пестречинский и Елабужский районы [21].

Другим важным критерием оценки является показатель наличия уже существующих пешех туристских троп. Здесь важно учитывать обустройство инфраструктуры пешех троп, включающее в себя разметку маршрута, наличие маркировки, установление категории сложности.

Для оценки компонентов наличия, существующих пешех туристских троп, использовались следующая шкала оценивания:

2 балла – наличие организованных пешех туристских троп с указанием информации об их обустройстве;

1 балл – наличие организованных туристских троп без указания информации обустройства и инфраструктуры.

При анализе информации по данной теме, были выявлены следующие районы: Елабужский, Камско-Устьинский, Зеленодольский, Тетюшский, Пестречинский, Тукаевский, Нижнекамский, Верхнеуслонский, Альметьевский, Лениногорский районы [19].

Последним критерием оценки территориального размещения инфраструктуры является транспортная доступность территорий. Оценка проводилась по 3-бальной шкале.

По территории Республики проходят четыре федеральные трассы: М-7 «Волга», М-12 «Восток», М-5 «Урал», Казань – Оренбург.

Наиболее беспрепятственно можно добраться до Зеленодольского, Верхнеуслонского, Лаишевского, Пестречинского, Арского, Елабужского, Чистопольского, Спасского районов. Эти районы связаны с Казанью хорошими автомобильными трассами и водными путями.

Анализ существующего территориального размещения инфраструктуры для развития пешего туризма позволяет сделать следующие выводы:

1. Высоким потенциалом развития туристско-рекреационного потенциала и территориального размещения инфраструктуры для развития пешего туризма обладают Елабужский (14 баллов), Зеленодольский (13 баллов) и Пестречинский (9 баллов) районы Татарстана, которые составляют только 7 % от общего количества административных объектов. Привлекательность заключается главным образом в наличие ООПТ на данных территориях, относительно высокий уровень развития экологического и активного туризма, близость к крупным населенным пунктам.

2. Средним потенциалом обладают Арский (7 баллов), Верхнеуслонский (8 баллов), Камско-Устьинский (8 баллов), Лаишевский (8 баллов), Нижнекамский (8 баллов), Тетюшский (8 баллов) и Тукаевский (8 баллов) районы республики.

3. Низкими показателями развития инфраструктуры для развития пешего туризма обладают 76 % районов от общего количества, что говорит о существовании целого комплекса проблем, препятствующего развитию необходимой инфраструктуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для рассмотрения комплекса проблем, свойственных всей сфере активного туризма в России следует отметить:

1. Сезонность предложений. Это усложняет организацию и проведение пешего туризма, а также повышает уровень обеспечения безопасности при проведении треккинга.

2. Нехватка объектов инфраструктуры, включая слабое развитие сетей транспортного обеспечения. Данная проблема тесно связана с отсутствием или нехваткой финансовой поддержки в сфере активного туризма.

3. Общие экологические проблемы, препятствующие развитию. Загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, почв влияет на перспективы развития активного туризма.

На основе проведенного исследования были определены пять перспективных направлений развития пешего туризма:

- популяризация и пропаганда организованных походов;
- наполнение похода национальным колоритом;
- благоустройство и оборудование туристских стоянок;
- развитие GPS-трекеров;
- система подготовки туристских кадров.

Решение и реализация данных проблем, без сомнения, возможно только при эффективном сотрудничестве органов власти и населения, преследующих одинаковые цели. Данные проблемы невозможно решить в короткие сроки, они требуют длительного решения и сотрудничества. Заинтересованность и желание развивать пеший туризм должны стать толчком к решению самых больших сложностей. И, как известно, самые большие сложности начинаются тогда, когда люди пытаются заниматься наиболее тяжелым в жизни делом – строить и создавать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пахарь В.В. Роль треккинга в спортивно-оздоровительном туризме // Материалы V международной научно-практической Интернет-конференции студентов и аспирантов «Энергия науки». Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2015. С. 336–338.
2. Михайлов Д.В. Хайкинг, треккинг и бэкпэкинг на Кольском севере: сфера outdoor-практик Мурманской области // Материалы III Международного форума «Креативные индустрии Арктического региона: опыт и перспективы развития». Мурманск: Мурманский арктический государственный университет, 2021. С. 143–151.
3. Усманов И.Ю., Усманов Ю.И. Въездной и выездной туризм. Оценка баланса ввоза и вывоза денег жителями Башкортостана // Экономика и управление. 2009. N 6. С. 28–36.
4. Столяренко Л.С. Сущность треккинга и этапы его эволюции // Материалы научно-методических чтений «Университетские чтения». Пятигорск: ПГУ, 2020. С. 124–129.
5. Ахметова А.Т., Султанова В.Р. Состояние развития треккинга в г.Казани // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и инновации спортивного менеджмента, рекреации и спортивно-оздоровительного туризма». Казань: Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, 2021. С. 146–147.
6. Lone A.A. Role of hiking trekking in lifestyle diseases a case study of baderkali trekking trail // Journal of prevention, diagnosis and management of human diseases. 2022. N 25. P. 1–10.
7. Столяров Е.И. Хайкинг новый вид физической активности // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы общества, науки и образования». Пенза: Наука и просвещение, 2023. С. 185–187.
8. Nurmukhambetova Zh., Rasulova S., Kadyrbekova D. Organization of hiking trips in the context of improving patriotic education // Tourism, leisure and hospitality, 2023. V. 1. N 1. P. 58–64.
9. McLeod K. Wild" generosity: the role of trail angels in shaping community on America's long-distance hiking trails // Ad limina. 2024. V. 15. N 15. P. 169–198.
10. Gupta A., Kour A. Negotiating Backpacking constraints // Tourism, 2023. V. 71. N 3. P. 568–582.
11. Ilagan G.I., Ilagan J., Jocius R., Hornor T., Shealy T., Simpson A., Cavaliere G., Polen B., Brooks J. Backpacking veterans: exploring sense of belonging, happiness and stress-coping // Journal of outdoor recreation, education and leadership. 2022. V. 14. N 4. P. 36–54.
12. Bunakov O.A., Eidelman B.M., Terehina Y.V., Kadyrov R.V. Improving Industrial Tourism in the Republic of Tatarstan through Historical and Industrial Heritage: An Investigation of the Role of Language Functions and Cultural Familiarity // Journal of research in applied linguistics. 2019. V. 10. Special Issue. P. 1427–1438.
13. Ziganshina M.R., Mendelson V.A., Kadyrov R.V. The prospects for the development of golf tourism in Russian regions // Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science. Atlantis Press, 2019. P. 322–326.
14. Рубцов В.А., Шабалина С.А., Булатова Г.Н. Туристско-рекреационный потенциал городов Республики Татарстан // Экологический консалтинг. 2013. N 4 (52).

С. 6–12.

15. Колбовский Е.Ю. Культурный ландшафт как объект исторической геоэкологии // Материалы VII Международной научно-образовательной конференции по исторической географии «Исторический подход в географии и геоэкологии». Петрозаводск: ПГУ, 2023. С. 37–44.
16. Худеньких Ю.А. Подходы к оценке туристского потенциала территории на примере районов Пермского края // Сборник научных трудов «География и туризм». Пермь: Пермский государственный университет, 2006. С. 217–230.
17. Ширинкин П.С., Пахомова А.С. Определение приоритетных территорий Пермского края для развития туризма: теория, методология, практика // Вестник Пермского института искусства и культуры. 2007. N 5. С. 99–113.
18. Дроздов А.В. Выявление, оценка и использование туристских ресурсов России. Современная ситуация, проблемы и пути их решения // Актуальные проблемы туризма. 2007. Вып. 1. С. 228–250.
19. Абинова Л.И., Шабанова Л.Б. Рейтинговая оценка пространственного распределения туристско-рекреационного потенциала Республики Татарстан // Актуальные проблемы экономики и права. 2013. N 3. С. 17–21.
20. Бузни А.Н., Тренихина А.А. Организационные проблемы активного туризма // Экономические исследования и разработки. 2017. N 1. С. 136–152.
21. Сидоров В.П., Рубцов В.А., Шабалина С.А., Булатова Г.Н. Природно-рекреационный потенциал Республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. 2013. N 3. С. 152–161.

REFERENCES

1. Pakhar' V.V. Rol' trekkinga v sportivno-ozdorovitel'nom turizme [The role of trekking in sports and health tourism]. *Materialy V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi Internet-konferentsii studentov i aspirantov «Energiya nauk»*, Khanty-Mansiysk, 2015 [Proceedings of the V international scientific and practical Internet conference of students and postgraduates "Energy of Science", Khanty-Mansiysk, 2015]. Khanty-Mansiysk, Yugra State University Publ., 2015, pp. 336–338. (In Russian)
2. Mikhailov D.V. Khaiking, trekking i behkpehking na Kol'skom severe: sfera outdoor-praktik Murmanskoi oblasti [Hiking, trekking and backpacking in the Kola North: the sphere of outdoor practices in the Murmansk region]. *Materialy III Mezhdunarodnogo foruma «Kreativnye industrii Arkticheskogo regiona: opyt i perspektivy razvitiya»*. Murmansk, 2021 [Proceedings of the III International Forum "Creative Industries of the Arctic Region: Experience and Development Prospects", Murmansk, 2021]. Murmansk, Murmansk Arctic State University Publ., 2021, pp. 143–151. (In Russian)
3. Usmanov I.Yu., Usmanov Yu.I. Inbound and outbound tourism. Assessment of the balance of import and export of money by residents of Bashkortostan. *Ehkonomika i upravlenie* [Economy and management]. 2009, no. 6, pp. 28–36. (In Russian)
4. Stolyarenko L.S. Sushchnost' trekkinga i ehtapy ego ehvolutsii [The essence of trekking and the stages of its evolution]. *Materialy nauchno-metodicheskikh chtenii «Universitetskie chteniya»*, Pyatigorsk, 2020 [Materials of scientific and methodological readings "University

- Readings", Pyatigorsk, 2020]. Pyatigorsk, PSU Publ., 2020, pp. 124–129. (In Russian)
5. Akhmetova A.T., Sultanova V.R. Sostoyanie razvitiya trekkinga v g.Kazani [The state of development of trekking in Kazan]. *Materialy VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy i innovatsii sportivnogo menedzhmenta, rekreatsii i sportivno-ozdorovitel'nogo turizma»*, Kazan', 2021 [Proceedings of the VII All-Russian scientific and practical conference "Problems and innovations of sports management, recreation and sports and health tourism", Kazan, 2021]. Kazan, Volga Region State University of Physical Education, Sports and Tourism Publ., 2021, pp. 146–147. (In Russian)
6. Lone A.A. Role of hiking trekking in lifestyle diseases a case study of baderkali trekking trail. *Journal of prevention, diagnosis and management of human diseases*. 2022, no. 25, pp. 1–10.
7. Stolyarov E.I. Khaiking novyi vid fizicheskoi aktivnosti [Hiking is a new type of physical activity]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye voprosy obshchestva, nauki i obrazovaniya»*, Penza, 2023 [Proceedings of the VIII International scientific and practical conference "Current issues of society, science and education". Penza, 2023]. Penza, Nauka i prosveshchenie Publ., 2023, pp. 185–187. (In Russian)
8. Nurmukhambetova Zh., Rasulova S., Kadyrbekova D. Organization of hiking trips in the context of improving patriotic education. *Tourism, leisure and hospitality*. 2023, vol. 1, no. 1, pp. 58–64.
9. McLeod K. Wild" generosity: the role of trail angels in shaping community on America's long-distance hiking trails. *Ad limina*. 2024, vol. 15, no. 15, pp. 169–198.
10. Gupta A., Kour A. Negotiating Backpacking constraints. *Tourism*. 2023, vol. 71, no. 3, pp. 568–582.
11. Ilagan G.I., Ilagan J., Jocius R., Hornor T., Shealy T., Simpson A., Cavaliere G., Polen B., Brooks J. Backpacking veterans: exploring sense of belonging, happiness and stress-coping. *Journal of outdoor recreation, education and leadership*. 2022, vol. 14, no. 4, pp. 36–54.
12. Bunakov O.A., Eidelman B.M., Terehina Y.V., Kadyrov R.V. Improving Industrial Tourism in the Republic of Tatarstan through Historical and Industrial Heritage: An Investigation of the Role of Language Functions and Cultural Familiarity. *Journal of research in applied linguistics*. 2019, vol. 10, Special Issue, pp. 1427–1438.
13. Ziganshina M.R., Mendelson V.A., Kadyrov R.V. The prospects for the development of golf tourism in Russian regions. *Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science*. Atlantis Press, 2019, pp. 322–326.
14. Rubtsov V.A., Shabalina S.A., Bulatova G.N. Tourism and recreational potential of the cities of the Republic of Tatarstan. *Ehkologicheskii konsalting* [Ecological consulting]. 2013, no. 4 (52), pp. 6–12. (In Russian)
15. Kolbovskii E.Yu. Kul'turnyi landshaft kak ob"ekt istoricheskoi geoehkologii [Cultural landscape as an object of historical geoecology] *Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-obrazovatel'noi konferentsii po istoricheskoi geografii «Istoricheskii podkhod v geografii i geoehkologii»* [Proceedings of the VII International scientific and educational conference on historical geography "Historical approach in geography and geoecology", Petrozavodsk, 2023]. Petrozavodsk, PSU Publ., 2023, pp. 37–44. (In Russian)
16. Khuden'kikh Yu.A. [Approaches to assessing the tourist potential of a territory using the example of districts of the

Perm region]. In: *Geografiya i turizm* [Geography and tourism]. Perm', PSU Publ., 2006, pp. 217–230. (In Russian)

17. Shirinkin P.S., Pakhomova A.S. Determination of priority territories of the Perm region for tourism development: theory, methodology, practice. *Vestnik Permskogo instituta iskusstva i kul'tury* [Bulletin of the Perm Institute of Art and Culture]. 2007, no. 5, pp. 99–113. (In Russian)

18. Drozdov A.V. Identification, evaluation and use of tourism resources of Russia. Current situation, problems and ways of their solution. *Aktual'nye problemy turizma* [Actual problems of tourism]. 2007, iss. 1, pp. 228–250. (In Russian)

19. Abinova L.I., Shabanova L.B. Rating assessment of the spatial distribution of the tourist and recreational potential of the Republic of Tatarstan. *Aktual'nye problemy ehkonomiki i prava* [Actual problems of economics and law]. 2013, no. 3, pp. 17–21. (In Russian)

20. Buzni A.N., Trenikhina A.A. Organizational problems of active tourism. *Ehkonomicheskie issledovaniya i razrabotki* [Economic research and development]. 2017, no. 1, pp. 136–152. (In Russian)

21. Sidorov V.P., Rubtsov V.A., Shabalina S.A., Bulatova G.N. Natural-recreational potential of Tatarstan. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya* [Bulletin of Udmurt University. Series Biology]. 2013, no. 3, pp. 152–161. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Мадина Г. Даудова, Рамиль В. Кадыров, Гузель Н. Нуруллина, Юлия В. Терехина, Венера И. Богданова проанализировали данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Madina G. Daudova, Ramil V. Kadyrov, Guzel N. Nurullina, Yulia V. Terehina and Venera I. Bogdanova analysed the data, wrote the manuscript. All authors are equally 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

Мадина Г. Даудова / Madina G. Daudova <https://orcid.org/0000-0002-3729-9224>
Рамиль В. Кадыров / Ramil V. Kadyrov <https://orcid.org/0000-0003-1347-1429>
Гузель Н. Нуруллина / Guzel N. Nurullina <http://orcid.org/0009-0000-6352-4504>
Юлия В. Терехина / Yulia V. Terehina <http://orcid.org/0009-0008-2170-5479>
Венера И. Богданова / Venera I. Bogdanova <http://orcid.org/0000-0002-3709-574X>

Оригинальная статья / Original article
УДК 633.854.78:632.51:632.954:631.95
DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-16



Агроэкологическая оценка довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника Краснодарского края

Валерия А. Суворова, Анатолий П. Савва

Федеральный научный центр биологической защиты растений, Краснодар, Россия

Контактное лицо

Анатолий П. Савва, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией гербологии, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений»; 350039 Россия, г. Краснодар, п/о 39.
Тел. +79184436636
Email savap53@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

Формат цитирования

Суворова В.А., Савва А.П. Агроэкологическая оценка довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника Краснодарского края // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N1. С. 187-194. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-16

Получена 26 февраля 2024 г.

Прошла рецензирование 14 июня 2024 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Цель: агроэкологическая оценка довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника гибрида Арис в Краснодарском крае.

Опыт проводили в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр биологической защиты растений» в 2023 году на посевах подсолнечника (гибрид Арис), согласно методическим указаниям по испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. В эксперименте использовали довсходовые широко применяемые гербициды. Биологическую и хозяйственную эффективность гербицидов оценивали по количеству, массе и урожаю семян подсолнечника в сравнении с контролем. Сравнительную экотоксикологическую оценку препаратов проводили по показателю экологической нагрузки.

Применение препаратов: Фронтьер Оптима, КЭ (0,8 л/га); Дуал Голд КЭ (1,3 л/га); Пропонит, КЭ (2,0 л/га), Гезадар, КЭ (2,0 л/га), Бегин Турбо, КС (1,5 л/га); Акрис, СЭ (2,0 л/га); Версия, МД (3,0 л/га) и Камелот, СЭ (3,0 л/га) до всходов подсолнечника обеспечило 75...96 % гербицидный эффект. Отрицательного действия на культуру не наблюдалось, и была получена 149,1...155,5 % величина сохраненного урожая к контролю.

Гербициды: Фронтьер Оптима, КЭ; Дуал Голд КЭ; Пропонит, КЭ и Гезадар, КЭ характеризуются более низким показателем экологической нагрузки в сравнении с препаратами: Бегин Турбо, КС; Акрис, СЭ; Версия, МД и Камелот, СЭ.

При выборе гербицидов для применения на посевах подсолнечника необходимо учитывать не только их биологическую эффективность, но и экологическую нагрузку.

Ключевые слова

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.), урожайность, гербицид, сорное растение, эффективность, экологическая нагрузка.

Agroecological assessment of pre-emergence herbicides on sunflower crops in Krasnodar territory, Russia

Valeria A. Suvorova and Anatoliy P. Savva

Federal Research Centre of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Principal contact

Anatoliy P. Savva, PhD in Biology, Leading Researcher & Head of the Laboratory of Herbology, Federal Research Centre of Biological Plant Protection; p/o 39, Krasnodar, Russia, 350039. Tel. +79184436636

Email savap53@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

How to cite this article

Suvorova V.A., Savva A.P. Agroecological assessment of pre-emergence herbicides on sunflower crops in Krasnodar territory, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):187-194. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-16

Received 26 February 2024

Revised 14 June 2024

Accepted 15 January 2025

Abstract

The aim was to undertake an Agroecological assessment of pre-emergence herbicides on the crops of the Aris sunflower hybrid in Krasnodar Territory. The experiment was carried out at the Federal Research Centre of Biological Plant Protection in 2023 on sunflower crops (Aris hybrid), according to the guidelines for testing herbicides in agriculture. Widely used pre-emergence herbicides were applied in the experiment. The biological and economic efficacy of herbicides was assessed by the number, weight and yield of sunflower seeds in comparison with the control. A comparative ecotoxicological assessment of the preparations was carried out based on the environmental load indicator.

Application of the preparations: Frontiere Optima, CE (0.8 l/ha); Dual Gold CE (1.3 l/ha); Proponite, CE (2.0 l/ha), Gezadar, SC (2.0 l/ha), Begin Turbo, SC (1.5 l/ha); Acris, SE (2.0 l/ha); Versia, OD (3.0 l/ha) and Camelot, SE (3.0 l/ha) before sunflower germination provided 75...96 % herbicidal effect. No negative effect on the crop was observed and 149.1...155.5 % of the saved yield compared to the control was obtained. Herbicides: Frontiere Optima, CE, Dual Gold CE, Proponite, CE, Gezadar, SC are characterised by a lower environmental load compared to the preparations Begin Turbo, SC; Acris, SE; Versia, OD and Camelot, SE.

When choosing herbicides for use on sunflower crops, it is necessary to take into account not only their biological effectiveness, but also their environmental load.

Key Words

Sunflower (*Helianthus annuus* L.), yield, herbicide, weed, efficacy, environmental load.

ВВЕДЕНИЕ

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) – основная масличная культура в Российской Федерации. Краснодарский край является одним из лидирующих регионов по его выращиванию. В 2023 году под посевы подсолнечника было отведено 476,9 тыс. га, что составило половину общей площади возделываемых технических культур края [1].

Одной из главных причин снижения урожайности и ухудшения качественных характеристик продукции подсолнечника является засоренность посевов [2]. Сорная растительность, имея более высокую конкурентную способность на ранних этапах роста и развития культуры, затеняет светолюбивые растения и поглощает из почвы влагу и важные элементы питания, что в дальнейшем приводит к невосполнимым потерям урожая [3; 4]. Кроме прямого снижения урожайности, сорняки являются резерваторами фитопатогенов, а также кормовой базой для многих видов фитофагов, особенно в ранневесенний период, когда еще нет основных кормовых растений. Помимо этого они увеличивают затраты на обработку почвы и уборку урожая [5].

В связи с этим, своевременное уничтожение сорной растительности в посевах подсолнечника – важный и необходимый элемент в технологии возделывания культуры [6].

Срок проведения защитных мероприятий зависит от взаимоотношений растений в агрофитоценозах и определяется рядом условий, прежде всего видами сорных растений, их численностью и временем совместного произрастания – критическим периодом. Для растений подсолнечника этот период, в течение которого он наиболее чувствителен к конкуренции сорняков, составляет 24–25 суток с момента появления всходов культуры. Именно в этот срок требуется осуществление защитных мероприятий, направленных на сохранение потенциального урожая и его качества [7].

В настоящее время, из существующих методов борьбы с сорной растительностью наиболее эффективным и востребованным является химический, с использованием гербицидов [8; 9].

На территории Российской Федерации зарегистрировано 130 гербицидов на основе 19 действующих веществ, применяемых в технологии возделывания подсолнечника, из которых 67 препаратов используются в период до всходов культуры и 63 – во время вегетации [10]. Для подавления однолетних и некоторых многолетних злаковых сорных растений в каталоге имеется 55 грамминцидов, применяемых в период вегетации на основе таких действующих веществ, как галаксифоп-П-метил, квизалофоп-П-тефурил, клетодим, хизалофоп-П-этил, флуазифоп-П-бутил, циклосидим. Для борьбы с однолетними двудольными сорняками зарегистрировано 6 гербицидов на основе этаметсульфурон-метила. Для одновременного подавления злаковых и двудольных сорных растений в посевах подсолнечника применяется 63 гербицида до всходов культуры на основе действующих веществ: диметенамид-Р; пендиметалин; прометрин; пропизохлор; С-метолахлор; тербутилазин; флуорхлоридон; аклонифен.

Использование гербицидов в современном сельском хозяйстве имеет две составляющие с противоположенными последствиями [11]. Первая

касается необходимости борьбы с сорняками для уменьшения ущерба сельскохозяйственным культурам и поддержания продуктивности и экономической выгоды. Вторая – остатки этих химикатов при чрезмерном и неразумном их применении, к сожалению, могут выступать в качестве загрязнителей почвы, нанося в дальнейшем экологический ущерб. В связи с этим гербициды необходимо применять не только исходя из биологической и хозяйственной эффективности, но и с учетом их экологической нагрузки [12; 13].

Цель работы – агроэкологическая оценка довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника в Краснодарском крае.

Задача исследования – оценка биологической и хозяйственной эффективности довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника и определение их показателей экологической нагрузки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Агроэкологическую оценку гербицидов на посевах гибрида подсолнечника Арис осуществляли в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (г. Краснодар) в 2023 году.

В степной зоне Краснодарского края климат умеренно-континентальный: засушливое, жаркое лето и мягкая малоснежная зима. Средняя температура воздуха в январе -3...-5 °С, в июле этот показатель составляет + 22...+ 24 °С. Годовое количество атмосферных осадков колеблется от 400 до 600 мм.

В апреле и мае температурный режим был на уровне среднесезонных данных, а в период июнь, июль и август он превышал норму на: 5,9; 7,7 и 12,1 °С, соответственно (рис. 1). Сумма атмосферных осадков в период апрель...июнь в 1,3...2,0 раза превышала среднесезонные показатели, в июле была близка к норме, а в августе наблюдалась засуха.

Почва экспериментального участка – чернозем, выщелоченный с содержанием гумуса в пахотном слое – 3,4 %, рН_{водн.} – 6,9.

Технология выращивания подсолнечника (гибрид Арис): лущение стерни предшествующей культуры (озимый ячмень); вспашка на глубину 25–27 см; ранневесеннее боронование и культивация перед посевом культуры, который был проведен 18 апреля 2023 года с нормой высева 60 тыс. шт./га.

Сорная растительность посевов подсолнечника в основном была представлена: марью белой (*Chenopodium album* L.); щетинником сизым (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. Et Schult); амброзией полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.); щирицей запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.); ежовником обыкновенным (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv).

В опыте на посевах подсолнечника использовали довсходовые однокомпонентные гербициды в минимальных рекомендуемых нормах применения [10]: Фронтьер Оптима, КЭ (720 г/л диметенамида-Р); Дуал Голд, КЭ (960 г/л С-металохлора); Пропонит, КЭ (720 г/л пропизохлора); Гезадар, КС (500 г/л прометрина) и двухкомпонентные: Бегин Турбо, КС (250 г/л тербутилазина + 250 г/л С-металохлора); Акрис, СЭ (280 г/л диметенамида-Р + 250 г/л тербутилазина); Версия, МД (370 г/л пропизохлора + 185 г/л тербутилазина); Камелот, СЭ (312,5 г/л С-металохлора + 187,5 тербутилазина).

Растворы гербицидов вносили до всходов культуры ручным опрыскивателем марки «PULVEREX», оборудованным штангой (2 метра) с плоскоструйными распылителями (TEEJET 11002 VS) при расходе рабочей жидкости 200 л/га. Площадь опытных делянок 25 м², четырехкратная повторность с рендомизированным расположением [13].

Проведение полевого эксперимента проводили по «Методическим рекомендациям по

проведению регистрационных испытаний гербицидов» [14]. Учеты засоренности проводили через 30 и 45 дней после внесения препаратов и при уборке урожая. Уборку урожая опытных делянок подсолнечника проводили комбайном ХЕГЕ-125. Эффективность гербицидов учитывали по числу и массе сорняков, разнице урожая в сравнении с контролем (без использования гербицидов).

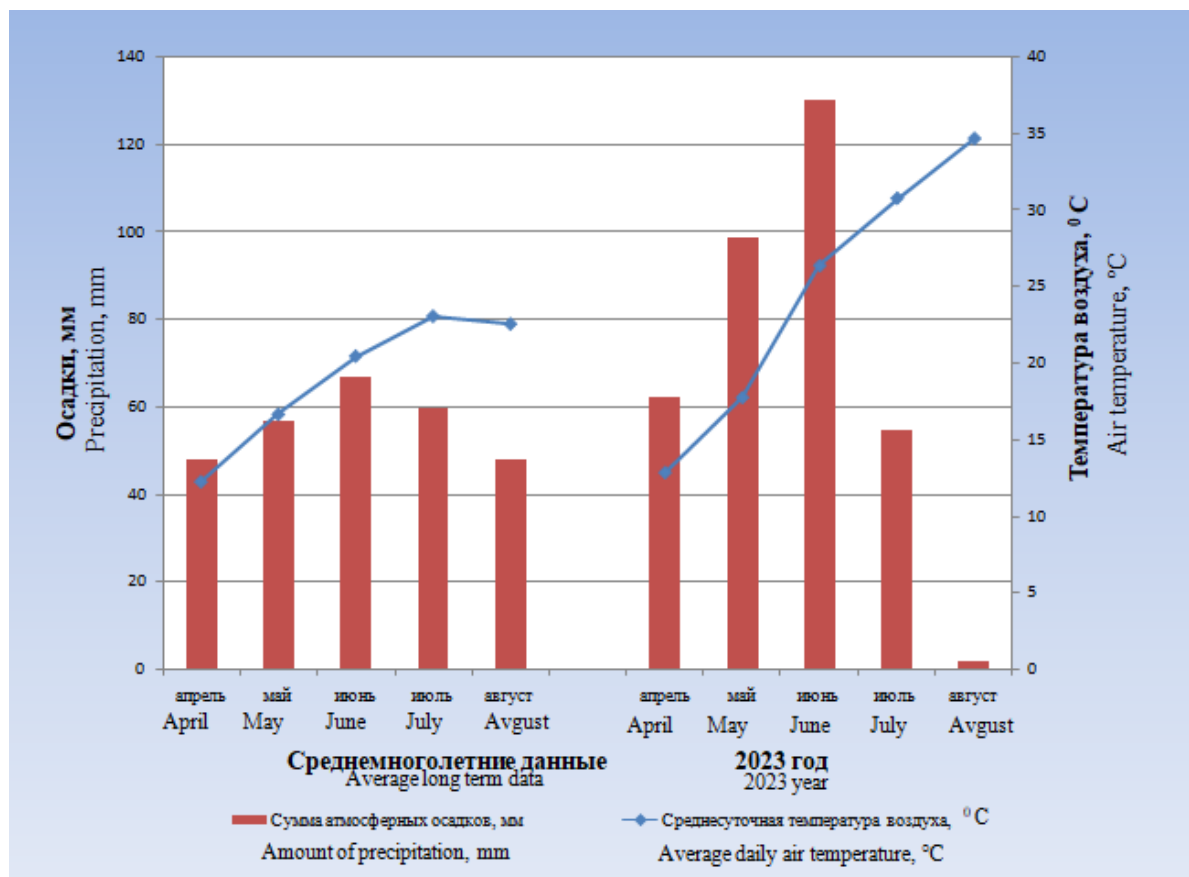


Рисунок 1. Погодные условия проведения полевого эксперимента, 2023 г.

Figure 1. Weather conditions for the field experiment in 2023

Статистическую обработку опытных данных осуществляли методом дисперсионного анализа с нахождением НСР₀₅ (Microsoft Office Excel).

Расчет показателя экологической нагрузки гербицидов проводили по формуле [15]:

$$ЭН = \frac{D \cdot T_{50}}{ЛД_{50}}$$

где T_{50} – период полураспада пестицида в почве, недель; D – суммарная за сезон доза действующего вещества, мг/га; $ЛД_{50}$ – среднетоксическая норма пестицида, мг/кг.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты полевого эксперимента показали, что используемые в эксперименте довсходовые препараты на посевах подсолнечника, в той или иной степени, эффективно подавляли присутствующие в опыте сорные растения, среди которых более высокий эффект показал препарат Акрис, СЭ, менее – Бегин Турбо, КС.

Так, использование препарата Акрис, СЭ в норме применения 2,0 л/га до всходов культуры обеспечило 85,3...88,9 % снижения общей численности сорняков в течение периода вегетации по отношению варианта без использования гербицидов (контроль). При этом подавление сырой надземной массы сорных растений через 30 и 45 дней после внесения препарата составляло 94,6...96,3 % и 82,7...85,1 %, соответственно. При использовании 1,5 л/га препарата БегинТурбо, КС эти показатели составляли: 75,8...80,3 %; 85,8...88,4 % и 73,5...76,2 %. Остальные испытываемые препараты по эффективности занимали промежуточные положения. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что все в опыте гербициды высокоэффективно подавляли щетинник сизый, ежовник обыкновенный и щирицу запрокинутую, менее – марь белую и амброзию полыннолистную.

В ходе визуальных наблюдений за состоянием растений подсолнечника на опытных делянках с внесением гербицидов в сравнении с контролем выявлено, что признаков их отрицательного действия на культуру с момента всходов и до уборки урожая не отмечалось.

Таблица 1. Действие гербицидов на общую засоренность посевов подсолнечника
Table 1. The effect of herbicides on the overall weediness of sunflower crops

Варианты опыта Experimental options	Номер учета Account number	Численность сорных растений Number of weeds		Сырая масса сорных растений Raw mass of weeds			
		экз./м ² copies/ m ²	снижение, % к контролю decline, % to control	г/м ² g/m ²		снижение, % к контролю decline, % to control	
				злаковые cereals	двудольные bipartite	злаковые cereals	двудольные bipartite
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	1	14,6	84,8	18	80	92,5	80,8
	2	15,3	83,1	34	133	90,3	78,1
	3	16,6	80,8	-	-	-	-
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га / Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	1	12,6	86,9	13	72	94,6	82,7
	2	13,3	85,3	26	120	92,6	80,2
	3	14,6	83,1	-	-	-	-
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	1	15,6	83,8	21	84	91,3	79,8
	2	16,3	82,0	38	138	89,2	77,3
	3	17,6	79,6	-	-	-	-
Гезадар, КС – 2,0 л/га Gezadar, SC – 2,0 l/ha	1	17,9	81,4	25	94	89,6	77,4
	2	18,6	79,5	46	155	86,9	74,5
	3	19,9	77,0	-	-	-	-
Бегин Турбо, КС – 1,5 л/га BeginTurbo, SC – 1,5 l/ha	1	18,9	80,3	28	99	88,4	76,2
	2	19,6	78,4	50	161	85,8	73,5
	3	20,9	75,8	-	-	-	-
Акрис, СЭ – 2,0 л/га Acris, SE – 2,0 l/ha	1	10,7	88,9	9	62	96,3	85,1
	2	11,4	87,4	19	105	94,6	82,7
	3	12,7	85,3	-	-	-	-
Версия, МД – 3,0 л/га Versia, OD – 3,0 l/ha	1	13,8	85,6	16	77	93,4	81,5
	2	14,5	84,0	32	126	90,9	79,2
	3	15,8	81,7	-	-	-	-
Камелот, СЭ – 3,0 л/га Camelot, SE – 3,0 l/ha	1	11,8	87,7	11	67	95,4	83,9
	2	12,5	86,2	24	112	93,2	81,5
	3	14,0	83,8	-	-	-	-
Без гербицидов (контроль) Herbicide-free (control)	1	96,1	-	241	416	-	-
	2	90,6	-	352	607	-	-
	3	86,4	-	-	-	-	-

Результаты хозяйственной эффективности гербицидов приведены в таблице 3. Средняя урожайность на контрольном варианте составила 1,73 т/га. Величина сохраненного урожая семян подсолнечника от использования гербицидов составила 149,1...155,5 % к контролю. При этом достоверных различий между вариантами опыта с применением гербицидов не наблюдалось.

Расчеты экологической нагрузки гербицидов приведены в таблице 4, из которой следует, что однокомпонентные препараты: Фронтьер Оптима, КЭ; Дуал Голд КЭ; Пропонит, КЭ и Гезадар, КЭ обладают значительно меньшей нагрузкой в сравнении с двухкомпонентными гербицидами: Бегин Турбо, КС; Акрис, СЭ; Версия, МД и Камелот, СЭ.

Таблица 2. Действие гербицидов на виды сорных растений в посевах подсолнечника**Table 2.** Effect of herbicides on weed species in sunflower crops

Варианты опыта Experimental variants	Номер учета Account number	Снижение численности сорных растений, % к контролю Reducing the number of weeds, % to control				
		<i>Echinochloa crusgalli</i>	<i>Setaria pumila</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	1	91,4	89,6	87,4	82,4	66,2
	2	90,0	88,4	85,8	80,8	64,5
	3	87,5	86,1	83,9	78,7	62,6
ДуалГолд, КЭ – 1,6 л/га Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	1	93,6	92,9	89,2	84,8	68,1
	2	92,4	90,7	87,8	83,3	66,4
	3	90,1	88,5	86,0	81,2	64,5
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	1	90,7	88,1	86,5	81,6	65,0
	2	89,2	86,7	84,9	80,0	63,3
	3	86,7	84,2	82,8	78,1	62,2
Гезадар, КС – 2,0 л/га Gezadar, SC – 2,0 l/ha	1	88,4	86,5	83,4	79,2	62,5
	2	86,8	85,0	81,5	77,5	60,8
	3	84,2	82,4	79,3	75,4	58,7
Бегин Турбо, КС – 1,5 л/га Begin Turbo, SC – 1,5 l/ha	1	87,3	85,4	82,5	78,4	61,2
	2	85,6	83,8	80,5	76,7	59,5
	3	82,8	81,2	78,2	74,6	57,4
Акрис, СЭ – 2,0 л/га Acris, SE – 2,0 l/ha	1	95,1	93,5	91,5	86,4	71,2
	2	94,0	92,5	90,2	85,0	69,6
	3	91,8	90,3	88,6	83,1	67,7
Версия, МД – 3,0 л/га Versia, OD – 3,0 l/ha	1	92,2	90,2	88,3	83,2	67,5
	2	90,8	89,0	86,8	81,7	65,8
	3	88,4	86,7	85,0	79,7	63,9
Камелот, СЭ – 3,0 л/га Camelot, SE – 3,0 l/ha	1	94,4	92,4	90,6	85,6	69,4
	2	92,8	91,2	89,3	84,2	67,7
	3	89,7	89,1	87,6	82,2	65,8
Без гербицидов (контроль)* Herbicide-free (control)*	1	26,8	18,5	22,3	12,5	16,0
	2	25,0	17,3	20,5	12,0	15,8
	3	23,3	16,5	19,3	11,8	15,5

Примечание: * представлены данные о численности сорняков, экз./м²Note: * data presented on the number of weeds, ind./m²**Таблица 3.** Урожайность подсолнечника гибрида Арис при применении гербицидов**Table 3.** Aris hybrid sunflower hybrid yield when using herbicides

Варианты опыта Experimental variants	Средняя урожайность Average yield	
	т/га / c/ha	% к контролю / % to control
до всходов / before germination		
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га / Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	2,64	152,6
Дуал Голд, КЭ – 1,6 л/га / Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	2,67	154,3
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га / Proponite, CE – 3,0 l/ha	2,63	152,0
Гезадар, КС – 2,0 л/га / Gezadar, SC – 2,0 l/ha	2,60	150,3
Бегин Турбо, КС – 1,5 л/га / Begin Turbo, SC – 1,5 l/ha	2,58	149,1
Акрис, СЭ – 2,0 л/га / Acris, SE – 2,0 l/ha	2,69	155,5
Версия, МД – 3,0 л/га / Versia, OD – 3,0 l/ha	2,65	153,2
Камелот, СЭ – 3,0 л/га / Camelot, SE – 3,0 l/ha	2,68	154,9
Без гербицидов (контроль) / Herbicide-free (control)	1,73	100
HCP ₀₅ / NSR ₀₅		0,11

Таблица 4. Сравнительная оценка экологической нагрузки применения довсходовых гербицидов на посевах подсолнечника**Table 4.** Comparative assessment of the environmental impact of the use of pre-emergence herbicides on sunflower crops

Название препарата Preparation	ЛД ₅₀ , мг/кг LD ₅₀ , mg/kg	Период полураспада, недели Half-life, weeks	ЭН, мг/га ELmg/ha
Фронтьер Оптима, КЭ – 1,2 л/га Frontiere Optima, CE – 1,2 l/ha	1570	1,0	367
ДуалГолд, КЭ – 1,6 л/га Dual Gold, CE – 1,6 l/ha	4300	3,0	870
Пропонит, КЭ – 3,0 л/га Proponite, CE – 3,0 l/ha	2761	1,7	887
Гезадар, КС – 2,0 л/га Gezadar, SC – 2,0 l/ha	5000	7,1	1420
Бегин Турбо, КС – 1,5 л/га Begin Turbo, SC – 1,5 l/ha	2080+4300	11,0/3,0	1983+262
Акрис, СЭ – 2,0 л/га Acris, SE – 2,0 l/ha	1570+2080	1,0/11,0	357+2644
Версия, МД – 3,0 л/га Versia, OD – 3,0 l/ha	2761+2080	1,7/11,0	683+2935
Камелот, СЭ – 3,0 л/га Camelot, SE – 3,0 l/ha	4300+2080	3,0/11,0	654+2975

ВЫВОДЫ

Биологическая эффективность применения гербицидов: Фронтьер Оптима, КЭ (1,2 л/га); Дуал Голд КЭ (1,6 л/га); Пропонит, КЭ (3,0 л/га), Гезадар, КЭ (2,0 л/га), Бегин Турбо, КС (1,5 л/га); Акрис, СЭ (2,0 л/га); Версия, МД (3,0 л/га) и Камелот, СЭ (3,0 л/га) до всходов подсолнечника находилась в пределах 75...96 %. При этом отрицательного действия на растениях культуры не наблюдалось, статистически достоверная величина сохраненного урожая составила 149,1...155,5 % по отношению к контролю.

Однокомпонентные гербициды (Фронтьер Оптима, КЭ; Дуал Голд КЭ; Пропонит, КЭ и Гезадар, КЭ) характеризуются более низким показателем экологической нагрузки в сравнении с двухкомпонентными (Бегин Турбо, КС; Акрис, СЭ; Версия, МД и Камелот, СЭ).

При подборе гербицидов для применения на посевах подсолнечника необходимо учитывать не только их биологическую и хозяйственную эффективность, но и показатель экологической нагрузки.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2025-0004.

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research on topic No FGRN-2025-0004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и Республике Адыгея. 2024. URL: <https://23.rosstat.gov.ru/folder/41392/document/213842> (дата обращения: 21.01.2024)
2. Colbach N., Gardarin A., Moreau D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production? // *Field Crops Research*. 2019. V. 238. P. 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.008>
3. Tataridas A., Kanatas P., Chatzigeorgiou A., et al. Sustainable crop and weed management in the era of the EU

Green Deal: A survival guide // *Agronomy*. 2022. N 3. Article id: 589. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/589> (дата обращения: 12.01.2024)

4. Soares M.M. et al. Effects of competition and water deficiency on sunflower and weed growth // *Revista Caatinga*. 2019. V. 32. P. 318–328. URL: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/cySPS3HVS3wbpvZMbZYwrs/?lang=en> (дата обращения: 12.01.2024)

5. Sharma A., Jha P., Reddy G.V.P. Multidimensional relationships of herbicides with insect-crop food webs // *Science of the total environment*. 2018. V. 643. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971832388X> (дата обращения: 12.01.2024)

6. Monteiro A., Santos S. Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management // *Agronomy*. 2022. N 1. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/118> (дата обращения: 12.01.2024)

7. Stefanic E. et al. The Critical Period of Weed Control Influences Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Yield, Yield Components but Not Oil Content // *Agronomy*. 2023. V. 13. N 8. Article id: 2008. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/8/2008> (дата обращения: 12.01.2024)

8. dos Santos E.G. et al. Influence of Chemical Control on the Floristic Composition of Weeds in the Initial and Pre-Harvest Development Stages of the Sunflower Crop // *Agrochemicals*. 2023. V. 2. P. 193–202. URL: <https://www.mdpi.com/2813-3145/2/2/14> (дата обращения: 12.01.2024)

9. Dayan F.E. Current status and future prospects in herbicide discovery // *Plants*. 2019. V. 8. N 9. Article id: 341. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/9/341> (дата обращения: 12.01.2024)

10. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2024. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/e5e/46cy57dcyugkrjwrg0t09e6ojrwm0ix4.zip> (дата обращения: 12.01.2024)

11. Tudi M. et al. Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment // *International journal of environmental research and public health*. 2021. V. 18. N 3. Article id: 1112. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7908628/> (дата обращения: 12.01.2024)

12. Meena R.S., Kumar S., Datta R., et al. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review // *Land*. 2020. N 2. Article id: 34. URL: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34> (дата обращения: 12.01.2024)
13. Савва А.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Агроэкологическая оценка применения гербицидов на посевах сои в центральной зоне Краснодарского края // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. N 3 (68). С. 170–178. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-170-178>
14. Голубев А.С., Маханькова Т.А. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. ФГБНУ ВИЗР, Санкт-Петербург, 2020. 80 с.
15. Соколов М.С., Монастырский О.А., Пикушова Э.А. Экологизация защиты растений. Пузино. 1994. 462 с.

REFERENCES

- Department of the Federal State Statistics Service for Krasnodar Krai and the Republic of Adygea. Available at: <https://23.rosstat.gov.ru/folder/41392/document/213842> (accessed 12.01.2024)
- Colbach N., Gardarin A., Moreau D. The response of weed and crop species to shading: Which parameters explain weed impacts on crop production. *Field Crops Research*, 2019, vol. 238, pp. 45–55. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.008> (accessed 12.01.2024)
- Tataridas A., Kanatas P., Chatzigeorgiou A., et al. Sustainable crop and weed management in the era of the EU Green Deal: A survival guide // *Agronomy*. 2022. N 3. Article id: 589. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/589> (accessed 12.01.2024)
- Soares M.M. et al. [Effects of competition and water deficiency on sunflower and weed growth]. *Revista Caatinga*, 2019, vol. 32, pp. 318–328. Available at: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/cySPS3HVS3wbpvZMbZywr/s/?lang=en> (accessed 12.01.2024)
- Sharma A., Jha P., Reddy G.V.P. [Multidimensional relationships of herbicides with insect-crop food webs]. *Science of the total environment*, 2018, vol. 643. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971832388X> (accessed 12.01.2024)
- Monteiro A., Santos S. [Sustainable Approach to Weed Management: The Role of Precision Weed Management]. *Agronomy*, 2022, no. 1. Available at:

- <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/1/118> (accessed 12.01.2024)
7. Stefanic E. et al. [The Critical Period of Weed Control Influences Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Yield, Yield Components but Not Oil Content]. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 8, article id: 2008. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/8/2008> (accessed 12.01.2024)
8. dos Santos E.G. et al. [Influence of Chemical Control on the Floristic Composition of Weeds in the Initial and Pre-Harvest Development Stages of the Sunflower Crop]. *Agrochemicals*, 2023, vol. 2, pp. 193–202. Available at: <https://www.mdpi.com/2813-3145/2/2/14> (accessed 12.01.2024)
9. Dayan F.E. [Current status and future prospects in herbicide discovery]. *Plants*, 2019, vol. 8, no. 9, article id: 341. Available at: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/9/341> (accessed 12.01.2024)
10. State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. 2024. Available at: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/e5e/46cy57dcyugkrjwrg0t09e6ojrwm0ix4.zip> (accessed 12.01.2024)
11. Meriem H., Rafika L. [Effectiveness of herbicides on the weed flora of winter cereals in the region of sétifian high plains, algeria]. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 2021, no. 2, pp. 63–72. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7908628/> (accessed 12.01.2024)
12. Meena R.S., Kumar S., Datta R., et al. [Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review]. *Land*, 2020, no. 2, pp. 34. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/2/34> (accessed 12.01.2024)
13. Savva A.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A. Agroecological assessment of the use of herbicides on soybean crops in the central zone of the Krasnodar Territory. *South of Russia: ecology, development*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 170–178. (In Russian) <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-170-178>
14. Golubev A.S., Makhankova T.A. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu registratsionnykh ispytaniy gerbitsidov* [Guidelines for conducting registration tests of herbicides]. St. Petersburg, FSBSI VIZR, 2020, 80 p. (In Russian)
15. Sokolov M.S., Monastyrsky O.A., Pikushova E.A. *Ehkologizatsiya zashchity rastenii* [Ecologization of plant protection]. Pushchino, 1994, 462 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Анатолий П. Савва и Валерия А. Суворова осуществляли закладку полевого опыта, проводили учеты сорной растительности и уборку урожая. Валерия А. Суворова обобщала полученные в опыте результаты. Анатолий П. Савва выполнил анализ и написал рукопись. Оба автора в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anatoliy P. Savva and Valeria A. Suvorova carried out the laying of the field experiment, carried out weed counts and harvested. Valeria A. Suvorova summarised the results obtained in the experiment. Anatoliy P. Savva carried out analysis and wrote the manuscript. Both 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

Валерия А. Суворова / Valeria A. Suvorova <https://orcid.org/0000-0003-1082-3652>
Анатолий П. Савва / Anatoliy P. Savva <https://orcid.org/0000-0002-9457-2223>

Оригинальная статья / Original article

УДК: 338:574

DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-17



Экономика замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами: основные факторы и критерии оценки эффективности

Рашида И. Яббарова

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

Контактное лицо

Рашида И. Яббарова, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации; 119606 Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 84, 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 твердыми коммунальными отходами: основные факторы и критерии оценки эффективности // Юг России: экология, развитие. 2025. Т.20, N 1. С. 195-203. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-17

Получена 14 декабря 2024 г.

Прошла рецензирование 10 января 2025 г.

Принята 15 января 2025 г.

Резюме

Линейная модель экономического развития исчерпала себя, дальнейший экономический рост, без нанесения вреда окружающей среде, возможен только после перехода к модели экономики замкнутого цикла. Отрасль обращения с отходами является наиболее перспективной и обладающей ресурсным потенциалом для внедрения принципов циркулярной экономики. В статье рассмотрены результаты проведенного анализа долгосрочного влияния факторов внешнего окружения на формирование и функционирование циркулярной экономики в сфере обращения с отходами, и предложены критерии оценки эффективности внедрения модели экономики замкнутого цикла.

Ключевые слова

Экономика замкнутого цикла, циркулярная экономика, региональная экономика, отраслевая экономика, точки роста, сфера обращения с отходами, твердые коммунальные отходы.

Closed-cycle economics in the field of municipal solid waste management: main factors and criteria for evaluating efficiency

Rashida I. Yabbarova

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

Principal contact

Rashida I. Yabbarova, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation; 84 bld. 1 Prospekt Vernadskogo, Moscow, Russia 119606. Tel. +79855330010

Email yabbarova.94@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0009-0005-4854-4079>

How to cite this article

Yabbarova R.I. Closed-cycle economics in the field of municipal solid waste management: main factors and criteria for evaluating efficiency. *South of Russia: ecology, development*. 2025; 20(1):195-203. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2025-1-17

Received 14 December 2024

Revised 10 January 2025

Accepted 15 January 2025

Abstract

The linear model of economic development has exhausted itself and further economic growth, without harming the environment, is possible only after transition to a closed-loop economy model. The waste management industry is the most promising and has the resource potential to implement the principles of a circular economy. This article examines the results of the analysis of the long-term impact of environmental factors on the formation and functioning of a circular economy in the field of waste management, and suggests criteria for evaluating the effectiveness of implementing a closed-loop economy model

Key Words

Closed-loop economy, circular economy, regional economy, sectoral economy, growth points, waste management, solid municipal waste.

ВВЕДЕНИЕ

Доминирующая долгие годы линейная экономическая модель «бери-производи-выбрасывай» является основной причиной загрязнения окружающей среды отходами от развития хозяйственной деятельности. По оценкам ООН, экономическая активность в мире за последние 70 лет увеличилась в 13 раз. Основным источником роста линейной модели является добыча природных ресурсов, которая за 50 лет увеличилась в три раза [1]. Долгое время экономическое развитие ориентировалось на использовании исчерпаемых природных ресурсов, восстановление объемов которых невозможно возобновить. Дальнейший экономический рост, нацеленный на максимальное потребление природных ресурсов, ставит под угрозу исчезновения биологического разнообразия, истощение запасов полезных ископаемых, а также к еще большему загрязнению окружающей среды.

В этой связи все большее количество стран разрабатывает стратегии по переходу к модели экономики замкнутого цикла (циркулярной экономике), основанной на сокращении добычи природных ресурсов, минимизации отходов и увеличении жизненного цикла произведенной продукции. Для обеспечения эффективного перехода к циркулярной экономике создаются кардинально новые бизнес-модели, основанные на замкнутых циклах и восстановлении окружающей среды.

Экологичная экономика замкнутого цикла повышает конкурентоспособность национальных экономик, снижая ее зависимость от природных ресурсов, повышает производительность ресурсов и увеличивает добавленную стоимость произведенной продукции.

Проблемы трансформации экономических отношений на основе принципов экономики замкнутого цикла исследуются в работах российских и зарубежных авторов. Например, в работе С.П. Анисимова проанализированы актуальные вопросы перехода России к «зеленой» экономике в разрезе различных отраслей [2]. Индикаторы циркулярной экономики, применимые для России, представлены в работе С.Н. Бобылева и С.В. Соловьевой [3]. Основные бизнес-модели циркулярной экономики рассмотрены в работе З.Я. Даутовой [4]. Особенности подходов к формированию циркулярной экономики в России рассмотрены также работах Е.Ю. Дорохиной [5], Л.Е. Задорожной [6] и Н.В. Пахомовой [7]. Широкий анализ определений циркулярной экономики проанализированы в работе Дж. Кирххерра [8]. Среди работ зарубежных авторов по исследованию экономики замкнутого цикла следует также отметить работы С. Сове, С. Бернарда [9], У. Штахеля [10].

В России, как и во многих зарубежных странах, формирование модели экономики замкнутого цикла началось с отрасли обращения с отходами [11]. Основной причиной выбора данной отрасли в качестве пилотной является стремительный рост объемов накопленных отходов, а также высокие темпы их образования.

Вместе с тем, помимо стремления государства снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, существуют и экономические причины внедрения принципов циркулярной экономики в сфере обращения с отходами: большой неиспользованный потенциал извлечения из отходов полезных фракций, их дальнейшая переработка, и использование вторичных ресурсов

(сырья) при производстве новой продукции. Что в долгосрочной перспективе может существенно снизить потребность в первичных материалах (природных ресурсах). Также формирование модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с отходами открывает широкие возможности для создания новых рабочих мест на всех уровнях квалификации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное исследование, посвященное оценке долгосрочного влияния факторов на формирование модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), и определению на их основе критериев эффективности внедрения принципов циркулярной экономики, потребовало комплексного применения разнообразных научных методов познания. В работе были использованы методы группировки, сравнения, анализа, обобщения и систематизации, позволяющие проанализировать данные и выделить на их основе основные тренды развития отрасли.

В основе работы лежит метод PESTEL-анализа – стратегического инструмента, позволяющего проанализировать аспекты внешней среды, и степень их влияния на внедрение принципов циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО в субъектах Российской Федерации.

В рамках анализа было опрошено 15 экспертов на различных уровнях, занятых формированием экономики замкнутого цикла в России, в число которых входят представители:

- законодательной и исполнительной власти (Комитет Государственной Думы по экологии, природным ресурсам и охране окружающей среды; Минприроды России, Росводресурсы);
- научных организаций (Российская академия наук; Московский государственный университет; Дагестанский государственный университет);
- региональных органов власти (Правительство Челябинской области; Минэкологии Челябинской области; Минприроды Республики Бурятия);
- иных государственных организаций (Федеральный экологический оператор Росатома; Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов);
- бизнес сообществ (ГК «ЭкоВоз», ООО «ЭкоЛайн»).

Методами качественного анализа было проведена экспертная оценка степени влияния каждого фактора на формирование и функционирование циркулярной экономики. Каждый фактор оценивался по пятибалльной шкале – от меньшей степени влияния (1) к наибольшей степени влияния (5).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность формирования модели циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО во многом зависит не только от внутренних механизмов управления, но и от взаимодействия с внешними факторами, которые могут, как стимулировать внедрение принципов экономики замкнутого цикла, так и выступать в роли барьеров, препятствуя развитию отрасли в целом.

Расширенный PESTEL-анализ проводился по шести основным факторам:

- Р – политические факторы;
- Е – экономические факторы;

S – социальные факторы;
 T – технологические факторы;
 E – экологические факторы;
 L – законодательные факторы.

1. Основными *политическими факторами*, влияющими на формирование модели экономики

замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО, по мнению респондентов, являются текущая инвестиционная привлекательность отрасли обращения с отходами, фискальная политика, внимание и контроль глав регионов к формированию модели экономики замкнутого цикла (табл. 1).

Таблица 1. Политические факторы, влияющие на формирование экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 1. Political factors influencing the formation of a closed-cycle economy in the field of municipal solid waste management

Название фактора Name of factor	Степень влияния Degree of influence				
	1	2	3	4	5
Зарубежные санкции / Foreign sanctions	1	5	7	1	1
Фискальная политика / Fiscal policy	0	2	2	4	7
Текущая инвестиционная привлекательность отрасли обращения с отходами Current investment attractiveness of the waste management industry	1	0	5	8	1
Внимание и контроль глав регионов к формированию модели экономики замкнутого цикла Attention and control of the heads of regions to the formation of a closed-loop economy model	0	0	2	6	7
Политика импортозамещения / Import substitution policy	2	5	2	5	1

К факторам, оказывающим наименьшее влияние на формирование циркулярной экономики в российском секторе обращения с отходами, относятся зарубежные санкции и политика импортозамещения (низкая зависимость отрасли от зарубежного оборудования).

2. *Экономическими факторами*, имеющими наибольшую степень влияния на формирование модели циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО, являются: рост уровня ключевой ставки Банка России, высокая конечная стоимость, произведенной с использованием вторичных ресурсов и доступность природных (первичных) ресурсов (табл. 2).

Данные факторы оказывают сдерживающее влияние на развитие экономики замкнутого цикла в

сфере обращения с отходами. Здесь стоит отметить важность первичной сортировки отходов домохозяйствами. Нарушение этого принципа делает отходы «грязными» и препятствует их переработке с использованием технологий, без использования человеческих ресурсов. Использование ручного труда влияет на формирование конечной стоимости продукции. Высокая конечная стоимость продукции из вторсырья также сигнализирует о недостаточной развитости технологий по переработке отходов. А рост уровня ключевой ставки ограничивает привлечение финансирования в отрасль. На фоне всего этого доступность природных ресурсов делает неконкурентоспособным вторичные материалы.

Таблица 2. Экономические факторы, влияющие на формирование экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 2. Economic factors influencing the formation of a closed-cycle economy in the field of municipal solid waste management

Название фактора Name of factor	Степень влияния Degree of influence				
	1	2	3	4	5
Рост уровня ключевой ставки Банка России Growth of the Bank of Russia's key rate level	0	0	4	4	7
Уровень инфляции Rate of inflation	1	2	5	4	3
Рост курсов иностранных валют Growth of foreign exchange rates	2	6	4	0	3
Высокая конечная стоимость продукции, произведенной с использованием вторичных ресурсов High final cost of products produced using secondary resources	0	2	1	5	7
Доступность природных (первичных) ресурсов Availability of natural (primary) resources	0	2	4	6	3
Шеринговая экономика (развитие культуры совместного пользования) Sharing economy (development of a culture of sharing)	5	5	2	2	1
Механизм регулирования ставок экологического сбора Mechanism for regulating environmental collection rates	0	3	7	1	4

Наименьшее влияние на формирование циркулярной экономики в рассматриваемом секторе, по мнению респондентов, оказывает уровень инфляции, изменение курса иностранных валют, развитие шеринговой

экономики и механизм регулирования ставок экологического сбора.

3. Наиболее значимым *социальным фактором* (табл. 3) при формировании и функцио-

нировании модели экономики замкнутого цикла в долгосрочной перспективе является потребительская модель поведения (11 из 15 респондентов оценили этот фактор в 5 баллов по степени влияния).

Потребительская модель поведения населения оказывает негативное влияние на формирование экономики циркулярной экономики в случае, если

потребители ориентируются на краткосрочные выгоды и увеличивают количество потребления одноразовых товаров, что в совокупности ведет к росту производства и объемов образующихся отходов. В результате неэффективно используются ресурсы, и нарушается основной принцип циркулярной экономики.

Таблица 3. Социальные факторы, влияющие на формирование экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 3. Social factors influencing the formation of a closed-cycle economy in the field of municipal solid waste management

Название фактора Name of factor	Степень влияния Degree of influence				
	1	2	3	4	5
Потребительская модель поведения населения Consumer behavior model of the population	0	2	1	1	11
Уровень развития экологической культуры и экологического просвещения населения Level of development of ecological culture and environmental education of the population	0	3	1	3	8
Образовательные программы по обучению населения разделному сбору отходов Educational programmes to train the population in separate waste collection	1	3	2	5	4
Образовательные программы по подготовке и переподготовке кадров Educational programmes for training and retraining of personnel	1	2	6	4	2
Низкий имидж специалистов, занятых в сфере обращения с отходами Low image of specialists working in the field of waste management	2	3	6	2	2
Негативное восприятие населением строительства мусоросжигательных заводов Negative public perception of the construction of incinerators	1	0	4	5	5

Отсутствие достаточной информации о преимуществах товаров, произведенных с использованием вторичных материалов, в вопросах сохранения окружающей среды, воздействия на здоровье человека и развития экономики затрудняет переход к замкнутым циклам.

Изменение потребительской модели поведения населения в пользу экологичных товаров позволяет создать устойчивые цепочки поставок и в целом оказывает положительное влияние на функционирование экономики замкнутого цикла в долгосрочной перспективе.

На втором месте по значимости социальных факторов является уровень развития экологической культуры и экологического просвещения населения. Низкая осведомленность общества о влиянии их поведения на загрязнение окружающей среды и формирование экономики замкнутого цикла препятствует развитию правильных экологических привычек у населения.

Также к социальным факторам, оказывающим влияние, но в наименьшей степени, на формирование

экономики замкнутого цикла в сфере обращения с отходами в регионах России, относятся: образовательные программы по обучению населения разделному сбору отходов и по подготовке/переподготовке кадров, низкий имидж специалистов, занятых в сфере обращения с отходами и негативное восприятие населением строительства мусоросжигательных заводов.

4. Ключевое значение в формировании модели циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО оказывают *технологические факторы* (табл. 4), о чем свидетельствуют высокие оценки со стороны экспертов: инфраструктура в области обращения с отходами (13 из 15 баллов), инфраструктура по сбору отходов (10 баллов), дефицит производственных мощностей в сфере обращения с отходами (9 баллов).

К факторам, оказывающим наименьшее влияние, относятся: инвестиции в «зеленые» технологии, степень адаптивности отрасли к технологическому прогрессу и развитие интернет-технологий, таких как площадки/платформы, аккумулирующие информацию о вторичных ресурсах.

Таблица 4. Технологические факторы, влияющие на формирование экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 4. Technological factors influencing the formation of a closed-cycle economy in the field of municipal solid waste management

Название фактора Name of factor	Степень влияния Degree of influence				
	1	2	3	4	5
Дефицит производственных мощностей в сфере обращения с отходами Shortage of production capacities in the field of waste management	0	1	1	4	9
Инфраструктура в области обращения с отходами Waste management infrastructure	0	1	1	0	13
Инвестиции в «зеленые» технологии Investing in green technologies	0	1	4	4	6
Инфраструктура по сбору отходов (контейнеры, фандоматы) Waste collection infrastructure (containers, fandomats)	0	1	1	3	10

Степень адаптивности отрасли к технологическому прогрессу Degree of adaptability of the industry to technological progress	1	2	6	3	3
Интернет-технологии (создание платформ/ площадок, аккумулирующие информацию о вторичных ресурсах) Internet technologies (creation of platforms/ sites that accumulate information about secondary resources)	2	5	4	1	3

По мнению автора данного исследования, роль инвестиций в «зеленые» технологии в функционировании модели экономики замкнутого цикла недооценена экспертами. Помимо того, что развитие «зеленых» технологий повышает уровень переработки материалов, они также помогают минимизировать количество изначально образованных отходов. Что оказывает значимое влияние на формирование циркулярной экономики в долгосрочной перспективе. Также, по мнению автора, важное значение играет создание и развитие платформы вторичных ресурсов, на которых производители размещают информацию о

количестве, видах и стоимости вторичных материалов, а потребители вторичных материалов могут найти необходимый ресурс. Благодаря развитию интернет-технологий обеспечивается бесперебойная цепочка производства и использования вторичных ресурсов.

5. Следующей анализируемой группой факторов являются *экологические факторы* (табл. 5), среди которых наиболее весомое значение имеют темпы образования ТКО и изменение состава образованных отходов (увеличение доли пластика, опасных и электронных отходов в общей массе образованных отходов).

Таблица 5. Экологические факторы, влияющие на формирование экономики замкнутого цикла в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами

Table 5. Environmental factors influencing the formation of a closed-cycle economy in the field of municipal solid waste management

Название фактора Name of factor	Степень влияния Degree of influence				
	1	2	3	4	5
Темпы образования отходов Rates of waste generation	0	0	2	0	13
Изменение состава образованных отходов (увеличение доли пластика, опасных и электронных отходов в общей массе образованных отходов) Changes in the composition of generated waste (an increase in the proportion of plastic, hazardous and electronic waste in the total mass of generated waste)	0	0	1	2	12
Загрязнение окружающей среды (рост несанкционированных свалок) Environmental pollution (the growth of unauthorized landfills)	0	2	6	5	2
Использование альтернативных источников энергии Use of alternative energy sources	3	4	5	3	0
Развитие экологичного дизайна при производстве товаров Development of eco-friendly design in the production of goods	4	5	5	0	1
Расходы хозяйствующих субъектов, занятых в сфере обращения с отходами, на поддержание минимального уровня выбросов в окружающую среду Expenses of economic entities engaged in the field of waste management to maintain a minimum level of emissions into the environment	2	4	3	5	1

Именно изменение модели потребительского поведения, отмеченной в социальных факторах, стала следствием увеличения доли синтетических отходов в общей структуре ТКО (доля биологических отходов, способных к разложению, соответственно снижается). За последние 70 лет производство пластмасс выросло с 1,5 млн тонн в год до 400 млн тонн в 2023 году. По негативным оценкам экспертов, данная тенденция приведет к тому, что «к 2050 году в море будет больше пластика, чем рыбы» [12].

6. Замыкающей группой анализируемых факторов являются законодательные факторы, оказывающие значительное влияние на формирование и развитие экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО в субъектах Российской Федерации. К таким факторам, по мнению экспертов, относятся федеральные законы в сфере обращения с отходами и региональные нормативно-правовые акты, регулирующие формирование экономики замкнутого цикла в субъекте.

Также положительное значение на формирование циркулярной экономики оказывает механизм расширенной ответственности производителей, при котором ответственность за утилизацию произведенной упаковки ложится на производителей, и мероприятия национального проекта «Экологическое благополучие» (с 2019 по 2024 годы национальный проект «Экология»).

Как видно из проведенного анализа, на процесс формирования модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО влияет множество факторов, оказывающие, как положительное, так и отрицательное воздействие.

К возможностям развития отрасли обращения с отходами относятся факторы, набравшие 5 баллов у большего количества респондентов и оказывающие положительное влияние на внедрение принципов циркулярной экономики. К ним относятся:

- федеральное законодательство в сфере обращения с отходами, позволяющее регулировать различные аспекты управления отходами, включая их

сбор, транспортировку, переработку, утилизацию и захоронение. Государству необходимо регулярно совершенствовать законодательную базу в сфере обращения с отходами, уделяя внимание, в том числе потребностям бизнеса, с целью построения экономически эффективной (рентабельной) и устойчивой системы управления с отходами. Также на законодательном уровне необходимо сформировать прозрачную и достоверную систему мониторинга за сферой обращения с отходами, позволяющую выявить слабые стороны и усовершенствовать законодательные и иные механизмы регулирования и стимулирования развития отрасли.

- инфраструктура по сбору отходов (мусорные контейнеры, фандоматы). В целях минимизации количества отходов, поступающих на несанкционированные свалки, и повышения собираемости отходов, необходимо создать сеть объектов по сбору отходов, исходя из принципов доступности и достаточности. Вместе с тем необходимо обеспечить своевременное извлечение отходов из этих объектов и их транспортировку до сортировочных пунктов. В создании разветвленной сети сбора отходов заинтересованы все участники: государство, бизнес, население.

- инфраструктура по обращению с отходами (сортировочные пункты, объекты по сортировке отходов их переработке, обезвреживанию, полигоны и др.). На начальном этапе формирования системы управления отходами необходимо создать объекты по обращению с отходами. Количество таких объектов должно соответствовать темпам и объемам образования отходов. Финансирование создания объектов инфраструктуры может осуществляться как за счет 100 % вложений со стороны бизнеса, так и на принципах государственно-частного партнерства.

Расширенный PESTEL-анализ позволил выделить две группы факторов (набравшие 5 баллов у более чем 8 экспертов), относящихся к основным угрозам, препятствующим формированию и развитию модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО в субъектах Российской Федерации.

К первой группе факторов относится дефицит производственных мощностей в сфере обращения с отходами. Именно из-за того, что в России отсутствует достаточное количество объектов по обращению с отходами наиболее доступным способом размещения отходов является их захоронение, что в корне противоречит принципам циркулярной экономики и негативно воздействует на окружающую среду в целом. В целях ликвидации дефицита производственных мощностей в сфере обращения с отходами государству необходимо создавать механизмы, стимулирующие привлечение частных инвестиций в отрасль.

К таким стимулирующим мерам можно отнести: предоставление налоговых каникул для хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность в сфере обращения с отходами; повышение конкурентоспособности и рентабельности продукции из вторсырья с помощью механизма зеленых государственных закупок; предоставление льготных кредитов для строительства производственных мощностей и развития НИОКР в сфере обращения с отходами.

Ко второй группе, наиболее емкой, относятся социальные и экологические факторы, оказывающее негативное воздействие не только на формирование

циркулярной экономики, но и на развитие всей системы управления с отходами. Основными угрозами являются: текущая поведенческая модель потребителей, высокие темпы образования отходов и изменение их структуры (состава). Без должного внимания со стороны государства данные факторы выступают основными барьерами на пути к формированию экономики замкнутого цикла.

Государству необходимо сформировать новые стимулы, способствующие заменить текущую культуру «быстрого потребления» культурой «долгосрочного потребления», развивая практику совместного пользования (шеринговая экономика), прививая интерес потребителей к устойчивым практикам и развивая их осведомленность в этой области.

Также важное значение, в долгосрочной перспективе, имеет развитие экологического дизайна при проектировании товаров, способствующего замене сложных конструкций на ремонтпригодные и легко утилизируемые элементы.

Определение критериев оценки эффективности циркулярной экономики.

Проведенный анализ влияния в долгосрочной перспективе ключевых факторов на формирование и функционирование модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО позволяет определить по каждой группе факторов основные критерии оценки эффективности, показатели которых могут варьироваться в зависимости от региональных особенностей и уровня развития системы обращения с отходами.

Для оценки эффективности внедрения модели циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО могут быть использованы следующие критерии:

1. Политические и законодательные показатели:

- Количество принятых нормативно-правовых актов субъектов Российской Федерации, регулирующих формирование и развитие экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО, шт.

2. Экономические показатели:

- Доля извлечения полезных фракций из ТКО, %.

- Доля ТКО, направленных на переработку от общего объема образованных отходов, %.

- Доля пищевых отходов, направленных на компостирование, %.

- Доля вторичных ресурсов и сырья, использованных при производстве в различных секторах экономики, %.

- Объем инвестиций, направленный на развитие системы управления ТКО, млрд. рублей.

- Количество новых рабочих мест, созданных в сфере обращения с отходами, тыс. шт.

- Количество хозяйствующих субъектов, занятых в сфере обращения с отходами, тыс. шт.

3. Социальные показатели:

- Объем образования ТКО на душу населения, кг в год.

4. Технологические показатели:

- Объем введенных в эксплуатацию производственных мощностей по сортировке отходов, тыс. шт.

- Объем введенных в эксплуатацию производственных мощностей по переработке отходов, тыс. шт.

- Объем введенных в эксплуатацию производственных мощностей по обезвреживанию отходов, тыс. шт.

5. Экологические показатели:

- Доля отходов, направленных на захоронение, %.
- Количество несанкционированных свалок, образованных в течение года, тыс. шт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО сопряжено с высоким ресурсным потенциалом данной отрасли. При этом существуют политические, экономические, социальные, технологические, экологические и законодательные факторы, влияющие на формирование и функционирование циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО как в краткосрочной перспективе, так и в долгосрочной перспективе.

Наибольшее негативное воздействие на формирование и развитие модели циркулярной экономики в сфере обращения с ТКО в субъектах Российской Федерации оказывают социальные, экологические факторы и технологические, такие как: потребительская модель поведения, при которой увеличивается количество использования одноразовых товаров, высокие темпы образования отходов и изменение их состава (преобладание синтетических отходов над биологическими), а также дефицит производственных мощностей в сфере обращения с отходами. К факторам, оказывающим наибольшее позитивное воздействие, относятся: создание достаточного количества объектов по сбору отходов и по обращению с ними, и развитие природоохранного законодательства, регулирующего сферу обращения с отходами.

Масштабное внедрение экологичной экономики замкнутого цикла зависит от синхронизированных действий, как со стороны государства, так и со стороны бизнеса. Необходимо трансформировать бизнес-модели, характерные для линейной экономики, разрабатывая и внедряя модели создания добавленной стоимости и замкнутых циклов. В экономике необходимо оставлять только материалы с наивысшей стоимостью, дизайн которых ориентирован на сохранение природы.

На этапе формирования модели экономики замкнутого цикла в сфере обращения с ТКО государство должно обеспечить необходимую поддержку бизнесу в рамках переходного процесса, создавая дополнительные стимулы для адаптации существующей инфраструктуры и создания новой, повышения квалификации рабочей силы и формируя устойчивый спрос на продукцию, произведенную с добавлением вторичных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программа ООН по окружающей среде и Международная группа по ресурсам (2019) // Глобальный обзор ресурсов 2019: природные ресурсы для будущего, которого мы хотим – резюме для политиков. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27518> (дата обращения: 12.12.2024)
2. Анисимов С.П., Бобылев С.Н., Комаров И.И. «Зеленая» экономика: перезагрузка: коллективная монография. Москва: Зимородок, 2017. 448 с.
3. Бобылев С.Н., Соловьева С.В. Циркулярная экономика и ее индикаторы для России // Мир новой

экономики. 2020. N 14 (2). С. 63–72.

<https://doi.org/10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72>

4. Даутова З.Я., Шагаева Т.К. Бизнес-модели циркулярной экономики // Вестник Иссук-Кульского университета. 2022. N 51. С. 136–144.
5. Дорохина Е.Ю., Кучер Д.Е., Харченко С.Г. Экономика замкнутых циклов: тенденции и перспективы: монография под ред. Е.Ю. Дорохиной. Москва: МАКС Пресс, 2023. 128 с.
6. Задорожная Л.Е., Ратнер С.В. Драйверы экономического роста в циркулярной экономике // Друковский вестник. 2020. N 1 (33). С. 21–34. <https://doi.org/10.17213/2312-6469-2020-1-21-34>
7. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветрова М.А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепочкам поставок как движущая сила устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 33. N 2. С. 244–268.
8. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (дата обращения: 15.12.2024)
9. Sauve S., Bernard S., Sloan P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.envdev.2015.09.002> (дата обращения: 15.12.2024)
10. Stahel W.R. The Circular Economy: A User's Guide. 2019. <https://doi.org/10.4324/9780429259203>
11. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 N 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Официальный сайт Кремля. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 20.12.2024)
12. В России выросло производство вторичного пластика // Официальный сайт информационного агентства Российская газета. URL: <https://rg.ru/2024/03/12/biznes-prinimaet-polimery.html?ysclid=m8bhhzv6m3545763760> (дата обращения: 04.12.2024)

REFERENCES

1. *Programma OON po okruzhayushchei srede i Mezhdunarodnaya gruppya po resursam (2019). Global'nyi obzor resursov 2019: prirodnye resursy dlya budushchego, kotorogo my khotim – rezюме dlya politikov* [The United Nations Environment Programme and the International Resources Group (2019). Global Resource Overview 2019: Natural Resources for the Future We Want – Summary for policy makers]. Available at: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27518> (accessed 12.12.2024)
2. Anisimov S.P., Bobylev S.N., Komarov I.I. «Zelenaya» ekonomika: perezagruzka ["Green" economy: reboot]. Moscow, Zimorodok Publ., 2017, 448 p. (In Russian)
3. Bobylev S.N., Solovyova S.V. Circular economy and its indicators for Russia. *The world of the new economy*, 2020, no. 14 (2), pp. 63–72. (In Russian) <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2020-14-2-63-72>
4. Dautova Z.Ya., Shagaeva T.K. Business models of circular economy. *Vestnik Issyk-Kul'skogo universiteta* [Bulletin of Issyk-Kul University]. 2022, no. 51, pp. 136–144. (In Russian)
5. Dorokhina E.Yu., Kucher D.E., Kharchenko S.G. *Ehkonomika zamknutykh tsiklov: tendentsii i perspektivy*

[The economy of closed cycles: trends and prospects].

Moscow, MAKS Press, 2023, 128 p. (In Russian)

6. Zadorozhnaya L.E., Ratner S.V. Drivers of economic growth in the circular economy. *Drucker Bulletin*, 2020, no. 1 (33), pp. 21–34. (In Russian)

<https://doi.org/10.17213/2312-6469-2020-1-21-34>

7. Pakhomova N.V., Richter K.K., Vetrova M.A. Transition to a circular economy and closed supply chains as a driving force for sustainable development. *Vestnik SPBGU. Ekonomika* [Bulletin of St. Petersburg State University. Economy]. 2017, vol. 33, no. 2, pp. 244–268. (In Russian)

8. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Available at: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (accessed: 15.12.2024)

9. Sauve S., Bernard S., Sloan P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. Available

at: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.envdev.2015.09.002> (accessed: 15.12.2024)

10. Stahel W.R. The Circular Economy: A User's Guide. <https://doi.org/10.4324/9780429259203>

11. *Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 07.05.2024 N 309 «O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda»* [Decree of the President of the Russian Federation N 309 dated 05.07.2024 "On the National Development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036"]. Official Kremlin website. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (accessed: 20.12.2024)

12. *V Rossii vyroslo proizvodstvo vtorichnogo plastika* [The production of recycled plastic has increased in Russia]. Official website of the Rossiyskaya Gazeta news Agency. Available at: <https://rg.ru/2024/03/12/biznes-prinimaet-polimery.html?ysclid=m8bhhzv6m3545763760> (accessed: 04.12.2024)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Рашида И. Яббарова осуществляла сбор информации, проводила анализ, написала рукопись и несет ответственность при обнаружении плагиата и самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Rashida I. Yabbarova collected data, conducted the analysis, wrote the manuscript and is responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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>

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 15.04.2025 г.
Объем 204 стр. Тираж 100. Заказ № 7
Формат 70х90%. Печать офсетная.
Бумага офсетная № 1.
Тиражировано в типографии издательства ДГУ
по адресу: г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 59е