

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

---

# REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2022. Том 46, № 3

16+

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

## 2022. Том 46, № 3

До 2020 г. журнал издавался под названием «Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки».

Основан в 1995 г.

Журнал включен в Перечень ВАК рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (25.00.00 – науки о Земле). Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

**Учредитель:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

**Издатель:** НИУ «БелГУ», Издательский дом «БелГУ».

Адрес редакции, издателя: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

#### Главный редактор

*Лисецкий Ф.Н.*, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

#### Ведущий редактор

*Голеусов П.В.*, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

#### Ответственный секретарь

*Зеленская Е.Я.*, м.н.с. Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «БелГУ», (Белгород, Россия)

#### Члены редколлегии:

*Витченко А.Н.*, доктор географических наук, профессор Белорусского государственного университета (Минск, Республика Беларусь)

*Геннадиев А.Н.*, доктор географических наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

*Тишков А.А.*, чл.-корр. РАН, доктор географических наук, профессор Института географии РАН (Москва, Россия)

*Ермолаев О.П.*, доктор географических наук, профессор Казанского федерального университета (Казань, Россия)  
(по согласованию)

*Куролан С.А.*, доктор географических наук, профессор Воронежского государственного университета (Воронеж, Россия)

*Луто Э.Р.*, доктор, профессор Университета Миссури (Колумбия, США)

*Недялков М.И.*, чл.-корр. Академии Наук Молдовы, доктор географических наук, профессор Института экологии и географии Академии Наук Молдовы (Кишинев, Республика Молдова)

*Хаустов В.В.*, доктор геолого-минералогических наук, профессор Юго-Западного государственного университета (Курск, Россия)

*Хуббарт Дж. А.*, доктор, профессор Университета Западной Вирджинии (Моргантаун, США)

*Чантурия Е.Л.*, доктор технических наук, профессор НИТУ «МИСиС» (Москва, Россия)

*Чендев Ю.Г.*, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле НИУ «БелГУ» (Белгород, Россия)

ISSN 2712-7443 (online)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС 77-77841 от 31.01.2020. Выходит 4 раза в год.

Выпускающий редактор Ю.В. Ивахненко. Корректура, компьютерная верстка и оригинал-макет Н.А. Вус. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 17,4. Дата выхода 30.09.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

## СОДЕРЖАНИЕ

- 311 **Чугунова Н.В., Яковенко Н.В.**  
Реальность и перспективы улучшения демографической ситуации в «Стратегии-35» Воронежской области
- 322 **Ивонин В.М.**  
Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем
- 339 **Долгополов Д.В., Мелкий В.А., Баборыкин М.Ю.**  
Применение технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения геотехнического мониторинга и картографирования на трубопроводном транспорте
- 356 **Терехин Э.А.**  
Состояние залежных земель и особенности их спектрально-отражательных свойств на территории Среднерусской лесостепи
- 366 **Синюткина А.А., Гашкова Л.П.**  
Оценка состояния и геоинформационное моделирование постпирогенной динамики участка Большого Васюганского болота
- 378 **Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А.**  
Картографическая модель трансформации гидронимов Крыма
- 398 **Епринцев С.А.**  
Геоинформационно-аналитическая оценка экологической безопасности городов Центрально-Чернозёмного региона
- 410 **Камалова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш., Лешан И.Ю., Нурмухаметова Э.З.**  
Система обращения с ТКО в Республике Башкортостан: этапы становления, проблемы и современное состояние
- 424 **Дмитриева В.А.**  
Экологический сток в речных потоках
- 434 **Екимовская О.А., Белозерцева И.А.**  
Комплексная характеристика постаграрных ландшафтов среднего течения р. Селенги (Республика Бурятия)
- 448 **Лазарев И.С., Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Терентьев В.В.**  
Интегральная оценка загрязнения почв при реконструкции аэродрома
- 463 **Голуусов П.В., Малышев А.В.**  
Воспроизводство профиля чернозёма при различной степени нарушения военными действиями

# REGIONAL GEOSYSTEMS

## 2022. Volume 46, No. 3

*Until 2020, the journal was published with the name "Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences".*

---

Founded in 1995

The journal is included into the List of Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications where the main scientific results of dissertations for obtaining scientific degrees of a candidate and doctor of science should be published (25.00.00 – Earth sciences). The journal is introduced in Russian Science Citation Index (РИИЦ).

**Founder:** Federal state autonomous educational establishment of higher education «Belgorod National Research University».

**Publisher:** Belgorod National Research University «BelSU» Publishing House.

Address of editorial office, publisher: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia.

### EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

#### Chief Editor

*Fedor N. Lisetskii*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia)

#### Issuing Editor

*Pavel V. Goleusov*, Doctor of Geographical Sciences (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

#### Responsible Secretary

*Evgeniya Ya. Zelenskaya*, (Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia)

#### Members of Editorial Board:

*Aleksandr N. Vitchshenko*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus)

*Aleksandr N. Gennadiyev*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia)

*Arkadiy A. Tishkov*, Member corr. RAS, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Institute of Geography RAS, Moscow, Russia)

*Oleg P. Ermolaev*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Kazan Federal University, Kazan, Russia)

*Semyon A. Kurolap*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Voronezh State University, Voronezh, Russia)

*Anthony R. Lupo*, Doctor, Professor (University of Missouri-Columbia, Columbia, USA)

*Maria I. Nedelcov*, Member corr. Academy of Sciences of Moldova, Doctor, professor, (Institute of Ecology and Geography ASM, Chişinău Municipality, Republica of Moldova)

*Vladimir V. Khaustov*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor (Southwestern State University, Kursk, Russia)

*Jason A. Hubbart*, Doctor (Ph. D), Professor (West Virginia University, Morgantown, USA)

*Elena L. Chanturia*, Doctor of Technical Sciences, Professor (NUST "MISiS", Moscow, Russia)

*Yuriy G. Chendev*, Doctor of Geographical Sciences, Professor (BSU, Belgorod, Russia)

ISSN 2712-7443 (online)

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor). Mass media registration certificate ЭЛ № ФС 77-77841 dd 31.01.2020. Publication frequency: 4/year

Commissioning Editor Yu.V. Ivakhnenko. Pag Proofreading, computer imposition, page layout by N.A. Vus. E-mail: [goleusov@bsu.edu.ru](mailto:goleusov@bsu.edu.ru). Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 17,4. Date of publishing 30.09.2022. The layout was prepared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

## CONTENTS

- 311 **Chugunova N.V., Yakovenko N.V.**  
Assessment of the Reality of the Tasks to Improve the Demographic Situation in the "Strategy-35"  
of the Voronezh Region
- 322 **Ivonin V.M.**  
Theoretical Concept in Behalf of Improvement Ameliorative Systems
- 339 **Dolgopolov D.V., Melkiy V.A., Baborykin M.Yu.**  
The Use of Earth Remote Sensing Technologies to Provide Geotechnical Monitoring and Mapping in Pipeline Transport
- 356 **Terekhin E.A.**  
Parameters of Abandoned Agricultural Lands and Their Reflectance in the Central Russian Forest-Steppe
- 366 **Sinyutkina A.A., Gashkova L.P.**  
State Assessing and GIS Modeling of the Post-Pyrogenic Dynamics of the Great Vasyugan Mire Site
- 378 **Lisetskii F.N., Buryak Zh.A.**  
Cartographic Model for the Transformation of Crimean Hydronyms
- 398 **Yeprintsev S.A.**  
Geoinformation and Analytical Assessment of Environmental Safety of the Cities of the Central Chernozem region
- 410 **Kamalova R.G., Fatkhutdinova R.Sh., Leshan I.Yu., Nurmukhametova E.Z.**  
The System of Solid Municipal Waste Management in the Republic of Bashkortostan: Stages of Formation,  
Problems and Current State
- 424 **Dmitrieva V.A.**  
Ecological Runoff in the River Streams
- 434 **Yekimovskaya O.A., Belosertseva I.A.**  
The Study Agricultural Land Use in Middle Selenga River of the Basin (a Case Study of the Republic of Buryatia)
- 448 **Lazarev I.S., Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Terent'yev V.V.**  
Integral Assessment of Soil Pollution During Airfield Reconstruction
- 463 **Goleusov P.V., Malyshev A.V.**  
Reproduction of Chernozem Profile under Varying Degrees of Disturbance by Military Actions

УДК 911.3

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-311-321

## Реальность и перспективы улучшения демографической ситуации в «Стратегии-35» Воронежской области

<sup>1</sup> Чугунова Н.В., <sup>2</sup> Яковенко Н.В.

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,  
Россия, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8  
E-mail: Chugunova@bsu.edu.ru, n.v.yakovenko71@gmail.com

**Аннотация.** Современная эпоха характеризуется стремительными изменениями социально-экономического развития регионов страны. Для выявления тенденций развития, создания эффективных инструментов управления в РФ разрабатываются стратегии социально-экономического развития. Анализ раздела «Демографическое и миграционное развитие области» «Стратегии социально-экономического развития Воронежской области на 2035 г.» показал сложность, часто недостижимость, выполнения ряда основополагающих показателей, дискуссионность предполагаемых мер по увеличению численности населения. Основная цель данного исследования состояла в экспертизе достижимости поставленных в Стратегии социально-экономического развития Воронежской области задач по улучшению демографической ситуации, репрезентативность результатов которой может быть распространена на аналогичные районы страны. Итоги экспертизы позволяют утверждать о низкой вероятности роста уровня рождаемости и значительного повышения продолжительности предстоящей жизни; ошибочности широкого привлечения трудовых мигрантов из республик бывшего СССР в условиях длительной системной безработицы в малых городах и сельской местности Воронежской области. Установлено дальнейшее сокращение численности населения и сохранение тенденций концентрации населения в пригородных районах в результате процессов субурбанизации. Предложены практические рекомендации по улучшению демографической ситуации в регионе.

**Ключевые слова:** «Стратегия-35» Воронежской области, экспертиза, уровень рождаемости, уровень смертности, нереальность достижения показателей

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00074.

**Для цитирования:** Чугунова Н.В., Яковенко Н.В. 2022. Реальность и перспективы улучшения демографической ситуации в «Стратегии-35» Воронежской области. Региональные геосистемы, 46(3): 311–321. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-311-321

---

## Assessment of the Reality of the Tasks to Improve the Demographic Situation in the "Strategy-35" of the Voronezh Region

<sup>1</sup> Nadezhda V. Chugunova, <sup>2</sup> Natalia V. Yakovenko

<sup>1</sup> Belgorod National Research University,  
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State University Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
8 Timiryazev St, Voronezh 394087, Russia  
E-mail: Chugunova@bsu.edu.ru, n.v.yakovenko71@gmail.com

**Abstract.** The modern era is characterized by rapid changes in the socio-economic development of the regions of the state. Therefore, it is necessary to analyze them, identify development trends, and work out



effective management tools. For this purpose, socio-economic development strategies are developed in the Russian Federation. The analysis of the section "Demographic and Migration Development of the Region" in the "Strategy for socio-economic development of the Voronezh region for 2035" showed the complexity, often unattainability of a number of fundamental indicators, the discussion of the proposed measures to increase the population. The main purpose of this study was to examine the feasibility of the tasks of improving the demographic situation set out in the Strategy for socio-economic development of the Voronezh region. The results of the expertise suggest a low probability of an increase in the birth rate and a significant increase in life expectancy; the fallacy of broad attraction of labour migrants from former Soviet republics in conditions of long-term systemic unemployment in small towns and rural areas of the Voronezh region. Further population decline and preservation of population concentration trends in suburban areas as a result of suburbanization processes have been established. Practical recommendations for improving the demographic situation in the region are offered.

**Key words:** "Strategy-35" of the Voronezh region, expertise, birth rate, mortality rate, unrealistic achievement of indicators

**Acknowledgements:** This work was supported financially by RFBR grant № 20-05-00074.

**For citation:** Chugunova N.V., Yakovenko N.V. 2022. Assessment of the Reality of the Tasks to Improve the Demographic Situation in the "Strategy-35" of the Voronezh Region. *Regional Geosystems*, 46(3): 311–321 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-311-321

---

## Введение

Для современной эпохи характерны быстрые изменения социального и экономического ландшафтов, особенно это заметно в субъектах и муниципалитетах страны. Необходимо оценивать происходящие изменения, определять тренды на перспективу, вырабатывать грамотные решения, выбирать эффективные инструменты их реализации. В Российской Федерации и регионах разрабатываются проекты социально-экономического развития – стратегии, необходимые для определения мер, содействующих адаптации регионов к изменяющимся условиям.

В Российской Федерации с 1999 по 2021 гг. разработан и принят для реализации ряд федеральных и региональных стратегических и концептуальных документов по федеральному, региональному и муниципальному управлению [Перечень федеральных ..., 2022], в частности стратегии социально-экономического развития, провозглашающие необходимость повышения качества жизни населения, обеспеченного ростом обновленной экономики, как конечной цели.

Реализация стратегий не привела к желаемым результатам. Возникают закономерные вопросы. Может быть, поставлены неверные, недостижимые цели? Не предложены конкретные инструменты реализации? Вкладываются недостаточные средства в главное богатство страны – людей, их здоровье, воспроизводство, снижение бедности?

Для ответа на поставленные вопросы (определения слабых сторон региональных стратегий) была выбрана обновленная Стратегия социально-экономического развития Воронежской области [2022], ключевые проблемы развития территории которой авторами данной статьи изучались в течение многих лет. Результаты основных исследований опубликованы в высокорейтинговых журналах [Яковенко и др., 2020; Чугунова и др., 2021]. 15 апреля 2022 года авторы статьи участвовали в заседании экспертного совета по теме «Демография и формирование культуры семейных ценностей» (при экспертном совете губернатора Воронежской области). В данной работе изложены основные результаты экспертного заключения.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является Воронежская область, предметом исследования – обновленная Стратегия развития Воронежской области «Современное государственное управление: новый этап реализации Стратегии-2035», раздел «Демография. Улучшение демографической ситуации в регионе».

Основной целью статьи является экспертиза достижимости поставленных в стратегии задач улучшения демографической ситуации в регионе, реальности формирования в обществе культуры многодетной семьи. Данная статья – это и пилотный вариант блока модельной концепции социально-демографического, экистического развития одного из приграничных регионов Центрально-Черноземного района в решении задачи Проекта РФФИ № 20-05-00074 А.

Задачи исследования: оценка реалистичности выполнения поставленных в стратегии целей и задач в области демографической ситуации; установление позиций авторов по предлагаемым стратегией мерам оптимизации демографической политики Воронежской области; разработка практических рекомендаций смягчения социально-демографических вызовов в развитии области.

В работе предложен метод экспертизы стратегического социально-демографического развития региона, основанный на анализе сессии (блока) «Современное государственное управление: новый этап реализации Стратегии-2035. Демографическая политика» (от 17.03.2022 г., Воронежская область) и данных официальной статистики РФ с использованием статистико-математических методов, ГИС-технологий.

#### *Обзор опубликованных стратегий социально-экономического развития.*

Реализация принятых в стране стратегий требовала комплексного подхода к решению поставленных задач, их выполнению, определению приоритетных направлений, что не всегда удавалось решить в полной мере.

Стратегия национальной безопасности Российской Федерации [2022] призвана способствовать развитию национальной экономики, улучшению качества жизни граждан, укреплению политической стабильности в обществе, международного престижа Российской Федерации [Демографическое самочувствие ..., 2021]. В начале июля 2021 г. утверждена обновленная редакция Стратегии национальной безопасности России, где на первый план выдвинуто сбережение народа: увеличение реальных доходов населения, повышение рождаемости, рост ожидаемой продолжительности жизни, снижение смертности, повышение качества и доступности медицинской помощи. Итоги реализации стратегии подводить еще рано, но с уверенностью можно утверждать, что реальные доходы населения падают, смертность не сокращается, рождаемость не повышается.

Стратегия экономической безопасности РФ [2022] на период до 2030 г. определяет вызовы и угрозы экономической безопасности Российской Федерации, цели, основные направления и задачи государственной политики в сфере обеспечения экономической безопасности, недопущение снижения качества жизни населения.

Стратегия государственной национальной политики Российской Федерации [2022] на период до 2025 г. разработана в целях обеспечения интересов государства, общества, конституционных прав и свобод граждан, сохранения этнокультурной самобытности ее народов, сочетания общегосударственных интересов и интересов народов России.

В условиях возрождения пространственного планирования в стране принята Стратегия пространственного развития Российской Федерации [2022] на период до 2025 г. – документ стратегического планирования по территориальному принципу, провозглашающий повышение устойчивости национальной системы расселения путем социально-экономического развития городов и сельских территорий.



Внимательное изучение стратегий федерального и регионального уровней подтверждает наличие в документах задачи необходимости повышения уровня жизни и вывода экономики на новый уровень, устойчивого развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу. Наибольший резонанс среди экспертного сообщества вызвала обновленная Стратегия национальной безопасности РФ от 02.07.2021 г. Жесткую критическую позицию занял Институт ЕАЭС, считающий, что в значительной части концепции нет четкого описания основных внешних и внутренних угроз, соответственно, понимания действительных угроз безопасности России. В стратегии сбережения народа трудно ожидать повышение благосостояния граждан Российской Федерации, поскольку в последние годы она находится в пятерке стран с самыми высокими темпами падения уровня доходов своих граждан.

В Стратегии социально-экономического развития Воронежской области [2022] на период до 2035 г. в разделе «Улучшение демографической ситуации...» основной целью является повышение уровня рождаемости, рост численности постоянного населения. Задачи раздела, сформулированные в стратегии: 1) повышение уровня рождаемости; 2) рост предстоящей продолжительности жизни; 3) обеспечение миграционного прироста в соответствии с потребностями демографического и социально-экономического развития Воронежской области.

### Результаты и их обсуждение

#### *1. Задача «Стратегии-35»: повышение уровня рождаемости.*

Анализируя раздел демографии Стратегии социально-экономического развития Воронежской области, необходимо предварительно остановиться на результатах демографического развития XX в. для понимания того демографического багажа, с которым страна вступила в XXI в.

Прошедший век в демографическом плане уникален, как в части общей динамики численности населения России и ее субъектов, так и по ключевым изменениям, которые произошли в репродуктивном поведении населения, в возрастной и семейной структурах, институте семьи. Известно, что численность населения любой территориальной группы зависит от действия двух факторов: 1) естественного движения, соотношения рождаемости и смертности и 2) механического движения (прироста), территориального перемещения населения – миграций, в результате которых меняется численность и состав населения. Естественный прирост (убыль) населения зависит от трех факторов: рождаемости, смертности и возрастной структуры населения [Вишневецкий, 2022]. На два первые фактора можно влиять с помощью мер демографической политики, третий фактор практически не поддается воздействию – современная и на ближайшие десятилетия возрастная структура населения уже сложилась.

Задача повышения уровня рождаемости Воронежской области актуальна, сложна, требует пристального внимания государства. Не вызывают возражений предложенные в стратегии методы и инструменты ее решения, но реалистичность достижения величин обозначенных индикаторов сомнительна.

В документах предполагается повышение показателя суммарного коэффициента рождаемости (коэффициент репродуктивности) с 1,365 в 2017 г. до 1,707 в 2035 г. Считаем нереальным достижение данного уровня, поскольку страна и ее субъекты вступили в XX в. в первый демографический переход, в последние десятилетия – во второй. Это мировые закономерности воспроизводства населения со всеми вытекающими из них последствиями: кризис института семьи, непрочность, нерегистрируемость браков, которые демографы называют сожителем, внебрачные дети, на рождение которых решаются немногие женщины. В условиях низкого уровня жизни населения, когда среднедушевой медианный денежный доход в Воронежской области составляет по результатам 2020 г. 24,8 тыс. руб. [О демографической

ситуации ..., 2022], трудно решиться на рождение второго и тем более третьего ребенка (в демографии – решающий – третий!).

Известно, что кривая рождаемости идет «волнами». Статистика свидетельствует о старении материнства и самой рожаящей является группа 25–29 лет. Девочки, женщины, которые должны родить детей до 2034 г., уже родились. Сейчас в возрасте 25–29 лет находится малочисленное поколение женщин, родившееся в 1990-е гг. (в период предыдущей демографической ямы). Их мало, соответственно, у них будет меньше детей: от малочисленного поколения родится мало детей.

Часть женщин будет рожать после 30 лет. В Воронежской области женщин в возрасте 20–39 лет в 2010 г. было (тыс. чел.) – 133,6; в 2015 г. – 129,9; в 2020 г. только 116,90. И так по нисходящей линии.

## **2. Рост предстоящей продолжительности жизни населения Воронежской области.**

Актуальная и вполне реальная задача. Но для ее достижения необходимо учитывать второй фактор в воспроизводстве населения – смертность, и предстоящая продолжительность жизни населения напрямую зависит от ее уровня. Ситуация в воспроизводстве населения в стране и ее субъектах такова, что рождаемость низкая, а смертность высокая. Заметим, что суммарный коэффициент рождаемости в России выше, чем в Германии, Италии, Японии [Демографический ежегодник ..., 2021], но и смертность выше, соответственно, у нас невысокая, а по западным меркам низкая, продолжительность предстоящей жизни.

Следовательно, необходимо принимать меры, находить инструменты не только повышения рождаемости, но и снижения уровня смертности. В стратегии о смертности написано вскользь, на сессии вообще не упоминалось. Почему? Неудобный показатель, создающий негативное впечатление? Но от замалчивания проблема не исчезнет, напротив, может превратиться в снежный ком.

Проблемой страны и ее регионов является недопустимо высокая смертность мужчин в активном трудоспособном возрасте 35–40 лет, которые в этом возрасте не должны умирать. Такая ситуация представляется аномалией, которая должна быть преодолена. По нашим расчетам [Воронежский статистический ..., 2020] на смертность в трудоспособном возрасте приходилась 1/3 часть смертей. Притом, что пятая часть смертности в трудоспособном возрасте – от противоестественных причин – несчастных случаев, отравлений, травм. Это не чисто медицинская причина. А.Г. Вишневецкий писал, что даже смерть от ДТП складывается из нескольких факторов: не только от состояния дороги и водителя, но и скорости, с которой прибывает бригада скорой медицинской помощи [Вишневецкий, 2022]. Нужны меры, инструменты снижения смертности и их реальное исполнение, как и необходимость ведения здорового образа жизни. Расходы на здравоохранение в России совершенно не соответствуют вызовам XXI в. В Германии на здравоохранение тратят с учетом покупательной способности населения на человека в тыс. долл. США – 6,1; Кубе – 2,5; Латвии – 2,3; России – 1,5.

В России, в том числе в Воронежской области, по сравнению с развитыми странами повышена младенческая смертность [Яковенко, 2013; Показатели экономического ..., 2019], смертность детей до одного года, но меры ее снижения стратегией не предусмотрены. Парадокс, но смертность детей до одного года в городской местности Воронежской области в 3,7 раза выше сельской [Воронежский статистический ..., 2020]. В наших «комбинатах рождения детей» не соблюдаются санитарные правила, велико заражение детей стафилококком. Для решения этой проблемы необходимы малые родильные дома, одноместные палаты, одноразовое белье, а не «оптимизация» здравоохранения на федеральном и региональных уровнях.

Вынуждены повторить, что фактором повышения предстоящей продолжительности жизни населения является снижение уровня смертности и это – аксиома.



### ***3. Задача и одновременно вопрос дискуссии в «Стратегии-35» обеспечение миграционного прироста.***

Роль внутророссийской миграции в росте численности населения Воронежской области незначительна – 7–10 тыс. человек в год, [Воронежский статистический ..., 2020], не восполняющая естественной убыли населения. Трудовых мигрантов из Узбекистана, Таджикистана и Киргизии в несколько раз больше.

В стратегии предлагается внешняя миграция, «ставка не на временных приезжих из ближнего зарубежья, а на стимулирование переезда молодых, квалифицированных, знающих русский язык жителей стран бывшего СССР на постоянное место жительства в Россию, обеспечение комфортных условий для их жизнедеятельности и трудовой деятельности».

Проведены ли в области конкретные расчеты отраслевых потребностей в рабочей силе? Каких специалистов недостаточно? Малоквалифицированных? По нашим данным, таких расчетов нет.

Экспедиционные обследования уровня и качества жизни населения Белгородской, Воронежской и Курской областей летом 2020–2021 гг. показали наличие системной безработицы в малых городах и сельской местности. В значительной части малых населенных пунктов рабочих мест нет, и население вынуждено прибегать к маятниковой миграции или отходничеству – вахте далеко от своей семьи и области.

Мы убеждены, что необходимо рассчитывать не на потоки трудовых иммигрантов, а на областном уровне (и не только Воронежской области) определяться с внутренней потребностью в рабочей силе, ее качественными характеристиками, профессиональной и квалификационной подготовкой.

Гастарбайтеры – это консервация ручного труда, старой техники и технологий. Кроме того, значительная часть мигрантов трудится нелегально и негативные последствия очевидны и давно отмечены: рост теневой экономики и демпинг заработной платы, почва для коррупции и нарушения прав иммигрантов, формирование замкнутых анклавов, усиление социальной напряженности в принимающем обществе [Чугунова, 2011]. Кто может с уверенностью прогнозировать влияние иммиграции на этнокультурный состав населения страны и ее регионов? Опыт европейских стран и уже отечественный показывает, что иммигранты селятся компактно, замкнутыми анклавами, не ассимилируются.

В Европе депопуляция наступила намного раньше, уже в 60–70 гг. XX в. широко привлекались иммигранты. О конфликтах, погромах в Париже, Германии известно из СМИ. Позже Европа пошла по пути повышения производительности труда, автоматизации производства, создания наукоемких товаров и услуг. Если же в настоящее время привлекают иностранную рабочую силу, то на определенных условиях и на фиксированные сроки. Подобная практика широко применяется в Объединенных Арабских Эмиратах, Саудовской Аравии.

Профессор Ю.Г. Юшкова-Борисова в статье [2005] писала: «Не бывает великих стран со стремительно сокращающимся населением, к тому же меняющих свое этнокультурное содержание путем заимствования населения и культуры соседей. Рискую выглядеть не «политкорректно», я все-таки позволю себе предположить, что собственное население для страны лучше, чем чужое. Но если так, то ее экономическая политика должна быть ориентирована на потребности и возможности жителей конкретных территорий. В противном случае она обрекает своих граждан на экономический и социальный стресс».

Мы считаем, что широкое привлечение мигрантов с иной культурой, менталитетом не позволит сохранить этнокультурную самобытность коренного населения Воронежской области, противоречит Стратегии национальной безопасности РФ (см. выше). Нужно использовать резервы внутренней миграции, в стране достаточно своего низкоквалифицированного экономически активного населения, рынок внешней неквалифицированной рабочей силы необходимо закрыть.

Морис Алле, нобелевский лауреат по экономике 1988 года, писал [2003], что экономические рассуждения об иммиграции крайне поверхностны, что воспроизводимый национальный капитал в разных странах составляет, примерно, четырехкратный национальный доход. Когда прибывает один дополнительный работник-иммигрант, то для создания дополнительной инфраструктуры (жилья, больниц, школ, университетов, разного рода инфраструктурных сооружений, промышленного оборудования) нужны дополнительные вложения, равные четырехкратной заработной плате данного работника. Если этот работник приезжает с женой и тремя детьми, то необходимые дополнительные вложения составят в 10–20 раз больше, чем заработная плата этого работника.

**4. Задачу роста численности населения Воронежской области с 2333,8 тыс. чел. в 2017 г. до 2422,9 тыс. чел. в 2035 г. считаем нереалистичной.**

Демографические процессы инерционны. В Воронежской области естественная убыль населения, не компенсируемая миграциями, отмечена уже в конце 80-х гг. XX в. что влечет за собой депопуляцию. Сокращение численности населения в муниципальных образованиях области продолжается в настоящее время за исключением пригородных районов (рис. 1).

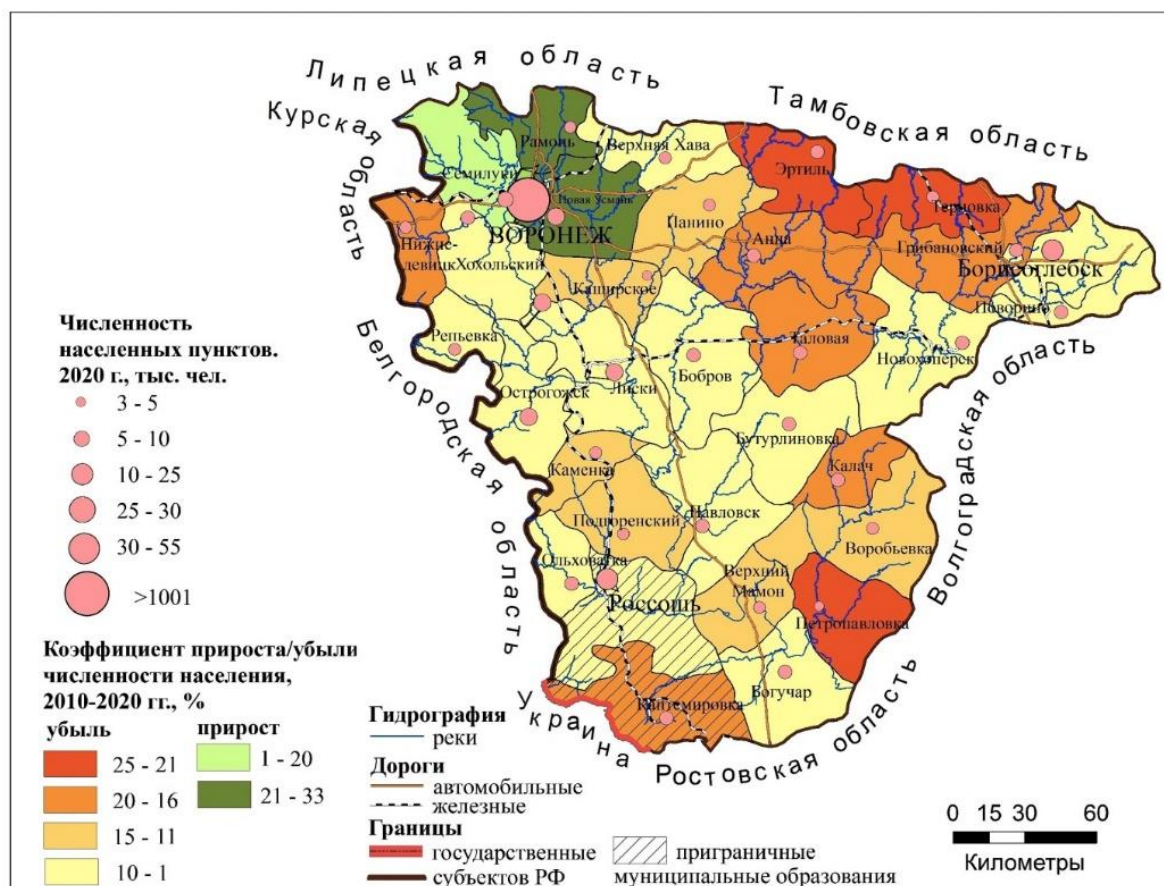


Рис. 1. Динамика численности населения Воронежской области в 2010–2020 гг., %  
Fig. 1. Population dynamics in the Voronezh region in 2010–2020, %

Наши расчеты демографического прогноза Воронежской области по методике [Шубат, Киселева, 2016] показывают, что с 2020 г. по 2034 г. численность населения области сократится на 11 % – до 2081 тыс. чел. (заметим, что после окончания «специальной военной операции в Украине» численность населения может быть совершенно иной).

Уменьшится число жителей города Воронеж, но вырастет в пригородных районах за счет процессов субурбанизации: Рамонском на 32 %, Семилукском – 3,7 %, Хохольском – 0,3 % (рис. 2).

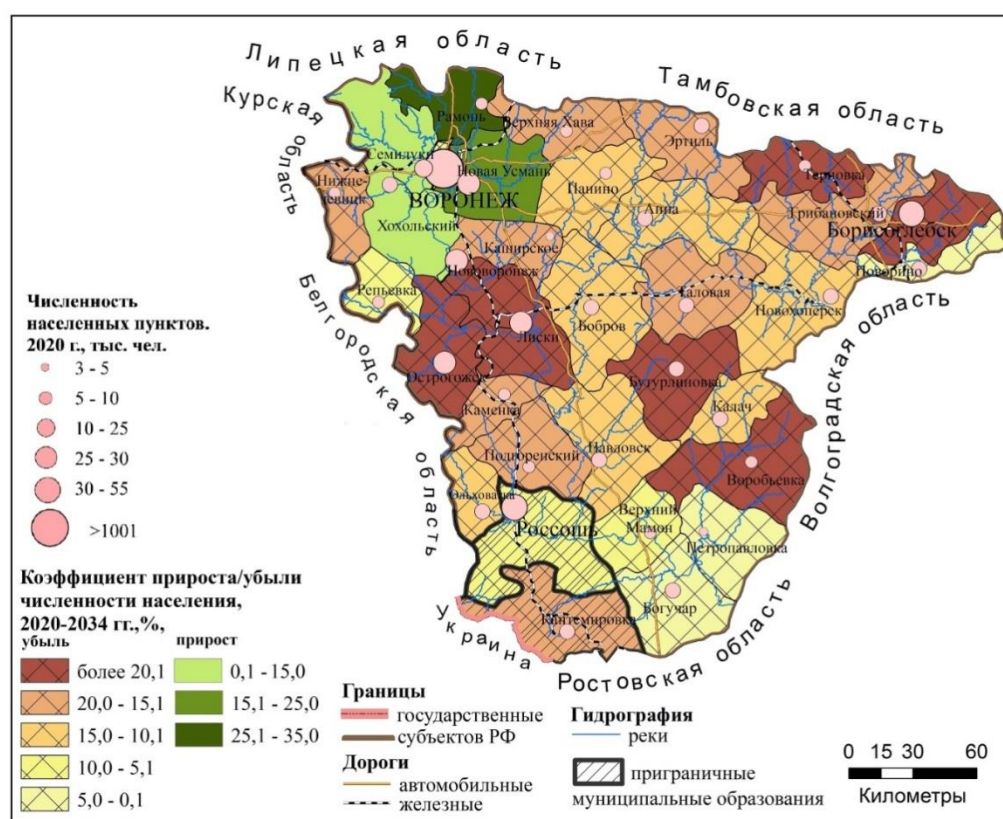


Рис. 2. Прогноз коэффициента прироста/убыли численности населения Воронежской области к 2034 г., %

Fig. 2. Forecast of the growth/decline rate of the population in the Voronezh region in 2034, %

До четверти жителей потеряют Борисоглебский, Бутурлиновский, Терновский районы. Возникнут новые села без населения. И эти изменения необходимо предвидеть и принимать соответствующие меры.

### Заключение

Анализ раздела «Демографическое и миграционное развитие области» Стратегии социально-экономического развития Воронежской области на 2035 г. показал нереальность выполнения ряда основополагающих задач. С течением времени деструктивные явления лишь усугубятся, в силу чего их купирование представляется перспективным на ранних этапах развития. При длительном сохранении существующих моделей регионального и пространственного развития купирование обозначенных негативных тенденций представляется маловероятным.

Закономерности воспроизводства населения, учитывающие влияние первого и второго демографических переходов, сложившаяся половозрастная структура населения, малочисленность поколения женщин репродуктивного возраста, невысокий уровень жизни большинства населения позволяют сформулировать выводы о невероятности роста уровня рождаемости, задачи увеличения коэффициента суммарной рождаемости до ожидаемого результата 1,707.

Показатели общей смертности высоки в результате недопустимо больших уровней смертности мужчин в активном трудоспособном возрасте и младенческой смертности до одного года, низких инвестиций в здравоохранение. Требуется дополнительных исследова-

ний повышенная младенческая смертность в городской местности по сравнению с сельской. При сохранении данных показателей и тенденций уровня смертности-повысить продолжительность предстоящей жизни не удастся.

Увеличение численности населения области за счет широкого привлечения трудовых мигрантов из республик бывшего СССР в условиях длительной системной безработицы в малых городах и сельской местности Воронежской области считаем не просчитанным с внутренними потребностями в рабочей силе, качественными их характеристиками. Данный фактор противоречит Стратегии национальной безопасности РФ в сохранении этнокультурной самобытности народа Воронежской области.

Депопуляция населения носит долговременный характер, вызывая социально-демографическое опустынивание периферии области, неустойчивость расселения, рост концентрации населения в пригородных районах Воронежа. Демографический прогноз свидетельствует о дальнейшем сокращении численности населения области, но сохранении тенденций роста численности населения в пригородных районах за счет процессов субурбанизации.

Рекомендуемые меры в модели социально-демографического, экистического развития:  
*к проводимой демографической политике:*

- максимально поддерживать семьи с детьми в реализации планируемого количества детей с сохранением зоны социальной безопасности;
- значительно повысить реальные доходы населения, уровень и качество жизни;
- разработать механизмы снижения уровня смертности мужчин в активном трудоспособном возрасте, младенческой смертности;
- увеличить расходы на здравоохранение, соответствующие вызовам XXI в.;
- строить малые родильные дома с одноместными палатами; повышать качество и доступность медицинской помощи;
- содействовать сокращению негативных социальных явлений (проституции, наркомании, алкоголизма);
- строить объекты здравоохранения, дошкольного образования, спорта.

*К рынку внешней трудовой миграции (иммиграции):*

- определить внутренние потребности в рабочей силе, востребованных рынком качественных характеристик, профессиональной и квалификационной подготовки;
- использовать резервы внутренней миграции;
- содействовать бизнесу в создании рабочих мест, диверсификации экономики;
- создавать центры подготовки и проверки квалификации специалистов на соответствие требованиям российских профессиональных стандартов;
- активизировать контроль теневого рынка труда, реализовывать меры целевой/выборочной миграционной амнистии трудовых мигрантов с неурегулированным правовым статусом;
- закрыть рынок внешней неквалифицированной рабочей силы.

*К трансформации системы расселения:*

- планировать рост концентрации населения в пригородах города Воронеж, строительство в них предприятий социальной и производственной инфраструктуры;
- заблаговременно резервировать земельные ресурсы пригородной зоны под новое строительство для населения и бизнеса;
- проводить инвентаризацию потенциально «мертвых» деревень (населенных пунктов без населения), определять сферы использования их территорий.

### Список источников

- Вишневский А.Г. Демографический прорыв или движение по кругу? Электронный ресурс. URL: <http://demoscope.ru/weekly/2012/0533/tema02.php> (дата обращения: 18.04.2022 г.)  
Воронежский статистический ежегодник. 2020. Воронеж, Воронежстат, 336 с.



- Демографический ежегодник России. 2021. Электронный ресурс.  
URL: [https://gks.ru/bgd/regl/B21\\_16/Main.htm](https://gks.ru/bgd/regl/B21_16/Main.htm) (дата обращения: 19.05.2022 г.)
- Демографическое самочувствие регионов России. 2021. Национальный демографический доклад. М., ФНИСЦ РАН, 138 с.
- О демографической ситуации в России. Электронный ресурс.  
URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2017/0737/gazeta01.php?ysclid=l2q3zs0lzc> (дата обращения: 19.04.2022 г.).
- Перечень федеральных стратегических и концептуальных документов по теме регионального и муниципального управления, определяющих приоритеты государственной политики в сфере развития регионов и муниципальных образований. Электронный ресурс.  
URL: <http://komitet4.km.duma.gov.ru/Materialy-po-strategii-razvitiya-regiono/Perechen-federalnyh-strategicheskikh-i-ko/> (дата обращения 29.04.2022 г.).
- Показатели экономического и социального развития городских округов и муниципальных районов Воронежской области. 2019. Воронеж, 180 с.
- Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 года. Электронный ресурс. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/60ba72d9086f2c60869715657943c065/voronezh.pdf?ysclid=l2okjiso9g> (дата обращения 30.04.2022 г.).
- Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Электронный ресурс.  
URL: <https://docs.cntd.ru/document/420327289> (дата обращения 30.04.2022 г.).
- Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года. Электронный ресурс. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/54497> (дата обращения 30.04.2022 г.).
- Стратегия государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 года. Электронный ресурс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_139350/ff30f91360f2917b325d507685fd90353895d2bd/?](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_139350/ff30f91360f2917b325d507685fd90353895d2bd/?) (дата обращения 30.04.2022 г.).
- Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Электронный ресурс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_318094/006fb940f95ef67a1a3fa7973b5a39f78dac5681/?](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/006fb940f95ef67a1a3fa7973b5a39f78dac5681/?) (дата обращения 30.04.2022 г.).
- Стратегия социально-экономического развития Воронежской области на период до 2035 г. Электронный ресурс. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/60ba72d9086f2c60869715657943c065/voronezh.pdf?ysclid=l2rc1nhq31> (дата обращения 30.04.2022 г.).

### Список литературы

- Морис А. 2003. Глобализация: разрушение условий занятости и экономического роста. Эмпирическая очевидность. М., ТЕИС, 314 с.
- Чугунова Н.В. 2011. Социально-демографическое развитие Белгородской области изменяющейся России. М., ГЕОС, 140 с.
- Чугунова Н.В., Нарожная А.Г., Полякова Т.А., Кухарук Н.С., Морковская Д.Н. 2021. Поляризация пространства Белгородской, Воронежской, Курской областей: роль региональных столиц. Известия Русского географического общества, 153(2): 18–29. DOI: 10.31857/S0869607121020038.
- Шубат О.М., Киселева О.И. 2016. Методы прогнозирования численности населения: опыт критического анализа. В кн.: Проблемы моделирования социальных процессов: Россия и страны АТР. Материалы II всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 7–8 декабря 2016, Владивосток. Владивосток, Дальневосточный федеральный университет: 328–331.
- Юшкова-Борисова Ю.Г. 2005. Россия и ее население. Полис. Политические исследования, 3: 172–181.
- Яковенко Н.В. 2013. Депрессивные регионы России: методология, теория, практика. Иваново, Ивановский издательский дом, 205 с.
- Яковенко Н.В., Тен Р.В., Крутов Н.Р., Сафонова И.В., Гостеева Ю.А. 2020. Модель инновационного профиля как способ оценки инновационной устойчивости региона (Воронежская область). Юг России: экология, развитие, 15(1(54)): 6–15. DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-6-15.



## References

- Maurice A. 2003. Globalizatsiya: razrusheniye usloviy zanyatosti i ekonomicheskogo rosta. Empiricheskaya ochevidnost [Globalization: the Destruction of Employment and Economic Growth. Empirical Evidence]. Moscow, Publ. TEIS, 314 p.
- Chugunova N.V. 2011. Sotsialno-demograficheskoye razvitiye Belgorodskoy oblasti izmenyayushcheyssya Rossii [Socio-Demographic Development of Belgorod Region of Changing Russia]. Moscow, Publ. GEOS, 140 p.
- Chugunova N.V., Narozhnyaya A.G., Polyakova T.A., Kukharuk N.S., Morkovskaya D.N. 2021. Polarizing the Space of the Belgorod, Voronezh and Kursk Regions: the Role of Regional Capitals. Proceedings of the Russian Geographical Society, 153(2): 18–29 (in Russian). DOI: 10.31857/S0869607121020038.
- Shubat O.M., Kiseleva O.I. 2016. Metody prognozirovaniya chislennosti naseleniya: opyt kriticheskogo analiza [Population Forecasting Methods: Experience of Critical Analysis]. In: Problemy modelirovaniya sotsialnykh protsessov: Rossiya i strany ATR [Problems of Modeling Social Processes: Russia and APR Countries]. Materials II All-Russian Scientific-Practical Conference with international participation, 7–8 December 2016, Vladivostok. Vladivostok, Publ. Far Eastern Federal University: 328–331.
- Yushkova-Borisova Yu.G. 2005. Russia and Her Population. Polis. Political Studies, 3: 172–181 (in Russian).
- Yakovenko N.V. 2013. Depressivnyye regiony Rossii: metodologiya, teoriya, praktika [Depressed Regions of Russia: Methodology, Theory, Practice]. Ivanovo, Publ. Ivanovsky Izdatelsky Dom, 205 p.
- Yakovenko N.V., Ten R.V., Krutov N.R., Safonova I.V., Gosteyeva Yu.A. 2020. An Innovation Profile Model as a Means of Assessing the Innovative Sustainability of a Region (Voronezh Region, Russia). South of Russia: ecology, development, 15(1(54)): 6–15 (in Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2020-1-6-15.

*Поступила в редакцию 01.06.2022;  
поступила после рецензирования 20.06.2022;  
принята к публикации 15.07.2022*

*Received June 01, 2022;  
Revised June 20, 2022;  
Accepted July 15, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Чугунова Надежда Васильевна**, кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

**Яковенко Наталия Владимировна**, доктор географических наук, профессор, директор НИИ ИТЛК Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Nadezhda V. Chugunova**, PhD, Associate Professor of the Department of Environmental Management and Land Cadastre of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

**Natalia V. Yakovenko**, Doctor of Geography, Professor, Director of the Research Institute of ITLC of the Voronezh State University Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia





УДК 631.6

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

## Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем

**Ивонин В.М.**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортюнова –  
филиал Донского государственного аграрного университета,  
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111,  
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

**Аннотация.** По дисциплине «Мелиорация земель» необходима разработка общей системно-ориентированной теоретической концепции совершенствования наиболее распространенных в степной зоне гидромелиоративных (ГМС) и агролесомелиоративных (АЛМС) природно-антропогенных систем. Отсутствие такой концепции затрудняет создание/модернизацию мелиоративных систем с учетом экологической ситуации и возможных деградиционных процессов. Поэтому целью исследований стала система взглядов, раскрывающая логико-теоретические представления о совершенствовании ГМС и АЛМС. Методология основана на визуализации научных знаний. В результате определены основные направления совершенствования: структура систем, мелиоративные технологии, адаптивность к окружающей среде и экологическая безопасность. Направления совершенствования ГМС подразделили на группы: экологическая безопасность, технический и технологический уровни, агресурсный потенциал и управляемость. Основа экологической безопасности – биологизация технических компонентов. Технический и технологический уровень ГМС – ее надежность, точность, ремонтпригодность, управляемость, соблюдение требований эксплуатации и наилучшие доступные технологии. Климат, почвы, воды, биоразнообразие и биопродуктивность определяют агресурсный потенциал. Управляемость, в основном, обеспечивают диспетчеризация, автоматика и телемеханика. Представлены следующие показатели совершенствования АЛМС: территориальная организация, содействие природоподобию, гармония компонентов, потенциал. Лесные насаждения – ведущий фактор природоподобия. Гармония определяется оптимумом соотношений между лесом, пашней и лугом. Потенциал проявлен через мелиоративные, почвозащитные, водоохранные, пастбищезащитные и глобальные функции. Результаты исследований представляют теоретическую концепцию совершенствования ГМС и АЛМС в степных сельскохозяйственных регионах страны.

**Ключевые слова:** гидромелиорация, агролесомелиорация, совершенствование систем мелиорации, экологическая безопасность, наилучшие доступные технологии

**Для цитирования:** Ивонин В.М. 2022. Теоретическая концепция совершенствования мелиоративных систем. Региональные геосистемы, 46(3): 322–338. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

---

## Theoretical Concept in Behalf of Improvement Ameliorative Systems

**Vladimir M. Ivonin**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute –  
branch of the Don State Agrarian University,  
111 Pushkinskaya St, Novocherkassk 346428, Russia  
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

**Abstract.** In the discipline "Land reclamation", it is necessary to develop a general system-oriented theoretical concept for improving the most common hydro-reclamation (HMS) and agroforestry (ALMS) natural-anthropogenic systems in the steppe zone. The absence of such a concept makes it difficult to

create/modernize reclamation systems, taking into account the environmental situation and possible degradation processes. Therefore, the purpose of the research was a system of views that reveals the logical and theoretical ideas about the improvement of HMS and ALMS. The methodology is based on the visualization of scientific knowledge. As a result, the main directions of improvement were determined: the structure of systems, land reclamation technologies, adaptability to the environment and environmental safety. Directions for improving the HMS were divided into groups: environmental safety, technical and technological levels, agro-resource potential and manageability. The basis of environmental safety is the biologization of technical components. The technical and technological level of HMS is its reliability, accuracy, maintainability, controllability, compliance with operating requirements and the best available technologies. Climate, soils, waters, biodiversity and bioproductivity determine the agro-resource potential. Manageability is mainly provided by dispatching, automation and telemechanics. The following indicators of ALMS improvement are presented: territorial organization, promotion of nature-likeness, harmony of components, potential. Forest plantations are the leading factor of nature similarity. Harmony is determined by the optimum ratio between forest, arable land and meadow. The potential is manifested through reclamation, soil protection, water protection, pasture protection and global functions. The research results present a theoretical concept for improving HMS and ALMS in the steppe agricultural regions of the country.

**Keywords:** hydromelioration, agroforestry, improvement of land reclamation systems, environmental safety, best available technologies

**For citation:** Ivonin V.M. 2022. Theoretical Concept in Behalf of Improvement Ameliorative Systems. Regional Geosystems, 46(3): 322–338 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-322-338

---

## Введение

Совершенствование мелиоративных систем (достижение поставленных целей) проводят с учетом физико-географического процесса и сотворчества человека с природой, направленного на возрастание хозяйственного и сбережение природного потенциалов. Это происходит при технических улучшениях, увязанных с почвенным плодородием и сельскохозяйственными технологиями [Щедрин и др., 2012]. При этом непрерывно совершенствуют методологию создания технически совершенных мелиоративных систем [Щедрин, Васильев, 2017].

Основными целями создания мелиоративных систем являются: сохранение и воспроизводство плодородия почв, возрастание продуктивности земель, экономное использование природных и трудовых ресурсов, сохранение природной среды.

Зарубежные исследователи для обоснования устойчивого орошения сельскохозяйственных земель проводят исследования [Velasco-Muñoz et al., 2019], связанные с изменениями климата, воздействием на среду, сохранением природных ресурсов, инновациями и совершенствованием ирригационных технологий, эффективностью водопользования и др. При этом в США отдают предпочтение урожайности сельскохозяйственных культур, альтернативному сельскому хозяйству, построению численных моделей, продовольственной безопасности, водному балансу, очистке сточных вод, доступности воды, сохранению природных ресурсов, воздействию на среду, уровням грунтовых вод и др. В Испании – энергоэффективности, совершенствованию оросительной сети, системам поддержки принятия решений, энергетическим ресурсам и др. В Китае – альтернативному сельскому хозяйству, изучению районов орошения, испарению с поверхности почвы, защите окружающей среды, гидрологическому моделированию, экологии, рельефу, влажности почвы, системному подходу и др.

Оправдана необходимость устойчивого использования воды для выращивания культур при автоматическом поливе, основанном на теории управления [Romero et al., 2012]. Разработана интеллектуальная оросительная система, способная дистанционно управлять орошением и контролировать влажность почвы [Ismaila, Olatunji, 2019].



Обсуждается важность условий дренажа на сельскохозяйственных землях в связи с плохим управлением орошением, и излагаются результаты исследований, необходимых для проектирования и эксплуатации дренажа, связанные с анализом данных в области почвоведения, геологии, топографии, сведений о динамике подземных вод, количестве и интенсивности осадков, поверхностном стоке с осушаемой территории, климатических показателях и стадиях развития сельскохозяйственных культур [Gurovich, Oyarce, 2015].

Стремление к совершенству привело к определению экологических принципов создания мелиоративных систем на основе сбалансированности потоков веществ и энергии. При этом модернизацию мелиоративных систем осуществляют на основе глубокого анализа состояния природных ресурсов, общей экологической обстановки и выявляют причины развития деградационных процессов с учетом технического состояния систем, вероятностных изменений климатических, почвенных, гидрогеологических, геохимических, хозяйственных, социально-экономических условий функционирования, мелиорированных агроландшафтов [Краснощеков, Ольгаренко, 2016].

Мелиоративная система, содержащая природные, хозяйственные и технические элементы, преобразует ландшафты при сохранении установленных человеком экологических ограничений, которые предупреждают опасность хозяйству, природе и обществу. Это определяет мелиоративную систему как природный и общественный объект, согласованный с географическими и социальными законами [Напрасников, 2018].

Для повышения экологической безопасности мелиоративных систем нового поколения предложена обобщенная концептуальная модель, включающая теоретическое и методологическое обеспечение экологической безопасности эксплуатации с использованием инновационных природоохранных и ресурсосберегающих технологий [Карпенко, 2016].

Считают, что в экологически совершенных технических мелиоративных системах природные и антропогенные элементы находятся в оптимальном соотношении [Бадмаева, Макушкин, 2010]. Формирование и развитие мелиоративных систем рассматривают в территориальном (учет региональных условий развития рационального природопользования), инновационном (внедрение новейших достижений науки и практики с обеспечением охраны природной среды) и других аспектах [Александровская, 2018].

Предложены меры предупреждения негативных последствий создания мелиоративных систем. В области орошения – это совершенствование способов полива и оптимизация режимов орошения, снижение непроизводительных расходов воды, подготовка дренажных вод для внутрисистемного использования, увеличение количества водоисточников, совершенствование структуры посевов; в сфере осушения – использование специальной водоподготовки и рециклинга дренажного стока, искусственных водоприемников и др. [Кирейчева, 2017].

Технологическую функцию оросительных гидромелиоративных систем дифференцируют на следующие составляющие: водозабор (самотечный или с машинным водоподъемом), водоподготовка (осветление воды, удаление механических примесей и биологического загрязнения), транспорт воды (перемещение отбираемых из водоисточника объемов воды к мелиорируемым участкам), орошение (распределение оросительной воды по мелиорированной площади и трансформация ее в почвенную влагу) с использованием различных способов полива (поверхностный, дождевание, капельный, внутрпочвенный и аэрозольный), водооборотная функция (отвод избыточно поданной воды, грунтовых вод и бокового почвенного притока) для создания благоприятного мелиоративного состояния земель [Лытов, Бородычев, 2019].

Концепция решений, основанных на природных процессах, для науки, политики и практики (NBS) сформулирована Европейской комиссией. Эта концепция основана на системном подходе, являясь «зеленым коммуникационным инструментом», который обеспечивает управление рациональной эксплуатацией природных ресурсов [Nesshöver et al., 2016].

В сельскохозяйственной практике концепция NBS представляет «использование природных процессов или элементов для улучшения экосистемных функций окружающей среды

и ландшафтов, затронутых сельскохозяйственной практикой, а также для повышения уровня жизни и других социальных и культурных функций в различных временных и пространственных масштабах». Установлены четыре основные функции NBS в сельском хозяйстве:

- 1) устойчивые методы производства;
- 2) зеленая инженерная инфраструктура – в основном для защиты почв от эрозии;
- 3) мелиорация условий для растений, воды, почвы и воздуха, смягчение последствий изменения климата;
- 4) сохранение биоразнообразия и природных связей в экосистемах [Simelton at al., 2021].

В России понятие NBS можно связать с управляемой лесной ресурсной системой, объединяющей существующие мелиоративные лесные полосы, насаждения оврагов и балок, пойм рек и водоемов, автомобильных дорог, техногенных систем и др. [Свиридов, Синельников, 2015], или с природоподобной инженерно-биологической системой, объединяющей агролесомелиоративные насаждения, простейшие гидротехнические сооружения (ПГТС), различные формы травянистой растительности, кустарниковых и кустарничковых ценозов, а также приемы агротехники сельскохозяйственных культур, направленные на защиту почв от эрозии и повышение их плодородия <sup>1</sup>.

Такие системы, обладающие упругой устойчивостью, размещаются в пределах водосборов балок (бассейнов рек), которым присуща резистентная устойчивость. При этом соблюдается условие адаптации к природной среде разнообразных технологий создания инженерно-биологических систем. Основой природоподобия (внедрение в хозяйственную деятельность технологий, не противоречащих ассимиляционной функции природы [Кокин, Кокин, 2020]) являются мелиоративные лесные насаждения (МЛН), создание которых основывается на сочетании традиционных и современных технологий [Сучков, 2018].

При совершенствовании систем мелиоративных лесных полос (агролесомелиоративных систем) решают задачи оптимальности параметров (ширина и высота лесных насаждений, расстояния между ними, породный состав, биомасса древесины), соответствующих вещественно-энергетическим и информационным возможностям лесоаграрных урочищ, формирующих ландшафтно-географические поля (мелиоративные зоны) воздействия на ландшафтную сферу [Ивонин, 2021]. Для повышения долгодетия лесных полос используют проходные и комбинированные рубки [Ахтямов и др., 2016]. Если существует необходимость, то дополнительно предусматривают культуртехнические (расчистка земель от сорной травянистой растительности, деревьев и кустарников, пней, кочек, камней; пескование, глинование и землевание; рыхление, плантажная обработка почвы и др.) или химические (внесение в почвы одного из мелиорантов: известняк, кальцит, доломит, гашеная известь, отходы производства сахара и др.) мероприятия.

Под мелиоративными системами обычно понимают комплексы взаимосвязанных гидротехнических и других сооружений и устройств на мелиорированных землях. Системы мелиоративных защитных лесных насаждений и лесных полос определены действующим ГОСТ 26462-85 <sup>2</sup>.

По общей теории мелиоративных систем [Ивонин, 2022] как системы гидромелиорации, так и агролесомелиорации реализуют мелиоративные цели и организуют ландшафтное пространство при экологических ограничениях. При этом их совершенствование может базироваться на общей теоретической концепции, обоснование которой и явилось целью наших исследований.

<sup>1</sup> Ивонин В.М. 2018. Лесомелиорация ландшафтов. Лесные насаждения для улучшения функционирования, сохранения и рекультивации природно-антропогенных ландшафтов. Новочеркасск, Лик, 206 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 26462-85. Агролесомелиорация. Термины и определения. 1986. М., Изд-во стандартов, 10 с.



## Объекты и методы исследования

Под мелиоративной системой мы понимаем иерархическую систему мелиоративных мероприятий (гидромелиоративных, агролесомелиоративных, химических, агротехнических, культуртехнических и др.), которые отдельно или сочетаясь друг с другом служат средством эколого-экономической и социальной адаптации сельскохозяйственного землепользования к различным уровням иерархии ландшафтной структуры [Ивонин, 2021].

В основу разрабатываемой концепции заложены фактические данные различных авторов о возможности совершенствования систем мелиорации земель, способных к антропогенно-природной эволюции, коммуникативности и адаптации к изменяющимся условиям природной среды. При этом мы использовали методику визуализации представлений о системах мелиоративных лесных насаждений [Ивонин, 2020], предназначенных для производства сельскохозяйственных культур в степных регионах страны, в тектологических границах (по Богданову А.А.) мелиоративного воздействия. Коммуникативность мелиоративного воздействия за пределы границ систем позволило нам визуально представлять сложные и большие системы и надсистемы мелиорации земель [Ивонин, Воскобойникова, 2021]. Это составило существенный вклад автора в методологию исследований, которую дополнили положениями системно-ориентированного подхода к визуализации научных знаний [Hieronymi, 2013; Цветков, 2015].

В результате разработали теоретическую концепцию совершенствования мелиоративных систем на основе визуализации их структур с интерпретацией полученных результатов и набором определяющих ключевых признаков.

## Результаты и их обсуждение

Мелиоративные мероприятия (гидромелиоративные, агролесомелиоративные, культуртехнические, химические и др.), объединяясь, образуют различные мелиоративные комплексы, среди которых наиболее распространены гидромелиоративные и агролесомелиоративные системы. Эти системы требуют совершенствования по мере осмысливания опыта их эксплуатации и анализа новых данных научных исследований. Определены основные направления такого совершенствования: структура системы как совокупность компонентов и связей между ними; гидромелиоративные и лесохозяйственные технологии; адаптивность к окружающей среде; экологическая безопасность.

Ведущим направлением совершенствования является структура как совокупность компонентов и связей между ними, сохраняющая целостность мелиоративной системы. В системах гидромелиорации целостность образуют отношения взаимосвязанности компонентов (подсистем), в агролесомелиоративных системах – отношения вложенности.

Для упрощения анализа отношений взаимосвязанности предлагаем схему основной подсистемы оросительной системы, выполняющей технологические функции: водозабор и водоподготовка, транспорт воды и орошение, водооборот и мелиоративное состояние земель (рис. 1). При этом не рассматриваем подсистемы технических средств эксплуатации и управления оросительной системой.

Выявление нарушений структурной взаимосвязанности в результате отказов технических компонентов или отклонений их работоспособности от нормы определяет возможности технических и (или) технологических инноваций. Внедрение этих инноваций на практике ведет к совершенствованию гидромелиоративных систем и сохранению «базового» мелиоративного состояния земель.

Инновационные технические и (или) технологические решения влекут за собой сближение фактических и заданных («эталонных») параметров гидромелиоративной системы, что повышает ее точность, при соблюдении эксплуатационных требований к ее компонентам.



Рис. 1. Взаимосвязанность подсистем, выполняющих технологические функции оросительной системы  
Fig. 1. The interconnection of subsystems that perform the technological functions of the irrigation system

Отношения вложенности (свойство вложенности младшего уровня подсистем в старший уровень) характерны для агролесомелиоративных (инженерно-биологических) систем – противодефляционных, противоэрозионных, водоохранных и др. Главенствующими и ведущими элементами таких систем служат МЛН (чаще всего лесные полосы и донные насаждения-илофилтры), способные создавать основу природоподобия инженерно-биологических систем. В эту основу вкладывают другие компоненты, образуя отношения вложенности.

Например, в систему МЛН вкладывают подсистемы ПГТС (с элементами распылителей стока, валов, валов-каналов, террас и др.), субподсистемы биотических технологий повышения плодородия почв (возделывание бобово-злаковых травосмесей, сидерация, культивирование солеустойчивых растений и смешанных посевов галофитов с кормовыми культурами и др.) и почвозащитные технологии возделывания сельскохозяйственных культур (бесплужная обработка, полосовое рыхление, точное земледелие и др.) (рис. 2).

Структура гидромелиоративной (оросительной) системы определяется почвенными, геоморфологическими, гидрологическими условиями, расположением источника орошения по отношению к орошаемой площади, размером и конфигурацией этой площади, составом сельскохозяйственных культур, применяемыми способами и техникой полива, числом и размером поливных участков и др. Структура осушительной системы определяется рельефом местности, типом водного питания, сельскохозяйственным использованием земель, действием регулирующей, проводящей и оградительной сети, размещением водоприемников, гидротехническими сооружениями, размером полей севооборота, условиями работы сельскохозяйственной техники и др.

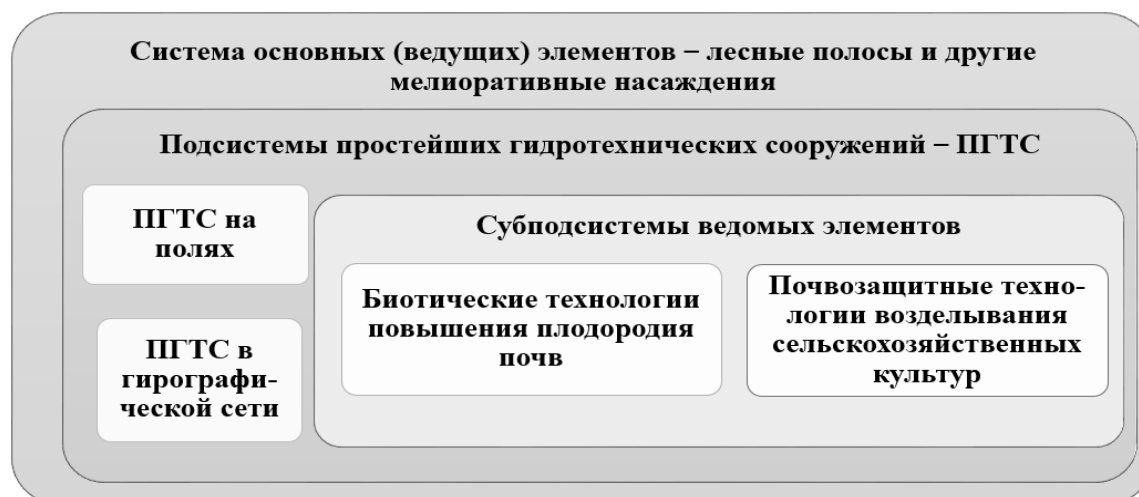


Рис. 2. Вложенность подсистем инженерно-биологической системы  
Fig. 2. Nesting of subsystems of an engineering biological system

Структура агролесомелиоративной системы определяется шириной, конструкцией или фитонасыщенностью, составом и возрастом лесных полос, расстояниями между ними, наличием простейших ГТС, агролесомелиоративными мероприятиями на межполосных полях (биотических для повышения плодородия почв и почвозащитных для усиления устойчивости земледелия), подбором культивируемых сортов и гибридов приспособленных к условиям межполосных полей.

Гидромелиоративные технологии улучшают, повышая производительность, качество и экологическую безопасность производства работ на основе автоматизации и комплексной механизации, совершенствования производственно-экономичной техники. Лесохозяйственные технологии, в основном, предусматривают совершенствование организационных форм и техники лесомелиоративных работ.

Адаптивность гидромелиоративной системы к меняющимся условиям окружающей среды может происходить при инновационной корректировке технического качества и технического уровня мелиоративной системы, приводящих к повышению ее надежности, управляемости и работоспособности (выявление отказов и повреждений технических элементов и устранение их последствий при текущем и капитальном ремонте). Это может привести к проектированию и строительству мелиоративных объектов нового поколения. Все это увеличивает долговечность системы (до наступления предельного состояния), установленную техническим обслуживанием.

Адаптивность агролесомелиоративной системы к компонентам окружающей среды происходит в процессе роста и развития видов (пород) лесных насаждений. При этом одни древесные породы активно наращивают биомассу, другие – суховершиняют уже в ранних возрастных периодах, вегетативно разрастаются или выпадают из состава мелиоративных насаждений. Это связано с несоответствием устойчивости некоторых пород параметрам окружающей среды. Такую устойчивость можно повысить при подборе ассортимента видов (пород) и совершенствовании технологий выращивания лесных насаждений. Наращивание древесной биомассы в процессе роста способствует мелиорации факторов среды на межполосных полях. Это расширяет приспособительные возможности культивируемых видов и гибридов, снижает интенсивность деградиционных процессов, повышает эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

Экологическая безопасность функционирования гидромелиоративной системы предполагает, что в течение всего периода ее эксплуатации минимизируются угрозы негативных воздействий на компоненты природной среды, а возможный экологический ущерб

даже на фоне участвовавших катастроф, спровоцированных метеорологическими причинами и глобальными климатическими изменениями, компенсируется проведением соответствующих мероприятий.

Экологическая безопасность агролесомелиоративной системы находится под угрозой в результате: недостаточности лесохозяйственных уходов в МЛН и необходимости улучшения их санитарного состояния, неудовлетворительности состояния или (и) состава, нуждаемости в рубках возобновления старовозрастных насаждений.

При ликвидации этих угроз экологическая безопасность агролесомелиоративных систем обеспечивается соответствием между текущими и «базовыми» параметрами системы, гармонией составляющих подсистем (элементов), своевременностью и точностью проведения технологических операций на межполосных полях.

Все это позволило представить показатели совершенствования мелиоративных систем в виде структурно-функциональных схем (рис. 3, 4).

Экологическая безопасность гидромелиоративной (например, оросительной) системы повышается при:

- соответствии технических и технологических решений экологическим ограничениям по поливным и оросительным нормам, снижении потерь воды на холостые сбросы и фильтрацию, равномерном распределении воды по полю, сохранении оптимального пищевого, солевого и водно-воздушного режима, очистке и утилизации коллекторно-дренажного стока, предотвращении заболачивания, засоления, осолонцевания, содообразования, загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами и ядохимикатами, сокращении водной эрозии и т. д.;

- сохранении видового состава и численности биоты;

- экологизации технических элементов с помощью сохраненных участков естественной биоты, а также созданных полезащитных (полевых), приканальных, аллеиных (вдоль дорог или на территориях орошаемых садов, питомников, плантаций) лесных полос, зеленых насаждений у производственных зданий, водосбросных и водозаборных сооружений.

Технический уровень системы определяют степень соответствия показателей технического качества базовым показателям и контроль мелиоративного состояния земель: режим грунтовых вод, солевой режим, водно-физическими свойствами и водно-воздушный режим почв, качество вод орошения и подземных вод и т.д.

Все подсистемы, субподсистемы и элементы должны иметь достаточную надежность, точность, ремонтпригодность, ритмичность работы при соблюдении эксплуатационных требований к звеньям гидромелиоративной системы.

Например, эксплуатационным требованием к водозаборному сооружению является минерализация воды (от 0,5 г/л (черноземы) до 2,5 г/л (песчаные почвы аридной зоны)); к межхозяйственной оросительной сети – размещение узлов командования через 10–25 км, водораспределения – через 3–5 км, КПД каналов  $\geq 0,85$  и их обеспеченность автоматикой и телемеханикой водораспределения и водоучета, а также внутрисистемными водохранилищами суточного или декадного регулирования; к внутривладельческой сети – каналы небольшой длины, лотки и трубопроводы, защищенные от плавающего мусора, необходимое количество водомерных постов, возможности проведения ремонтных работ; для поливной техники – современность и высокая готовность (коэффициент готовности – 0,96, безотказности – 0,9); к коллекторно-дренажной и водосборно-сбросной сети – согласование глубин заложения дрен и критических уровней грунтовых вод, оборудование водомерными устройствами устьев дрен, коллекторов и скважин, контроль ПДК токсичных веществ при поступлении сбросных и коллекторно-дренажных вод в водоприемник.





Рис. 3. Группировка показателей совершенствования гидромелиоративной системы  
Fig. 3. Grouping of indicators for improving the irrigation and drainage system



Рис. 4. Группировка показателей совершенствования агролесомелиоративной системы  
Fig. 4. Grouping indicators for improving the agroforestry system

Технологический уровень системы отражают наилучшие доступные технологии (НДТ), под которыми, согласно ГОСТ Р 56828.15-2016<sup>3</sup>, понимают «производство продукции (товаров), выполнение работ, оказание услуг, определяемые на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения». Агроресурсный потенциал проявляется в виде ресурсно-производящей способности гидромелиоративной системы для организации производственного процесса, определяясь особенностями климата (радиационный баланс, осадки), почв (запасы гумуса, NPK, pH), вод (орошение, осушение), при сохранении флоры и фауны.

Влагообеспеченность, солнечная радиация и переходные полосы от агроценозов к естественным биоценозам (сохраненные и созданные лесные насаждения, кустарниковые и травянистые сообщества, болота) должны определять не только тепловой и водный баланс, но и биоразнообразие, биопродуктивность диких растений и животных, почвообразовательные и другие природные процессы.

Управляемость системы обеспечивают технические средства для сбора и обработки, передачи информации и реализации управляющих решений (диспетчеризация, автоматика и телемеханика, водомерные посты и наблюдательные скважины, дороги и транспортные средства), а также производственные здания. При этом соблюдаются должные условия труда и быта (культурно-бытовые, служебные, производственные помещения и здания).

<sup>3</sup> ГОСТ Р 56828.15-2016. Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. 2017. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140738> (дата обращения: 01.04.2022).



Необходимый уровень совершенствования гидромелиоративной системы сохраняется в течение заданного периода времени при обеспечении экологической безопасности гидромелиораций, поддержании их технического и технологического уровня, мобилизации агроресурсного потенциала и интеллектуального уровня автоматизированного управления.

В структурно-функциональной группировке показателей совершенствования агролесомелиоративных (инженерно-биологических) систем (см. рис. 4) предусмотрена фигура помощника, отображающая территориальную организацию системы, которую определяет размещение основных (ведущих) элементов – МЛН поперек направлений линий поверхностного стока (противоэрозионная и водоохранная системы) или поперек направления суховейных и дефляционно-опасных ветров (поле- и пастбищезащитная системы). Это предполагает и соответствующую ориентацию ведомых элементов – агролесомелиоративных мероприятий.

Достоинства территориальной организации в полной мере проявляются по мере роста и развития МЛН, когда агроландшафт постепенно «привыкает» к системе, а последняя «притирается» к агроландшафту.

Рис. 4 представляет еще три группы показателей совершенствования: содействие природоподобию системы, гармония элементов системы, потенциал системы.

Природоподобие агролесомелиоративной системы обеспечивается МЛН, которые естественным образом формируют благоприятные условия для возделываемых культур, а также содействуют образованию экологических ниш и путей миграции для диких растений и животных на аграрных территориях. МЛН – это природоподобные объекты, обладающие мелиоративным воздействием на агроландшафты, которое усиливается за счет регулирования ветропроницаемости или фитонасыщенности, стокорегулирующей способности, продуктивности и другого. Поэтому основным показателем природоподобия выступает облесенность территории – выраженное в процентах отношение площади лесных насаждений к общей площади и облесенность пашни – отношение площади полезащитных и стокорегулирующих лесных полос к площади пашни.

Дополнительным средством природоподобия служат биотические агролесомелиоративные мероприятия: бобово-злаковое травосеяние, полосное размещение многолетних трав и других культур, сидерация, выращивание кулис из высокостебельных растений и др. Эти мероприятия поддерживают естественное плодородие почвы (водопрочная структура, гумусовый баланс, азотный фонд), увеличивают продуктивность севооборотов. При этом создаются условия для подавления сорняков, гибели вредителей сельскохозяйственных культур и патогенной микрофлоры.

Гармония элементов системы базируется на оптимальном соотношении между лесом, пашней, лугом и водной поверхностью в земледельческих регионах (идея В.В. Докучаева [Докучаев, 1892]). При этом пашня дестабилизирует гармонию, а сенокосы, пастбища и леса – стабилизируют. Открытая водная поверхность гармонизирует агроландшафт за счет внутреннего влагооборота, повышения относительной влажности воздуха, улучшения других характеристик микроклимата, поддержания запасов грунтовых вод. Гармония (согласованность) разнородностей леса, пашни и луга достигается сообразно почвенно-климатическим условиям и потребностям агроценозов с целью получения необходимой продукции при сохранении почвенного плодородия и охране окружающей (природной) среды. При этом особое значение приобретает динамический показатель защитной лесистости пашни (выраженное в процентах отношение суммарной площади зон мелиоративного влияния МЛН к площади пашни). Динамика этого показателя определяется зависимостью протяженности зон мелиоративного воздействия МЛН от изменений их высоты и фитонасыщенности или ветропроницаемости, а также от варьирования погодных условий и пестроты почвенного плодородия, технологий выращивания сельскохозяйственных культур на межполосных полях.

Агролесомелиоративные мероприятия соответствуют условиям межполосных полей, когда продукционные возможности агроценозов в ответственные фазы вегетации совпа-

дают с благоприятной обстановкой агросреды на каждом межполосном поле, т. е. создаются условия мелиоративного резонанса, определяющего выход повышенного объема качественной продукции. МЛН выращивают при совмещении традиционных и новейших технологий агролесомелиорации (посадка, уход за почвой, дополнение лесных культур, рубки ухода, реконструкции, восстановления и др.).

Высоту и ветропроницаемость (фитонасыщенность) МЛН во многом определяет ассортимент древесных пород (главные, сопутствующие, кустарники), который подбирают на основе агролесомелиоративного районирования. При этом породы должны отличаться быстротой роста, долговечностью, устойчивостью к болезням и вредителям, ценностью древесины, возможностью получения побочной продукции (орехи, плоды и др.).

Кроме ассортимента имеет значение выбор схем смешения и размещения на основе характера взаимодействия (биофизика, биотрофика, биохимия) между главными и сопутствующими породами. С учетом биофизики смешение и размещение древесных видов основаны на скорости их роста, долговечности, требовательности к свету, строения крон и корневой системы. Смешение с учетом биотрофики основано на подборе сопутствующих лесных пород, которые влияют на плодородие почв (за счет опада и корневых выделений) и рост главных пород. Биохимия (аллелопатия) воздействия на главные породы основывается на подборе сопутствующих пород-активаторов, которые своими фитонцидами стимулируют жизненные процессы. При этом исключаются породы-ингибиторы, подавляющие жизненные процессы.

Согласованность применяемых агролесомелиоративных мероприятий с условиями аграрной среды приводит к проявлению новых функций системы: возможность мелиоративного перекрытия межполосных расстояний с достижением лесными насаждениями проектной высоты; повышенная работоспособность ПГТС (распылители стока, валы, валы-каналы и др.), когда уменьшаются темпы их заиливания и повышается стокорегулирующая способность. Это происходит при размещении ПГТС по нижним опушкам стокорегулирующих, прибалочных и приовражных лесных полос. Работоспособность валов с широкими основаниями повышается на полях между лесными полосами, а на балочных склонах лесные насаждения по площадкам, напашным или ступенчатым террасам усиливают свою эффективность. На днищах балок и оврагов с этой целью размещают донные запруды среди насаждений-илофильтров.

Потенциал агролесомелиоративной системы в полной мере реализуется при сочетании регулярности составляющих элементов (например, МЛН и ПГТС) с периодичностью их применения (например, агролесомелиоративные мероприятия), отсутствии промежуточных хозяев для болезней и вредителей лесных и сельскохозяйственных культур, соответствии их потребностей условиям межполосных полей или пастбищ в ответственные фазы вегетации. При этом предоставляются возможности подбора соответствующих сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

Все это в полной мере способствует проявлению у агролесомелиоративных систем мелиоративных (снегораспределение, плодородие почв, микроклимат, соляная и ветровая тень, выпадение чуждых древесных видов, урожай), почвозащитных (противоэрозийные, противодефляционные), водоохраных (регулирование стока, предотвращение абразии, сокращение испарения с водной поверхности, биологический дренаж и др.), пастбищезащитных (продуктивность пастбищ, защита скота от неблагоприятных погодных условий и др.) и глобальных (продуцирование кислорода, депонирование атмосферного углерода) функций.

Проявление этих функций способствует формированию новых фаций, урочищ и ландшафтных местностей, усилению градиентов факторов среды по опушкам насаждений (с контактными, фильтрационно-барьерными и опушечными функциями мезоэкотонов), преобразованию свойств и направлений ландшафтно-геохимических потоков, изменению водного баланса территории, вещественно-энергетического выноса и аккумуляции вещества и энергии, концентрации или рассеиванию информации.



## Заключение

Мероприятия гидромелиорации, агролесомелиорации, культуртехнической мелиорации, работы по улучшению химических и физических свойств почв и др., объединяясь, образуют различные мелиоративные комплексы, среди которых наиболее распространены гидромелиоративные и агролесомелиоративные системы. Гидромелиоративные системы, кроме технических, могут включать биологические элементы (например, мелиоративные лесные полосы или буферные полосы многолетних трав), агролесомелиоративные системы кроме биологических (мелиоративные лесные насаждения) могут включать технические элементы (например, ПГТС). Эти элементы могут образовывать подсистемы (суб-подсистемы) гидромелиоративных или агролесомелиоративных систем.

Внедрение в практику доступных технологий не приводит к идеальным гидромелиоративным или агролесомелиоративным системам. Поэтому определены основные направления их совершенствования: структура систем, гидромелиоративные и лесохозяйственные технологии, адаптивность к факторам среды, экологическая безопасность.

Ведущим направлением совершенствования является совокупность компонентов и связей между ними (структура системы). В гидромелиоративных системах структуру поддерживают отношения взаимосвязанности компонентов (подсистем, элементов), в агролесомелиоративных системах – отношения вложенности подсистем младшего уровня в старший уровень.

Анализ направлений позволил представить структурно-функциональную группировку показателей совершенствования мелиоративных систем. Для гидромелиоративных систем эта группировка представлена: экологической безопасностью, техническим и технологическим уровнем системы, агроресурсным потенциалом и управляемостью.

Экологическая безопасность повышается при соответствии технических и технологических решений определенным ограничениям, сохранении оптимального пищевого, солевого и водно-воздушного режима, очистке и утилизации коллекторно-дренажного стока, предотвращении заболачивания, засоления, осолонцевания, содообразования, загрязнения почв тяжелыми металлами, нефтепродуктами и ядохимикатами, сокращении водной эрозии, сохранении биоты, экологизации технических элементов.

Технический уровень системы характеризует степень приближения показателей технического качества (работоспособность, надежность, точность, ремонтпригодность и др.) к соответствующим базовым показателям. Технологический уровень системы отражают НДТ.

Ресурсно-производящая способность гидромелиоративной системы определяет ее агроресурсный потенциал через показатели климата (радиационный баланс, осадки и др.), почв (запасы гумуса, NPK, pH), вод (орошение, осушение), биоты (биоразнообразие, биопродуктивность, общие запасы биомассы).

Управляемость системы обеспечивают диспетчеризация, автоматика и телемеханика, водомерные посты и наблюдательные скважины, дороги и транспортные средства, а также - производственные и другие здания, лесные насаждения.

Для агролесомелиоративной системы показатели совершенствования сгруппированы следующим образом: территориальная организация системы, содействие природоподобию, гармония элементов, потенциал.

Территориальную организацию определяет размещение основных (ведущих) элементов – МЛН поперек направлений линий поверхностного стока (противоэрозионная и водоохранная системы) или поперек направления суховейных и дефляционно опасных ветров (поле- и пастбищезащитная системы). Это предполагает и соответствующую ориентацию ведомых элементов – агролесомелиоративных мероприятий.

Основными показателями природоподобия выступают облесенность территории и пашни. МЛН (полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и приовражные, пастби-

щезащитные лесные полосы, овражно-балочные, пойменные, мелиоративно-кормовые и другие лесные насаждения) являются основными средствами природоподобия, совершенствование которых приводит к улучшению эродированных, дефлированных, эрозионно и дефляционно опасных, подверженных опустыниванию и засухам, техногенно-загрязненных и утративших естественное плодородие сельскохозяйственных угодий.

Дополнительными средствами природоподобия выступают биотические агрономелиоративные мероприятия: бобово-злаковое травосеяние, полосное размещение многолетних трав и других культур, сидерация, выращивание кулис из высокостебельных растений и др. Эти мероприятия поддерживают естественное плодородие почв (водопрочная структура, гумусовый баланс, азотный фонд) и защищают их от эрозии, увеличивают продуктивность севооборотов. При этом создаются условия для подавления сорняков, выпадения чуждых видов, гибели вредителей сельскохозяйственных культур и патогенной микрофлоры.

Гармония (согласованность) разнородностей леса, пашни и луга наилучшим образом проявляется в почвенно-климатических условиях, которые в ответственные фазы вегетации соответствуют потребностям агроценозов. При этом получение необходимой продукции сопровождается сохранением почвенного плодородия и окружающей (природной) среды. Особое значение приобретает динамический показатель защитной лесистости пашни (выраженное в процентах отношение суммарной площади зон мелиоративного влияния МЛН к площади пашни).

Потенциал агролесомелиоративной системы реализуется при проявлении мелиоративных (снегозадержание и снегораспределение, плодородие почв, микроклимат, солярная и ветровая тень, урожайность культур), почвозащитных (противоэрозионные, противодефляционные), водоохранных (регулирование стока, предотвращение абразии, сокращение испарения с водной поверхности, биологический дренаж и др.), пастбищезащитных (продуктивность пастбищ, защита скота от неблагоприятных погодных условий и др.) и глобальных (продуцирование кислорода, депонирование атмосферного углерода) функций.

При этом формируются новые фации, урочища и ландшафтные местности, усиливаются градиенты факторов среды по опушкам насаждений (с контактными, фильтрационно-барьерными и опушечными функциями мезоэкотонов), преобразуются свойства и направления ландшафтно-геохимических потоков, изменяется водный баланс территории, вещественно-энергетический вынос и аккумуляция вещества и энергии, концентрация или рассеивание информации.

Таким образом, представлена система взглядов, раскрывающая логико-теоретические представления о совершенствовании гидромелиоративных и агролесомелиоративных систем. Практическая применимость предложенной концепции целесообразна в степных сельскохозяйственных регионах, где широко распространены системы гидромелиорации и агролесомелиорации.

### Список литературы

- Александровская Л.А. 2018. Особенности рационализации использования природных ресурсов в рамках агрономелиоративных систем. Экономика и экология территориальных образований, 2(3): 65–72. DOI: 10.23947/2413-1474-2018-2-3-65-72.
- Ахтямов А.Г., Вавин В.С., Тунякин В.Д. 2016. Защитные насаждения на пашне и проблемы их содержания. Международный научно-исследовательский журнал, 11-5(53): 10–13. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.005.
- Бадмаева С.Э., Макушкин К.В. 2010. Экологическая оценка орошаемых черноземов юга Средней Сибири. В кн.: Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Архангельск, 14-16 сентября 2010 г. Архангельск: Из-во КИРА: 228–231.
- Докучаев В.В. 1892 (2016). Наши степи прежде и теперь [Электронный ресурс]: изд. в пользу пострадавших от неурожая. - СПб. - 128 с. <https://elib.rgo.ru/handle/123456789/218663>



- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, 3(39): 68–82. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82.
- Ивонин В.М. 2021. Мелиорация земель как научная дисциплина. *Мелиорация и гидротехника*, 11(3): 140–162. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162.
- Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. 2021. Ландшафтная агролесомелиорация. *Мелиорация и гидротехника*, 11(3): 54–77. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77.
- Ивонин В.М. 2022. Мелиоративные системы: основы общей теории. *Мелиорация и гидротехника*, 12(1): 119–140. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140.
- Карпенко Н.П. 2016. Основные пути повышения экологической безопасности функционирования оросительных систем нового поколения. *Природопользование*, 3: 97–103.
- Кирейчева Л.В. 2017. Экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем. *Природообустройство*, 5: 70–74.
- Кокин А.В., Кокин А.А. 2020. Природоподобные технологии и сбалансированное природопользование в условиях современной экономики. *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки*, 1: 131–136. DOI: 10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136.
- Краснощеков В.Н., Ольгаренко Д.Г. 2016. Модернизация мелиоративных систем как главный фактор обеспечения продовольственной и экологической безопасности страны. *Природообустройство*, 4: 51–57.
- Лытов М.Н., Бородычев В.В. 2019. Функциональная технологическая модель оросительной системы. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*, 1(53): 327–334. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-43.
- Напрасников А.Т. 2018. Геоинформационная и цифровая мелиорация: методический аспект. *Успехи современного естествознания*, 7: 209–214.
- Свиридов Л.Т., Синельников А.В. 2015. Многоцелевое использование и воспроизводство защитных лесных насаждений центральной лесостепи и юга России. *Международный журнал экспериментального образования*, 5–1: 72–74.
- Сучков Д.К. 2018. Методы и технологии создания полезащитных лесных полос. *Научно-агрономический журнал*, 2(103): 51–53.
- Щедрин В.Н., Васильев С.М. 2017. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК. В кн.: *Стратегические направления развития АПК стран СНГ. Материалы XVI Международной научно-практической конференции*, Барнаул, 27–28 февраля 2017. Краснообск, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Т. 2: 167–169.
- Щедрин В.Н., Колганов А.В., Чураев А.А. 2012. Подходы к определению технического уровня мелиоративных систем и обоснование поколений их развития. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, 3(7): 28–51.
- Цветков В.Я. 2015. Решение проблем с использованием системного анализа. *Перспективы науки и образования*, 1(13): 50–55.
- Hieronymi A. 2013. Understanding Systems Science: A Visual and Integrative Approach. *Systems Research and Behavioral Science*, 30(5): 580–595. DOI: 10.1002/sres.2215.
- Ismaila K., Olatunji O. 2019. Smart Irrigation: An ICT Application in Agriculture. *International Journal of Engineering Science*, 8(3–1): 53–58. DOI: 10.9790/1813-0803015358.
- Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Kylvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M.E., Wittmer H. 2016. The Science, Policy and Practice of Nature-Based Solutions: An Interdisciplinary Perspective. *Science of the Total Environment*, 579: 1215–1227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106.
- Gurovich L., Oyarce P. 2015. New Approaches to Agricultural Land Drainage: A Review. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 4(2): 1000135. DOI: 10.4172/2168-9768.1000135.
- Romero R., Muriel J.L., García I., Muñoz de la Peña D. 2012. Research on Automatic Irrigation Control: State of the Art and Recent Results. *Agricultural Water Management*, 114: 59–66. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.06.026.
- Simelton E., Carew-Reid J., Coulier M., Damen B., Howell J., Pottinger-Glass C., Tran H.V., Van Der Meiren M. 2021. NBS Framework for Agricultural Landscapes. *Frontiers in Environmental*

Science, 9: 678367. DOI: 10.3389/fenvs.2021.678367.

Velasco-Muñoz J., Aznar-Sánchez J.A., Batlles de la Fuente A., Fidelibus M.D. 2019. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water*, 11(9): 1758. DOI: 10.3390/w11091758.

## References

- Aleksandrovskaya L.A. 2018. Features of Rationalizing the Use of Natural Resources within the Framework of Agro-Reclamation Systems. *Economy and ecology of territorial formations*, 2(3): 65–72 (in Russian). DOI: 10.23947/2413-1474-2018-2-3-65-72.
- Ahtyamov A.G., Vavin V.S., Tunyakin V.D. 2016. Protective Plantings on Arable Land and Problems of Their Maintenance. *International Research Journal*, 11-5(53): 10–13 (in Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.005.
- Badmaeva S.E., Makushkin K.V. 2010. *Ekologicheskaya ocenka oroshaemih chernozemov yuga Srednei Sibiri* [Ecological assessment of irrigated chernozems in the south of Central Siberia]. In: *Genezis, geografiya, klassifikaciya pochv i ocenka pochvennih resursov* [Genesis, geography, classification of soils and assessment of soil resources]. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Arhangelsk, 14-16 sentyabrya 2010 g. Arhangelsk: Iz-vo KIRA: 228–231.
- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. *Nauchnii jurnal Rossiiskogo NII problem melioracii*, 3(39): 68–82 (in Russian). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82.
- Ivonin V.M. 2021. Land Reclamation as a Branch of Science. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 11(3): 140–162 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-140-162.
- Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V. 2021. Landscape Agroforestry Reclamation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 11(3): 54–77 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77.
- Ivonin V.M. 2022. Land Reclamation, Recultivation and Land Protection. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 12(1): 119–140 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140.
- Karpenko N.P. 2016. Main Ways of Improving Environmental Safety of Functioning of Irrigation Systems of a New Generation. *Nature Management*, 3: 97–103 (in Russian).
- Kireicheva L.V. 2017. Ecological Principles of Creation of Advanced Land Reclamation Systems. *Nature Management*, 5: 70–74 (in Russian).
- Kokin A.V., Kokin A.A. 2020. Nature-Like Technologies and Balanced Nature Management in the Modern Economy. *Gosudarstvennoe i municipalnoe upravlenie. State and municipal administration. Scholarly notes*, 1: 131–136 (in Russian). DOI: 10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136.
- Krasnoschekov V.N., Olgarenko D.G. 2016. Modernization of Land Reclamation Systems as the Main Factor of Providing Food and Ecological Security of the Country. *Nature Management*, 4: 51–57 (in Russian).
- Lytov M.N., Borodichev V.V. 2019. Functional-Technological Model of Irrigation System. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*, 1(53): 327–334 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2019-01-43.
- Naprasnikov A.T. 2018. Geoinformation-Based and Digital Reclamation: Methodological Aspects. *Advances in current natural sciences*, 7: 209–214 (in Russian).
- Sviridov L.T., Sinelnikov A.V. 2015. *Mnogocelevoe ispolzovanie i vosproizvodstvo zaschitnih lesnih nasajdenii centralnoi lesostepi i yuga Rossii* [Multi-purpose use and reproduction of protective forest plantations in the central forest-steppe and southern Russia]. *Mejdunarodnii jurnal eksperimentalnogo obrazovaniya*, 5–1: 72–74.
- Suchkov D.K. 2018. *Metodi i tehnologii sozdaniya polezaschitnih lesnih polos* [Methods and technologies for creating field-protective forest belts]. *Nauchno-agronomicheskii jurnal*, 2(103): 51–53.
- Schedrin V.N., Vasilev S.M. 2017. *Strategicheskie napravleniya razvitiya meliorativnogo sektora v APK* [Strategic directions for the development of the ameliorative sector in the agro-industrial complex]. In: *Strategic directions for the development of the agro-industrial complex of the CIS countries* [Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG]. Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference, 27–28 February 2017, Barnaul. Krasnoobsk, Publ. Sibirskiy federalnyy nauchnyy tsentr agrobiotekhnologiy Rossiyskoy akademii nauk, Vol. 2: 167–169.





- Schedrin V.N., Kolganov A.V., Churaev A.A. 2012. Approaches to Determining the Technical Level of Meliorative Systems and Justification of Generations of Their Development. *Nauchnii jurnal Rossiiskogo NII problem melioracii*, 3(7): 28–51 (in Russian).
- Tsvetkov V.Ya. 2015. Solving Problems Using a Systematic Analysis. *Perspectives of Science and Education*, 1(13): 50–55 (in Russian).
- Hieronymi A. 2013. Understanding Systems Science: A Visual and Integrative Approach. *Systems Research and Behavioral Science*, 30(5): 580–595. DOI: 10.1002/sres.2215.
- Ismaila K., Olatunji O. 2019. Smart Irrigation: An ICT Application in Agriculture. *International Journal of Engineering Science*, 8(3–1): 53–58. DOI: 10.9790/1813-0803015358.
- Nesshöver C., Assmuth T., Irvine K.N., Rusch G.M., Waylen K.A., Delbaere B., Haase D., Jones-Walters L., Keune H., Kovacs E., Krauze K., Külvik M., Rey F., van Dijk J., Vistad O.I., Wilkinson M.E., Wittmer H. 2016. The Science, Policy and Practice of Nature-Based Solutions: An Interdisciplinary Perspective. *Science of the Total Environment*, 579: 1215–1227. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.11.106.
- Gurovich L., Oyarce P. 2015. New Approaches to Agricultural Land Drainage: A Review. *Irrigation & Drainage Systems Engineering*, 4(2): 1000135. DOI: 10.4172/2168-9768.1000135.
- Romero R., Muriel J.L., García I., Muñoz de la Peña D. 2012. Research on Automatic Irrigation Control: State of the Art and Recent Results. *Agricultural Water Management*, 114: 59–66. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.06.026.
- Simelton E., Carew-Reid J., Coulier M., Damen B., Howell J., Pottinger-Glass C., Tran H.V., Van Der Meiren M. 2021. NBS Framework for Agricultural Landscapes. *Frontiers in Environmental Science*, 9: 678367. DOI: 10.3389/fenvs.2021.678367.
- Velasco-Muñoz J., Aznar-Sánchez J.A., Batlles de la Fuente A., Fidelibus M.D. 2019. Sustainable Irrigation in Agriculture: An Analysis of Global Research. *Water*, 11(9): 1758. DOI: 10.3390/w11091758.

*Поступила в редакцию 31.05.2022;  
поступила после рецензирования 20.06.2022;  
принята к публикации 15.07.2022*

*Received May 31, 2022;  
Revised June 20, 2022;  
Accepted July 15, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Ивонин Владимир Михайлович**, профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

#### INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Vladimir M. Ivonin**, Professor of the Department of Forestry and Forest Reclamation of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

УДК 528.7:528.8:504.03:624.131.1  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-339-355

## Применение технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения геотехнического мониторинга и картографирования на трубопроводном транспорте

<sup>1</sup> Долгополов Д.В., <sup>2</sup> Мелкий В.А., <sup>3</sup> Баборыкин М.Ю.

<sup>1</sup> ЗАО «Ай Ко»,

Россия, 109004, г. Москва, Большой Дровяной пер., 8 стр. 1

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН,

Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б

<sup>3</sup> АНО ВО «Университет Иннополис»,

Россия, 420500, Респ. Татарстан, г. Иннополис, ул. Университетская,

E-mail: d-daniil@yandex.ru; vamelkiy@mail.ru; baborykin.my@yandex.ru

**Аннотация.** В настоящее время использование средств дистанционных исследований территорий получает все большее распространение, особенно в связи с развитием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и технологии воздушного лазерного сканирования (ВЛС). Доступность и эффективность технологий аэрокосмических исследований позволяет использовать их во многих направлениях деятельности компаний, занимающихся транспортировкой газа или нефтепродуктов. Это и информационное обеспечение промышленной и экологической безопасности, задачи безопасности и охраны объектов трубопроводного транспорта, а также задачи, связанные с геотехническим мониторингом природно-технической среды трубопроводных систем. Такие исследования особенно важны в случаях, когда трубопровод проходит в сложных природно-климатических условиях. Мониторинг текущего состояния трубопровода и контроль динамики опасных геологических процессов (ОГП) – наиболее важные задачи геотехнического мониторинга. Сразу после завершения строительства с началом эксплуатации трубопроводная система оказывает существенное влияние на динамику природных процессов в коридоре трассы, в свою очередь и природные процессы оказывают свое влияние на трубопроводы. Поэтому при организации мониторинга необходимо руководствоваться принципом системности: учитывать все изменения взаимодействующих и изменяющихся во времени компонентов природно-технической среды трубопроводного транспорта. Комплекс разнородных средств наблюдений, собирающий данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), используют для информационного обеспечения решения задач трубопроводного транспорта, которое при необходимости дополняется полевыми геодезическими изысканиями. При выборе комплекса технических средств руководствуются принципом разумной достаточности: выбирают технологии таким образом, чтобы затраты на изыскания были минимальными для обеспечения соответствия требованиям к результатам работ. В статье рассматриваются возможности использования технологий дистанционного зондирования для дополнения результатов классических геодезических измерений при геотехническом мониторинге трубопроводов, проходящих по территориям со сложными природно-климатическими условиями. Рассмотрены нормативные требования к производству работ по геотехническому мониторингу и предложены технические решения по информационному обеспечению данными ДЗЗ с необходимой точностью.

**Ключевые слова:** трубопровод, беспилотные летательные аппараты, воздушное лазерное сканирование, космическая съемка, аэрофотосъемка, точность измерений, опасные природные процессы

**Для цитирования:** Долгополов Д.В., Мелкий В.А., Баборыкин М.Ю. 2022. Применение технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения геотехнического мониторинга и картографирования на трубопроводном транспорте. Региональные геосистемы, 46(3): 339–355. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-339-355



## The Use of Earth Remote Sensing Technologies to Provide Geotechnical Monitoring and Mapping in Pipeline Transport

<sup>1</sup> Daniil V. Dolgoplov, <sup>2</sup> Vyacheslav A. Melkiy, <sup>3</sup> Maxim Yu. Baborykin

<sup>1</sup> CJSC "Ai Co"

8 p. 1 Bolshoy Drovyanoy lane, Moscow 109004, Russia

<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,  
1B Nauki St, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia

<sup>3</sup> Autonomous Non-profit Organization "University of Innopolis",  
1 Universitetskaya St, Innopolis, Kazan 420500, Russia

E-mail: d-daniil@yandex.ru; vamelkiy@mail.ru; baborykin.my@yandex.ru

**Abstract.** The means of remote sensing of the Earth are being used more and more often for research of territories, especially, in connection with the development of unmanned aerial vehicles (UAV) and aerial laser scanning (ALS) technology, at the present time. Aerospace research technologies have such qualities as accessibility and efficiency, which allows them to be used in many areas of activity of companies, engaged in the transportation of gas or petroleum products. Technologies of remote sensing of the Earth are used for information support of industrial and environmental safety, solving problems of safety and protection of pipeline transport facilities, as well as tasks related to geotechnical monitoring of the natural and technical environment of pipeline systems. Such researches play particularly important role in cases when the pipeline passes under difficult natural and climatic conditions. Monitoring the current state of the pipeline and monitoring the dynamics of hazardous geological processes are the most significant tasks of geotechnical monitoring. The system has a significant impact on the dynamics of natural processes in the corridor of the route immediately after completion of construction, at the initial stage of operation of the pipeline; in its turn, natural processes have their effect on pipelines. Therefore, when organizing monitoring, it is necessary to be guided by the principle of consistency: to take into account all changes, interacting and time-varying components of the natural and technical environment of pipeline transport. A complex of heterogeneous means of observation, collecting data of remote sensing of the Earth, is used for information support of solving problems of pipeline transport, which, if necessary, is supplemented by field geodetic surveys. When choosing a set of technical means, they are guided by the principle of reasonable sufficiency: they choose technologies in such a way that the costs of research are minimal to ensure compliance with the requirements for the results of work. The possibilities of using remote sensing technologies to supplement the results of classical geodetic measurements during geotechnical monitoring of pipelines passing through territories with difficult natural and climatic conditions are discussed in the article. Regulatory requirements for the production of geotechnical monitoring works have been defined; technical solutions for the information provision of remote sensing data with the necessary accuracy have been proposed.

**Keywords:** pipeline, unmanned aerial vehicles, aerial laser scanning, satellite photography, aerial photography, measurement accuracy, dangerous natural processes

**For citation:** Dolgoplov D.V., Melkiy V.A., Baborykin M.Yu. 2022. The Use of Earth Remote Sensing Technologies to Provide Geotechnical Monitoring and Mapping in Pipeline Transport. Regional Geosystems, 46(3): 339–355 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-339-355

---

### Введение

Выявление значительных изменений напряженно-деформированного состояния протяженных линейных сооружений возможно путем инструментальных измерений или анализа высокоточной аэрокосмической информации, которые используются при выполнении системного мониторинга технического состояния сооружений (геотехнического мониторинга). Среди линейных сооружений особое место занимают трубопроводные системы. При строительстве и эксплуатации трубопроводных магистралей оказывается су-

щественное воздействие на окружающую среду: нарушение почвенного покрова, разогрев грунтов от поверхности трубы при перекачке углеводородов, давление при деформациях линейного расширения или изгиба. Трубопроводы в свою очередь подвергаются негативному влиянию неблагоприятных процессов, как литосферных, так и гидрометеорологических. Геолого-геоморфологическим исследованиям рельефообразующих процессов, гидрологическим наблюдениям, анализу метеорологических явлений и изменений климатических условий уделяется большое внимание при инженерных изысканиях, а также при проведении геотехнического мониторинга [Зяцькова, 2004; Dekavalla, 2019; Мячина и др., 2020; Metternicht et al., 2020; Singhroy, 2020; Tarolli, Mudd, 2020; Yermolaev et al., 2021].

Геоинформационные технологии дают возможность использовать интегрированные информационные системы при организации комплексного геотехнического мониторинга, позволяющего вести наблюдение, осуществлять сбор информации, обработку и визуализацию данных, производить обобщение и выявление трендов протекающих процессов для прогноза их динамики и принятия управленческих решений [Цветков, 2012]. Развитие съемочных технологий с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и воздушного лазерного сканирования (ВЛС) позволяет создать трехмерные модели, обеспечивает доступность и эффективность мониторинга и высокоточного картографирования протяженных линейных объектов (рис. 1). Геоданные систематизируются на основе пространственно-временной информации [Craglia et al., 2017; Galton, 2017; Савиных, 2018; Guo, 2018; Di Maio et al., 2018; Guan et al., 2020]. Представление знаний в рамках искусственного интеллекта используется в символической форме, чтобы их можно было хранить и обрабатывать на компьютере. Пространственно-временные данные, предназначенные для выявления небольших деформаций при геотехническом мониторинге, должны обеспечиваться высокоточными измерениями [Аврунев и др., 2020]. Необходимая точность измерений определяется соответствующими производственными задачами. В статье приводится описание методов геотехнического мониторинга систем трубопроводного транспорта и требований к их проведению, как содержащихся в нормативных документах, так и научно обоснованных в процессе проведенного исследования.



Рис. 1. Трехмерная цифровая модель, построенная по данным ВЛС и космического снимка  
Fig. 1. Three-dimensional digital model built according to ALS data and a satellite image



### Объекты и методы исследования

При организации аэрокосмических исследований необходимо проанализировать производственные задачи, требования нормативной документации и с учетом этих требований подобрать технологию проведения работ, которая обеспечит необходимый результат с минимальными затратами.

В настоящем исследовании мы рассмотрели несколько наиболее распространенных производственных задач, возникающих в процессе геотехнического мониторинга трубопроводных систем и которые могут быть эффективно решены с использованием современных технологий дистанционного зондирования Земли [Маркелов, Цветков, 2015]. В качестве материала для исследования использовались нормативные документы [ГОСТ 31385–2016; РД 03-606-03; РД-23.040.00-КТН-0034-20; СП 365.1325800.2017; СП 22.13330; СП 305.1325800; СП 25.13330; ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02], публикации из открытых источников [Карпик и др., 2014; Аникаева, Мартюшев, 2020; Долгополов, 2020; Долгополов и др., 2019; 2020; 2021; 2022], а также результаты исследований природно-технической среды трубопровода, полученные различными средствами при мониторинге магистрального трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» [Баборыкин, 2017; Аврунев и др., 2020].

Для обоснования необходимой точности измерений при использовании технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения геотехнического мониторинга на трубопроводном транспорте анализировались материалы аэрофотосъемки (АФС) с беспилотных летательных аппаратов, которые при помощи методов фотограмметрической обработки использовались для получения трехмерных цифровых моделей в едином информационном пространстве отраслевой ГИС. Данные цифровой аэрофотосъемки были дополнены данными воздушного лазерного сканирования, для получения более точной цифровой модели местности, кроме того, проведено ее сравнение с проектными данными.

### Результаты и их обсуждение

В существующей нормативной документации не всегда рекомендуется использование средств аэромониторинга. Вместе с тем уровень технических средств, их доступность и разработанное программное обеспечение позволяет успешно решать задачи мониторинга именно с использованием средств дистанционного зондирования, дополняя и, в какой-то части, замещая классические геодезические методы измерений.

Для существенной части задач мониторинга объектов, занимающих большое пространство (см. рис. 1), предпочтительными являются данные космической съемки, а для протяженных объектов – АФС, в том числе с использованием БПЛА [Yang et al., 2017; Rossi et al., 2018; Мажитова и др., 2020; Elmeseiry et al., 2021; Hodgson, Piovan, 2021]. Помимо этого, следует отметить большие перспективы применения технологий ВЛС [Долгополов, 2021], эффективность которых будет возрастать с развитием средств автоматизированной обработки материалов сканирования территорий.

Рассматривая задачи, которые решаются с помощью геотехнического мониторинга, можно выделить следующие основные виды работ:

- мониторинг состояния объектов инфраструктуры (трубопроводов и резервуаров);
- мониторинг процессов строительства и реконструкции;
- выявление и мониторинг ОГП в коридоре трассы;
- мониторинг береговых участков подводных переходов магистральных трубопроводов;
- построение карт смещений земной поверхности средствами радарной интерферометрии.

Технологии дистанционного зондирования в задачах геотехнического мониторинга приходят на смену классическим методам и должны обеспечивать решение производственных задач (табл. 1). А нормативная документация (ГОСТ, РД, СП и др.), используемая на предприятиях, требует доработки в соответствии с новыми научно обоснованными методами исследования.

Таблица 1  
Table 1

Применение технологий дистанционного зондирования для решения задач  
геотехнического мониторинга магистральных нефтепроводов  
Application of remote sensing technologies for solving problems of geotechnical monitoring  
of oil trunk pipelines

Задачи мониторинга	Нормативный документ	Требования к точности	Ширина съемки	Периодичность	Методы наблюдения
1	2	3	4	5	6
Мониторинг состояния (деформации) трубопроводов	РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-17.020.00-КТН-129-18	5 мм *L (2 мм*L), где L – расстояние до реперного пункта в км	Вдоль трассы в зонах со сложными геологическими условиями	не реже 1 раза в год	ВЛС с использованием устройств определения высоты (УОВ), при подземной прокладке трассы в комплексе с высокоточными геодезическими методами контроля положения марок на объектах инфраструктуры и НЛС
Мониторинг состояния (деформации) резервуаров	ГОСТ 31385-2016; СП 365.1325800.2017; РД 03-606-2003	До 5 мм	Резервуарные парки	1–2 раза в год	Наземное лазерное сканирование
Регулярный мониторинг строительных и ремонтных работ	СП 305.1325800; СП 22.13330; СП 25.13330	До 5 см	На территорию строительства	Регулярный мониторинг не реже 1 раза в месяц	Цифровая АФС и методы фотограмметрической обработки в комплексе с геодезическими методами или ВЛС совместно с цифровой АФС в комплексе с геодезическими методами
Выявление и мониторинг ОПП: эрозия, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозия, солифлюкция и др. Картографирование в масштабе 1: 500	РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-91.200.00-КТН-005-15; ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1: 5 000, 1: 2 000, 1:1 000 и 1: 500	Средние погрешности положения объектов дешифрирования 0,75 мм в масштабе плана или 40 см	Ширина полосы съемки и камеральной обработки данных ВЛС не менее 150 м (75 м вправо и влево от оси трубопровода)	На участках линейной части трубопровода с ММГ и ЭГП – 1 раз в год.	ВЛС совместно с цифровой АФС. Для масштаба 1: 500 характеристики съемки: разрешение фотоснимков на местности от 5–7 см; плотность точек лазерного отражения от 5–9 точек на м <sup>2</sup>



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Выявление и мониторинг ОГП: эрозия, карст, оползневые и осыпные склоновые процессы, суффозия, солифлюкция и др. Картографирование в масштабе 1: 1 000, 1:2000	РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-23.040.00-КТН-124-20; ГКИНП-02-033-82	Средние погрешности положения объектов 0,75 мм в масштабе карты, что составляет 75 см для М 1:1000 и 1,5 м для М 1:2000	Коридор трассы МТ в зоне сложных природно-климатических условий	1–2 раза в год	ВЛС совместно с цифровой АФС. Для М 1: 1000: разрешение фотоснимков на местности от 7–10 см; плотность точек лазерного отражения от 3–5 точек на м <sup>2</sup> . Для М 1: 2000: разрешение – от 10–15 см; плотность точек лазерного отражения от 2–3 точек на м <sup>2</sup>
Картографирование крупных проявлений ОГП в масштабах: 1: 5 000 и 1: 10 000	РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-23.040.00-КТН-124-20	Средние погрешности 0,75 мм в масштабе карты, что составляет 3,75 м для М 1:5000 и 7,5 м для М 1:10 000	Коридор трассы магистрального нефтепровода в зоне сложных природно-климатических условий	1–2 раза в год	Геопривязанные космические снимки с разрешением 50 см и/или материалы аэросъемки с разрешением снимков 20 см. Погрешности положения точки для АФС в М 1: 5 000 и 1: 10 000 составляют 0,4 мм на карте, что соответствует 2 и 4 м на местности
Мониторинг береговых участков подводных переходов магистральных нефтепроводов	ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02	20 см и лучше	Участок подводного перехода магистрального нефтепровода через водную преграду	1 раз в квартал и после паводка	Цифровая АФС участков подводных переходов магистрального нефтепровода через водную преграду или ВЛС, совмещенное с цифровой АФС
Построение карт смещений земной поверхности и объектов инфраструктуры	–	До 2 см	Территория мониторинга	4 раза в год (данные обновляются по сезонам года)	Методика мониторинга смещения земной поверхности по данным космической радиолокационной съемки с использованием в качестве постоянных отражателей инфраструктуры трубопроводов. Точность определения смещений 2–4 мм – первые см

Примечание: при составлении таблицы использовались данные ГОСТ, РД, СП [ГКИНП-02-033-82; ГОСТ 31385–2016; РД 03-606-03; РД-17.020.00-КТН-129-18; РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-23.040.00-КТН-124-20; СП 365.1325800.2017; СП 22.13330; СП 305.1325800; СП 25.13330; ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02]

Мониторинг состояния трубопроводов и резервуаров – ключевая задача геотехнического мониторинга. Для предприятий транспорта нефти и нефтепродуктов разработан РД-23.040.00-КТН-0034-20, устанавливающий нормативные показатели для мероприятий геотехнического мониторинга на магистральных трубопроводах, обеспечивающих транспорт нефти и нефтепродуктов [РД-23.040.00-КТН-0034-20]. Проводятся такие работы в соответствии с разработанными требованиями вдоль трассы в зонах со сложными геологическими условиями не реже 1 раза в год [РД-17.020.00-КТН-129-18]. При производстве работ на трассах с подземной прокладкой используется ВЛС с применением устройств определения высоты (УОВ) [Баборыкин, 2017]. ВЛС обычно выполняется в комплексе с высокоточными геодезическими методами, используемыми для контроля положения марок на объектах инфраструктуры, и наземным лазерным сканированием (НЛС) [ГОСТ 31385-2016; СП 365.1325800.2017; РД 03-606-2003].

Для обеспечения точности наблюдений, рекомендуется развивать сети референционных станций [Карпик и др., 2014]. Средние квадратические ошибки измерений объектов инфраструктуры должны быть не хуже точности нивелирования III класса и II класса для точек заземления трубопровода, что соответствует  $5 \text{ мм} \times L$  ( $2 \text{ мм} \times L$ ), где  $L$  – расстояние до реперного пункта в км. Мониторинг деформаций резервуаров производится 1–2 раза в год методом НЛС на всей территории резервуарных парков. В соответствии с требованиями нормативных документов точность измерений не должна превышать 5 мм [СП 365.1325800.2017].

Мониторинг строительных и ремонтных работ осуществляется регулярно не реже 1 раза в месяц с целью контроля результатов работ, сопоставления фактического выполнения с проектными решениями [СП 305.1325800; СП 22.13330; СП 25.13330]. Для съемки территории строительства используют комплексы на базе БПЛА, а затем применяют методы фотограмметрической обработки материалов съемки для получения трехмерных цифровых моделей и их сравнения с проектными данными в едином информационном пространстве отраслевых ГИС [Долгополов, 2020]. Цифровая АФС может быть проведена в комплексе с ВЛС для получения более точной цифровой модели местности (рис. 2, 3) [Антипов и др., 2012]. Цифровая АФС в комплексе с геодезическими методами и фотограмметрической обработкой [Аврунев и др., 2020; Долгополов, 2020] или ВЛС совместно с цифровой АФС в комплексе с геодезическими методами на всей территории строительных работ позволяют получить высокоточные модели местности.

Технологии выявления и мониторинга ОГП ранее уже были описаны рядом авторов [Tziavou et al., 2018; Долгополов и др., 2021; Карпик и др., 2021]. При картографировании крупных проявлений ОГП в более мелких масштабах (1: 5 000 и 1: 10 000) допустимо использовать ортофотопланы, полученные по результатам аэро-съемки или космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения (0,5 м) [РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-23.040.00-КТН-124-20; ГКИНП-02-033-82].



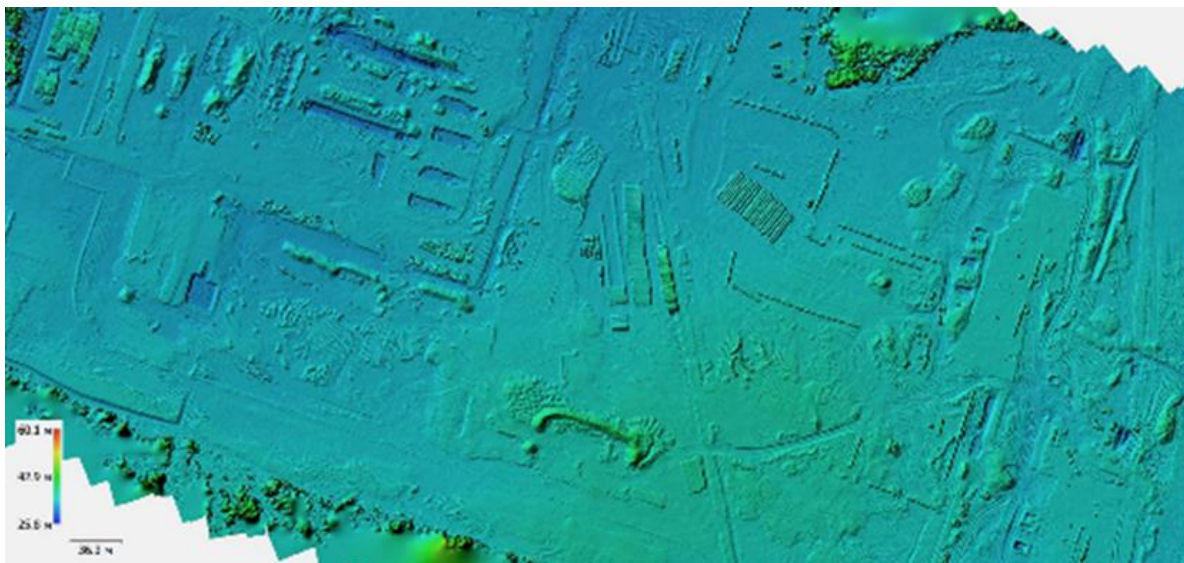


Рис. 2. Трехмерная цифровая модель участка реконструкции газораспределительной станции, построенная по данным цифровой аэрофотосъемки с использованием БПЛА

Fig. 2. Three-dimensional digital model of the reconstruction site of the gas distribution station, built according to digital aerial photography using a UAV



Рис. 3. Текстурированная цифровая модель местности участка реконструкции газораспределительной станции

Fig. 3. Textured digital terrain model of the reconstruction site gas distribution station

При выполнении работ по геотехническому мониторингу выявляют следующие экзогенные процессы, оказывающие влияние на объекты трубопровода:

- оползневые, образующиеся в зонах распространения легко выветриваемых полускальных или глинистых грунтов на наклонных поверхностях крутизной от  $10^\circ$  (рис. 4);
- карстовые, которые происходят в зонах распространения скальных грунтов карбонатного, гипсового, соляного, сульфатного состава (рис. 5);
- осыпные, которые характерны для не заросших растительностью наклонных поверхностей крутизной от  $20^\circ$  до  $50^\circ$ ;
- обвалы, происходящие на не заросших растительностью наклонных поверхностях крутизной более  $50^\circ$ ;

- суффозионные, которые возникают в зонах избыточного насыщения грунтовыми водами лёссовых, глинистых, песчаных, карбонатных растворимых грунтов;
- осадки грунта, происходящие в зонах разрыхления при проведении земляных работ;
- подтопления в местах, обусловленных подъемом уровня грунтовых вод при перекрытии, а также затруднении подземного или поверхностного стока;
- эрозионные, характерные для зон распространения рыхлых грунтов и мест переходов через постоянные водотоки на наклонных поверхностях крутизной от 3°;
- формирования курумов, расположенных в зонах распространения скальных и крупнообломочных грунтов на наклонных незадернованных поверхностях в условиях воздействия больших перепадов дневных и ночных температур, а также неравномерного нагревания и охлаждения;
- пучинообразования, свойственного зонам промерзания влажных грунтов и мигрирующей воды с образованием кристаллов и линз льда;
- наледеобразования в руслах водотоков, по бортам речных долин в зонах распространения ММГ;
- термокарста в зонах распространения залежей льда и сильнольдистых грунтов в верхней части многолетнемерзлой толщи;
- солифлюкции, которая происходит на наклонных поверхностях в зонах распространения рыхлых ММГ (глин, суглинков);
- селевые, которые происходят при выносе грязекаменного материала, в т. ч. оползневых масс, водными потоками при сильных паводках (рис. 6) (Ю.Б. Виноградов выделил наносоводные, грязевые и грязекаменные сели [Виноградов, 1980]).

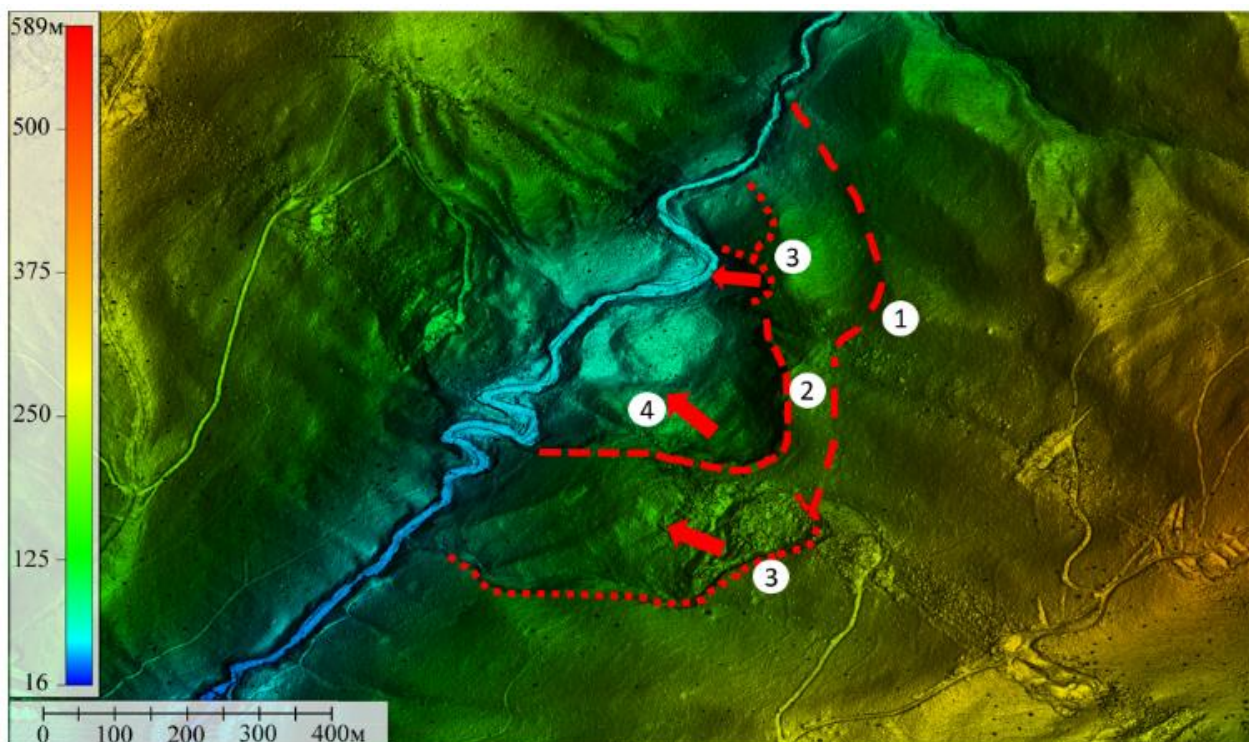


Рис. 4. Сейсмогенный оползень на цифровой модели рельефа: 1 – бровка срыва древнего оползня; 2 – бровка срыва оползня второй генерации длительной стабилизации; 3 – бровка срыва третьей генерации временной стабилизации; 4 – направление движения оползневых масс

Fig. 4. Seismogenic landslide on a digital relief model: 1 – edge bench of the disruption of an ancient landslide; 2 – edge bench of the disruption of the landslide of the second generation of long-term stabilization; 3 – edge bench of the disruption of the third generation of temporary stabilization; 4 – direction of movement of landslide masses

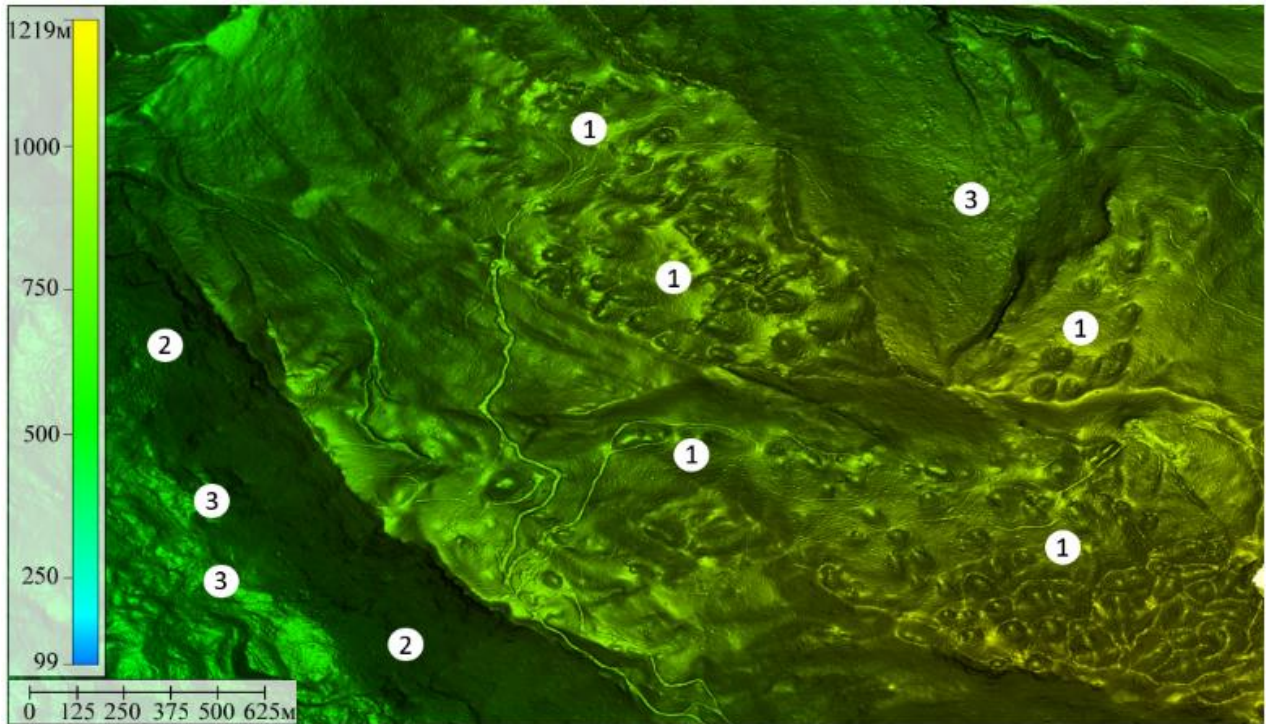


Рис. 5. Проявления карстовых и гравитационных склоновых процессов на цифровой модели рельефа: 1 – карстовая воронка; 2 – осыпь; 3 – оползень  
Fig. 5. Displays of karst and gravitational slope processes on the digital relief model: 1 – karst funnels; 2 – scree; 3 – landslide

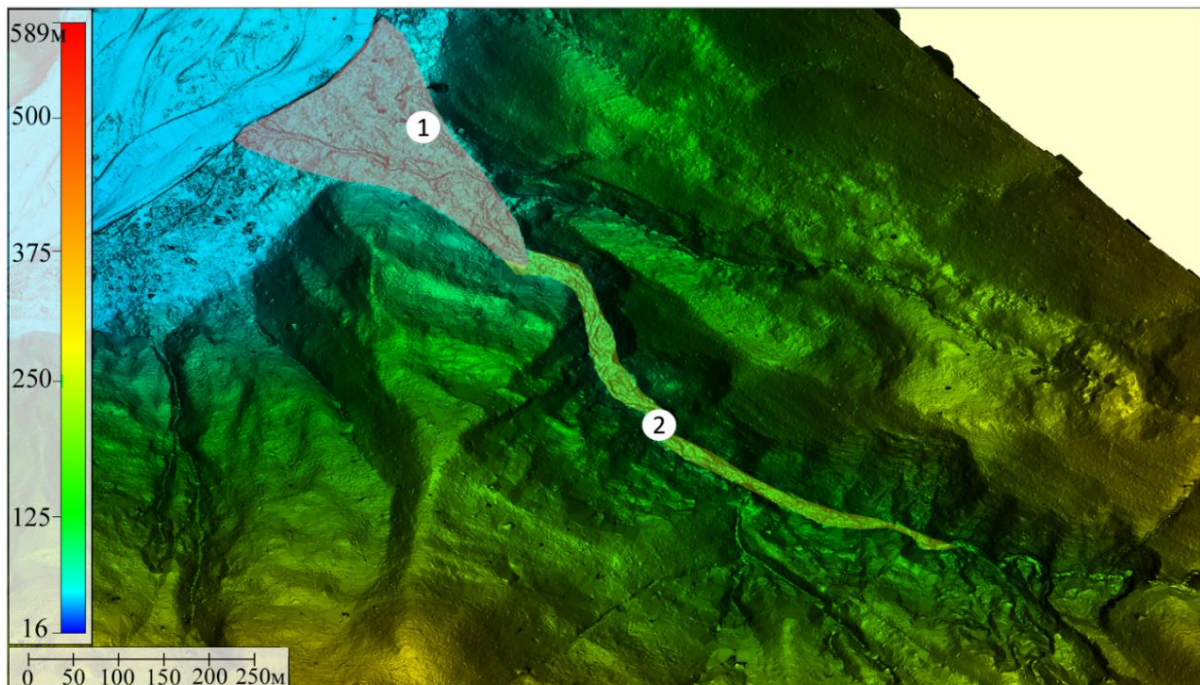


Рис. 6. Селевой бассейн на цифровой модели рельефа: 1 – конус выноса, частично переработанный рекой; 2 – русло  
Fig. 6 Mudflow basin on a digital elevation model: 1 – alluvial fan, partially reworked by the river; 2 – channel

Для крупных масштабов (М 1:2000 и крупнее) наиболее эффективным будет проведение ВЛС территории со сложными природными условиями для получения трехмерной цифровой модели местности и последующего дешифрирования ОГП. Для более уверенного дешифрирования работы по ВЛС могут быть дополнены цифровой АФС [Долгополов, 2021].

Для масштаба 1:500 фотоснимки должны иметь разрешение от 5–7 см на местности; плотность точек лазерного отражения – от 5–9 точек на м<sup>2</sup>. Ширина полосы съемки и камеральной обработки материалов ВЛС должна составлять не менее 150 м (не менее 75 м вправо и влево от оси трубопровода). Допускаются средние погрешности положения объектов дешифрирования 0,75 мм в масштабе плана или 40 см. На участках линейной части трубопровода, где распространены многолетние мёрзлые грунты (ММГ) и экзогенные геологические процессы (ЭГП), работы рекомендуется проводить 1 раз в год [РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-91.200.00-КТН-005-15; ГКИНП-02-033-82].

Мониторинг в масштабе 1:1000 с использованием ВЛС совместно с цифровой АФС в коридоре трассы магистрального нефтепровода в зоне сложных природно-климатических условий обеспечивается при получении фотоснимков с разрешением на местности от 7–10 см, плотности точек лазерного отражения – от 3–5 точек на м<sup>2</sup>. Для масштаба 1:2000 допускается использование фотоснимков с разрешением на местности от 10–15 см, плотность точек лазерного отражения – от 2–3 точек на м<sup>2</sup>. Средние погрешности положения объектов дешифрирования должны быть не более 0,75 мм в масштабе плана или карты, что составляет 75 см для М 1:1000 и 1,5 м для М 1:2000 на местности. Съёмочные работы рекомендуется проводить 1–2 раза в год [РД-23.040.00-КТН-124-20].

Картографирование и мониторинг в масштабах: 1:5000 и 1:10000 крупных проявлений ОГП в коридоре трассы магистрального нефтепровода на участках со сложными природными условиями можно осуществлять по данным геопривязанных космических снимков с пространственным разрешением 50 см или материалов АФС с разрешением снимков не менее 20 см. Погрешности положения точек при аэрофотосъёмке в масштабах 1:5000 и 1:10000 примерно одинаковы и составляют 0,4 мм на карте, что соответствует 2 и 4 метрам на местности соответственно. Полученные материалы должны иметь средние погрешности положения точек 0,75 мм в масштабе создаваемой карты, что составляет 3,75 м для М 1:5000 и 7,5 м для М 1:10000. Работы проводят с периодичностью 1–2 раза в год [РД-23.040.00-КТН-0034-20; РД-23.040.00-КТН-124-20].

Мониторинг береговых участков подводных переходов магистральных трубопроводов производится с целью определения: размывов берегов, развития оврагов, развития оползней, наличия провалов и пучения грунта, наличия древесной или кустарниковой растительности по оси нефтепровода. Для этих целей, как правило, используют технологию аэрофотосъёмки или (реже) технологию ВЛС, совмещенную с цифровой АФС, которые производят на участке подводного перехода магистрального нефтепровода через водную преграду с периодичностью 1 раз в квартал и после прохождения паводков. Съёмки должны обеспечивать точность 20 см в соответствии с требованиями отраслевых регламентов [ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02].

Построение карт смещений земной поверхности производится, как правило, с помощью радарной интерферометрии на участках трубопроводов, подверженных воздействию проявлений процессов, обусловленных сложными природно-климатическими условиями. Для объектов трубопроводного транспорта перспективным представляется использование в качестве постоянных отражателей УОВ, связанных с элементами инфраструктуры трубопровода, доработанных под выполнение задач радарной интерферометрии. Мониторинг смещения земной поверхности по данным космической радиолокационной съёмки требуется проводить 4 раза в год в связи с тем, что смещения можно обнаружить при анализе материалов съёмок, выполненных в разные сезоны года. Нормативных доку-



ментов с требованиями по точности к данным радарных съемок пока нет, поэтому они представлены в таблице на основании результатов проведенных исследований.

Данный вид съемки характеризуется наиболее активным развитием, расширяющимся в последние годы использованием в различных областях науки и практике работ, но крайне редко применяемым в нефтегазовой геологии. Уникальность радиолокационной съемки заключается в высочайшей точности измерений изменений рельефа земной поверхности за определенный период. Основные результаты, полученные благодаря использованию радиолокационной интерферометрии, сводились к изучению проседания земной поверхности [Fielding et al., 1998; Bernardi et al., 2021]. Возможности радиолокационных съемок, оцененные по результатам проведенных работ, позволяют использовать их при оценке воздействия тектонических и антропогенных процессов на резервуары и другие объекты мониторинга.

### Заключение

Мониторинг состояния трубопроводов и протекающих природных процессов в коридоре трассы – ключевая задача геотехнического мониторинга. Проводятся такие работы в соответствии с разработанными требованиями не реже 1 раза в год. При проведении работ по геотехническому мониторингу используют, как правило, наиболее современные методы съемки и диагностирования трубопроводов.

На основании проведенных исследований рекомендуется при производстве работ по геотехническому мониторингу на трубопроводном транспорте использовать ВЛС с применением УОВ. ВЛС следует выполнять в комплексе с высокоточными геодезическими методами, для контроля положения марок на объектах инфраструктуры целесообразно дополнительно использовать методы НЛС. Цифровую аэрофотосъемку обязательно выполнять с использованием БПЛА. Дальнейшие работы по научному обоснованию повышения качества геотехнического мониторинга следует направить по пути разработки методов использования радарной интерферометрии и создания с этой целью доступного программного обеспечения.

### Список источников

- Баборькин М.Ю. 2017. Устройство определения плано-высотного положения трубопровода. Патент на полезную модель № 173296. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. URL: [https://patents.s3.yandex.net/RU173296U1\\_20170821.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU173296U1_20170821.pdf) (дата обращения: 07 июня 2022).
- ГКИНП-02-033-82 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000, 1: 500 (утв. ГУГК СССР 05.10.1979). М.: Недра, 1982. 148 с. Дата сохранения: 16.05.2019. Официальный портал «Консультант Плюс». URL: <https://igpspb.ru/wp-content/uploads/2019/05/3.-GKINP-02-033-82.pdf> (дата обращения: 07 июня 2022).
- ГОСТ 31385–2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. М.: Стандартинформ, 2016. 90 с. Официальный портал АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138636> (дата обращения: 07 июня 2022).
- ОР 13.01-60.30.00-КТН-002-3-02 Регламент технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов через водные преграды. М.: ОАО «АК «Транснефть»», 2003. 133 с. Вебсайт ООО «Диагностические системы». URL: [http://dias-ltd.ru/upload/snip/or\\_13.01-60.30.00-ktn-002-3-02.pdf](http://dias-ltd.ru/upload/snip/or_13.01-60.30.00-ktn-002-3-02.pdf) (дата обращения: 07 июня 2022).
- РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю. М.: АО «НТЦ «Промышленная безопасность»», 2003. 47 с. Официальный портал АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865879> (дата обращения: 07 июня 2022).
- РД-17.020.00-КТН-129-18 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Организация и выполнение работ методом наземного лазерного сканирования. М.: ОАО «АК «Транснефть»», 2012. Служба НТИ. Современные информационные услуги. URL: [https://snti.ru/snips\\_rd39-2.htm](https://snti.ru/snips_rd39-2.htm) (дата обращения: 07 июня 2022).

- РД-23.040.00-КТН-0034-20 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Геотехнический мониторинг. Общие положения. Ч.1. М.: ПАО «Транснефть», 2020. 79 с.
- СП 365.1325800.2017. Свод правил. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для хранения нефтепродуктов. М.: Стандартинформ, 2018. 72 с. Вебсайт Stroyinf.ru. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293735/4293735694.pdf> (дата обращения: 07 июня 2022).
- СП 305.1325800 Свод правил. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. М.: Минстрой России, Стандартинформ, 2018. 105 с. Официальный портал АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/556330134> (дата обращения: 07 июня 2022).
- СП 22.13330 Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. М.: Минстрой России, Стандартинформ, 2017. 220 с. Официальный портал АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206> (дата обращения: 07 июня 2022).
- СП 25.13330 Свод правил. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Минстрой России, Стандартинформ, 2021. 48 с. Официальный портал АО «Кодекс». URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326> (дата обращения: 07 июня 2022).
- РД-91.200.00-КТН-005-15 Методика аэровизуального обследования коридора трассы магистрального нефтепровода. М.: ОАО «АК «Транснефть»», 2015. Портал нормативно-технической документации «Техдокумент.ру». URL: [http://www.texdokument.ru/news/show\\_85#.Yq3fqLJByHs](http://www.texdokument.ru/news/show_85#.Yq3fqLJByHs) (дата обращения: 07 июня 2022).

### Список литературы

- Аврунев Е.И., Уставич Г.А., Грекова А.О., Никонов А.В., Мелкий В.А., Долгополов Д.В. 2020. Технологические решения в области обеспечения геопространственной информации о магистральных трубопроводах и объектах их инфраструктуры. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 331(7): 188–201. DOI 10.18799/24131830/2020/7/2729.
- Аникаева А.Д., Мартюшев Д.А. 2020. Оценка потенциала применения беспилотных летательных аппаратов в нефтегазовой отрасли. Недропользование, 20(4): 344–355. DOI 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
- Антипов И.Т., Зяткова Л.К., Хлебникова Т.А. 2012. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, 2–1: 52–57.
- Виноградов Ю.Б. 1980. Этюды о селевых потоках. Л., Гидрометеиздат, 144 с.
- Долгополов Д.В. 2020. Возможности использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 25(4): 85–95. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-85-95.
- Долгополов Д.В., Аврунев Е.И., Мелкий В.А., Веретельник Д.А., Жидиляева Е.В. 2022. Анализ точности исходных данных, используемых при моделировании рельефа и профиля трассы магистральных трубопроводов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 333(4): 168–180. DOI 10.18799/24131830/2022/4/3454.
- Долгополов Д.В., Баборыкин М.Ю., Мелкий В.А. 2021. Мониторинг опасных геологических процессов при строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли. Интерэкспо Гео-Сибирь, 4(1): 25–32. DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32.
- Долгополов Д.В., Никонов Д.В., Мелкий В.А., Братков В.В. 2020. Дешифрирование инфраструктуры магистральных трубопроводов по аэрокосмическим изображениям. Мониторинг. Наука и технологии, 2(44): 19–25. DOI 10.25714/MNT.2020.44.003.
- Долгополов Д.В., Никонов Д.В., Полуянова А.В., Мелкий В.А. 2019. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 24(3): 65–81. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81.
- Зяткова Л.К. 2004. Геомониторинг природной среды: в 2 т. Новосибирск, СГГА, 316 с.
- Карпик А.П., Антонович К.М., Твердовский О.В., Лагутина Е.К., Решетов А.П. 2014. Создание сети референсных станций для обеспечения мониторинга объектов транспорта нефти и нефтепродуктов. Интерэкспо Гео-Сибирь, S: 151–161.



- Карпик А.П., Хорошилов В.С., Комиссаров А.В. 2021. Анализ методов и средств изучения динамики перемещений оползневых склонов. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий), 26 (6): 17–32. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-17-32.
- Мажитова Г.З., Пашков С.В., Крыцкий С.В. 2020. Совершенствование методики крупномасштабного агроландшафтного картографирования на основе применения беспилотных летательных аппаратов. Региональные геосистемы, 44(1): 64–74. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-64-74.
- Маркелов В.М., Цветков В.Я. 2015. Геомониторинг. Славянский форум, 2(8): 177–184.
- Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В. 2020. Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны. Региональные геосистемы, 44(3): 283–294. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294.
- Савиных В.П. 2018. Пространственное ситуационное моделирование. ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении, 1(5): 92–104.
- Цветков В.Я. 2012. Геоинформационный геотехнический мониторинг. Науки о земле, 4: 54–58.
- Bernardi M.S., Africa P.C., de Falco C., Formaggia L., Menafoglio A., Vantini S. 2021. On the Use of Interferometric Synthetic Aperture Radar Data for Monitoring and Forecasting Natural Hazards. *Mathematical Geosciences*, 53: 1781–1812. DOI: 10.1007/s11004-021-09948-8.
- Craglia M., Hradec J., Nativi St., Santoro M. 2017. Exploring the Depths of the Global Earth Observation System of Systems. *Big Earth Data*, 1(1–2): 21–46. DOI: 10.1080/20964471.2017.1401284.
- Dekavalla M. 2019. Investigation of Image Analysis, Geomorphometry and Knowledge Representation Methods for Landform Mapping. Greece, Athens, National Technical University of Athens (NTUA): 172. DOI: 10.12681/eadd/45541.
- Di Maio C., Fornaro G., Gioia D., Reale D., Schiattarella M., Vassallo R. 2018. In Situ and Satellite Long-Term Monitoring of the Latronico Landslide, Italy: Displacement Evolution, Damage to Buildings, and Effectiveness of Remedial Works. *Engineering Geology*, 245: 218–235. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.017.
- Elmeseiry N., Alshaer N., Ismail T. 2021. A Detailed Survey and Future Directions of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with Potential Applications. *Aerospace*, 8: 363. DOI: 10.3390/aerospace8120363.
- Fielding J., Blom G., Goldstein M. 1998. Rapid Subsidence Over Oil Fields Measured by SAR Interferometry. *Geophysical Research Letters*, 25(17): 3215–3218.
- Galton A. 2017. Processes and Events. In: *Encyclopedia of GIS*. Ed. By Shekhar S., Xiong H., Zhou X. Springer, Cham: 1661–1667. DOI: 10.1007/978-3-319-17885-1\_1032.
- Guan L., Pan H., Zou S., Hu J., Zhu X., Zhou P. 2020. The Impact of Horizontal Errors on the Accuracy of Freely Available Digital Elevation Models (DEMs). *International Journal of Remote Sensing*, 41(19): 7383–7399.
- Guo H. 2018. A Project on Big Earth Data Science Engineering. *Bull Chin Acad Sci*, 33(8): 818–824.
- Hodgson M.E., Piovan S.E. 2021. An Indoor Landscape for Instruction of 3-D Aerial Drone Imagery. *Journal of Geography in Higher Education*, 46: 145–159.
- Metternicht G., Mueller N., Lucas R. 2020. Digital Earth for Sustainable Development Goals. *Manual of Digital Earth*. Springer, Singapore: 443–471.
- Rossi G., Tanteri L., Tofani V., Vannocci P., Moretti S., Casagli N., Schwarz B. 2018. Multitemporal UAV Surveys for Landslide Mapping and Characterization. *Landslides*, 15: 1045–1052. DOI: 10.1007/s10346-018-0978-0, 4: 429–430.
- Singhroy V. 2020. *Advances in Remote Sensing for Infrastructure Monitoring*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry, Switzerland AG.: 362. DOI: 10.1007/978-3-030-59109-0.
- Tarolli P., Mudd S.M. 2020. Introduction to Remote Sensing of Geomorphology. *Developments in Earth Surface Processes*, 23: XIII–XV. DOI: 10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6.
- Tziavou O., Pytharouli S., Souter J. 2018. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Mapping in Engineering Geological Surveys: Considerations for Optimum Results. *Engineering Geology*, 232: 12–21.
- Yang Y., Du G.L., Cao Q.T. 2017. Application of UAV Aerial Surveying Technology in Geological Disaster Emergency Mapping. *Bull Surv Mapp*: 119.
- Yermolaev O., Usmanov B., Gafurov A., Vedeneeva E., Poesen J., Lisetskii F., Nicu I.C. 2021. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data. *Remote Sensing*, 13(21): 4214.

## References

- Avrunev E.I., Ustavich G.A., Grekova A.O., Nikonov A.V., Melkiy V.A., Dolgoplov D.V. 2020. Technological Solutions in Sphere of Geospatial Information on Long Distance Pipelines and Objects of Their Infrastructure. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 331(7): 188–201 (in Russian). DOI 10.18799/24131830/2020/7/2729.
- Anikaeva A.D., Martyushev D.A. 2020. Assessment of the Unmanned Aerial Vehicle Potential Application in the Oil and Gas Industry. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 20(4): 344–355 (in Russian). DOI 10.15593/2712-8008/2020.4.4.
- Antipov I.T., Zyatkov L.K., Khlebnikova T.A. 2012. Otsenka tochnosti izmeritelnykh trekhmernykh videosten [Assessment the Accuracy of Measuring Three-Dimensional Video Scenes]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*, 2–1: 52–57.
- Vinogradov Yu.B. 1980. *Etyudy o selevykh potokakh [Etudes about mud stream]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 144 p.
- Dolgoplov D.V. 2020. Possibilities of Using Unmanned Aircraft Systems to Control Compliance of Construction Results of Pipeline Transport Facilities with Design Solutions. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*, 25(4): 85–95 (in Russian). DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-85-95.
- Dolgoplov D.V., Avrunev E.I., Melkiy V.A., Veretel'nik D.A., Zhidilyaeva E.V. 2022. Analysis of Accuracy of Initial Data Used in Modeling Relief and Profile of the Main Pipelines Route. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 333(4): 168–180 (in Russian). DOI 10.18799/24131830/2022/4/3454.
- Dolgoplov D.V., Baborykin M.Yu., Melkiy V.A. 2021. Monitoring of Hazardous Geological Processes in the Construction and Operation of Pipeline Transport Facilities by Remote Sensing Data. *Interesko Geo-Sibir'*, 4(1): 25–32 (in Russian). DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32.
- Dolgoplov D.V., Nikonov D.V., Melkiy V.A., Bratkov V.V. 2020. Interpretation of Trunk Pipeline Infrastructure by Aerospace Images. *Monitoring. Science & Technologies*, 2(44): 19–25 (in Russian). DOI 10.25714/MNT.2020.44.003.
- Dolgoplov D.V., Nikonov D.V., Poluyanov A.V., Melkiy V.A. 2019. Possibilities of Visual Interpretation of Trunk Pipelines and Infrastructure Facilities Using Satellite Images of High and Ultra-High Spatial Resolution. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*, 24(3): 65–81 (in Russian). DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81.
- Zyatkov L.K. 2004. *Geomonitoring prirodnoy sredy: v 2 t. [Geomonitoring of the natural environment: in 2 vol.]*. Novosibirsk, Publ. SGGa, 316 p.
- Karpik A.P., Antonovich K.M., Tverdovskiy O.V., Lagutina E.K., Reshetov A.P. 2014. Creating Reference Station Network for Monitoring Objects and Oil Transportation. *Interesko Geo-Sibir'*, S: 151–161 (in Russian).
- Karpik A.P., Khoroshilov V.S., Komissarov A.V. 2021. Analysis of Methods and Tools for Studying the Dynamics of Displacement of Landslides. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)*, 26(6): 17–32 (in Russian). DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-6-17-32.
- Mazhitova G.Z., Pashkov S.V., Krytskiy S.V. 2020. Improvement of the Methodology of Large-Scale Agrarian Landscape Mapping Based on UAV Application. *Regional Geosystems*, 44(1): 64–74 (in Russian). DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-64-74.
- Markelov V.M., Tsvetkov V.Ya. 2015. Geomonitoring. *Slavic Forum*, 2(8): 177–184 (in Russian).
- Myachina K.V., Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V. 2020. The Role of Oil Production in the Acceleration of Soil Erosion in the Steppe Agricultural Landscapes. *Regional Geosystems*, 44(3): 283–294 (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294.
- Savinykh V.P. 2018. Space Situation Modeling. *ITNOU: Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii*, 1(5): 92–104 (in Russian).
- Tsvetkov V.Ya. 2012. Geoinformation Geotechnical Monitoring. *Geoscience*, 4: 54–58 (in Russian).
- Bernardi M.S., Africa P.C., de Falco C., Formaggia L., Menafoglio A., Vantini S. 2021. On the Use of Interferometric Synthetic Aperture Radar Data for Monitoring and Forecasting Natural Hazards. *Mathematical Geosciences*, 53: 1781–1812. DOI: 10.1007/s11004-021-09948-8.
- Craglia M., Hradec J., Nativi St., Santoro M. 2017. Exploring the Depths of the Global Earth Observation System of Systems. *Big Earth Data*, 1(1–2): 21–46. DOI: 10.1080/20964471.2017.1401284.





- Dekavalla M. 2019. Investigation of Image Analysis, Geomorphometry and Knowledge Representation Methods for Landform Mapping. Greece, Athens, National Technical University of Athens (NTUA): 172. DOI: 10.12681/eadd/45541.
- Di Maio C., Fornaro G., Gioia D., Reale D., Schiattarella M., Vassallo R. 2018. In Situ and Satellite Long-Term Monitoring of the Latronico Landslide, Italy: Displacement Evolution, Damage to Buildings, and Effectiveness of Remedial Works. *Engineering Geology*, 245: 218–235. DOI: 10.1016/j.enggeo.2018.08.017.
- Elmeseiry N., Alshaer N., Ismail T. 2021. A Detailed Survey and Future Directions of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with Potential Applications. *Aerospace*, 8: 363. DOI: 10.3390/aerospace8120363.
- Fielding J., Blom G., Goldstein M. 1998. Rapid Subsidence Over Oil Fields Measured by SAR Interferometry. *Geophysical Research Letters*, 25(17): 3215–3218.
- Galton A. 2017. Processes and Events. In: *Encyclopedia of GIS*. Ed. By Shekhar S., Xiong H., Zhou X. Springer, Cham: 1661–1667. DOI: 10.1007/978-3-319-17885-1\_1032.
- Guan L., Pan H., Zou S., Hu J., Zhu X., Zhou P. 2020. The Impact of Horizontal Errors on the Accuracy of Freely Available Digital Elevation Models (DEMs). *International Journal of Remote Sensing*, 41(19): 7383–7399.
- Guo H. 2018. A Project on Big Earth Data Science Engineering. *Bull Chin Acad Sci*, 33(8): 818–824.
- Hodgson M.E., Piovan S.E. 2021. An Indoor Landscape for Instruction of 3-D Aerial Drone Imagery. *Journal of Geography in Higher Education*, 46: 145–159.
- Metternicht G., Mueller N., Lucas R. 2020. Digital Earth for Sustainable Development Goals. *Manual of Digital Earth*. Springer, Singapore: 443–471.
- Rossi G., Tanteri L., Tofani V., Vannocci P., Moretti S., Casagli N., Schwarz B. 2018. Multitemporal UAV Surveys for Landslide Mapping and Characterization. *Landslides*, 15: 1045–1052. DOI: 10.1007/s10346-018-0978-0, 4: 429–430.
- Singhroy V. 2020. *Advances in Remote Sensing for Infrastructure Monitoring*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry, Switzerland AG.: 362. DOI: 10.1007/978-3-030-59109-0.
- Tarolli P., Mudd S.M. 2020. Introduction to Remote Sensing of Geomorphology. *Developments in Earth Surface Processes*, 23: XIII–XV. DOI: 10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6.
- Tziavou O., Pytharouli S., Souter J. 2018. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Mapping in Engineering Geological Surveys: Considerations for Optimum Results. *Engineering Geology*, 232: 12–21.
- Yang Y., Du G.L., Cao Q.T. 2017. Application of UAV Aerial Surveying Technology in Geological Disaster Emergency Mapping. *Bull Surv Mapp*: 119.
- Yermolaev O., Usmanov B., Gafurov A., Vedeneeva E., Poesen J., Lisetskii F., Nicu I.C. 2021. Assessment of Shoreline Transformation Rates and Landslide Monitoring on the Bank of Kuibyshev Reservoir (Russia) Using Multi-Source Data. *Remote Sensing*, 13(21): 4214.

*Поступила в редакцию 23.06.2022;  
поступила после рецензирования 11.07.2022;  
принята к публикации 15.08.2022*

*Received June 23, 2022;  
Revised July 11, 2022;  
Accepted August 15, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Долгополов Даниил Валентинович**, кандидат технических наук, начальник отдела управления проектами Департамента прикладных систем, ЗАО «Ай Ко», г. Москва, Россия

**Мелкий Вячеслав Анатольевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканоопасности, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Daniil V. Dolgoplov**, Ph.D. Technical Sciences, Head of the Project Management Department of the Department of Applied Systems, CJSC "Ai Co", Moscow, Russia

**Vyacheslav A. Melkiy**, Doctor of Technical, Leading Researcher of the laboratory of Volcanology and volcanic hazard of the Institute of Marine Geology and Geophysics of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia



**Баборыкин Максим Юрьевич**, кандидат геолого-минералогических наук, главный аналитик Центра геоинформационных систем, АНО ВО «Университет Иннополис», г. Иннополис, Республика Татарстан

**Maxim Yu. Baborykin**, Ph.D. Geological and Mineralogical Sciences, Chief analyst at the Center for Geoinformation Systems, Autonomous Non-profit Organization "University of Innopolis", Innopolis, Republic of Tatarstan



УДК 528.88  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

## Состояние залежных земель и особенности их спектрально-отражательных свойств на территории Среднерусской лесостепи

**Терехин Э.А.**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы 85  
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Изучение залежных или оставленных аграрных земель выступает одной из актуальных задач в оценке состояния ландшафтов Среднерусской лесостепи. В статье представлены результаты анализа состояния залежных земель, типичных для региона. Изучены особенности растительного покрова залежей по состоянию на 2020 г., параметры их лесистости, обусловленной процессами естественного лесовозобновления, и спектрально-отражательные характеристики. В большинстве исследованных областей Центрального Черноземья количественно преобладают залежи с доминированием травянистых участков, но с присутствием древесной растительности. Залежи с высокой долей древесной растительности распространены в Орловской и Тамбовской областях. Наименьшую долю составляют травянистые залежи с отсутствием древесной растительности. Средняя лесистость одновозрастных залежей варьирует от 12 % в Воронежской области до 62 % в Орловской области. Высокие внутрирегиональные различия современной лесистости залежей выступают индикаторами пространственной вариации в скорости ее годового прироста. Внутрирегиональные отличия в лесистости оставленных аграрных земель проявляются в их спектрально-отражательных характеристиках красного и части инфракрасного диапазонов. Они находятся в обратной зависимости от величины покрытия залежей древесной растительностью.

**Ключевые слова:** залежные земли, спектральная отражательная способность, лесистость, лесовозобновление, Sentinel-2, Среднерусская лесостепь

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00291.

**Для цитирования:** Терехин Э.А. 2022. Состояние залежных земель и особенности их спектрально-отражательных свойств на территории Среднерусской лесостепи. Региональные геосистемы, 46(3): 356–365 DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

---

## Parameters of Abandoned Agricultural Lands and Their Reflectance in the Central Russian Forest-Steppe

**Edgar A. Terekhin**

Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia  
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

**Abstract.** The study of abandoned agricultural lands is an urgent task in estimating the state of landscapes in the Central Russian forest-steppe. The results of the abandoned lands analysis, typical of the region were presented. Abandoned agricultural land parameters were studied at the end of the second decade of the 21st century (2020). Abandoned lands with a predominance of herbaceous areas and the presence of forest vegetation are quantitatively dominated in the most of the Central Chernozem Region oblasts. Abandoned agricultural lands with a high share of forest vegetation are spread in the Oryol and Tambov

oblasts. The smallest proportion is grassy abandoned land with no forest. The average forest cover of abandoned lands of the same age varies from 12 % in the Voronezh oblast to 62 % in the Oryol oblast. High intra-regional differences in the current forest cover of abandoned lands are indicators of differences in the intensity of reforestation. Intra-regional differences in the forest cover of abandoned agricultural lands are observed in the red and infrared spectral reflectance. The reflectance of these ranges is inversely related to the forest cover of abandoned lands.

**Keywords:** abandoned agricultural lands, spectral reflectance, forest cover, reforestation, Sentinel-2, Central Russian forest-steppe

**Acknowledgements:** The work was supported by grant of Russian Science Foundation (Project Number 22-27-00291).

**For citation:** Terekhin E.A. 2022 Parameters of Abandoned Agricultural Lands and Their Reflectance in the Central Russian Forest-Steppe. *Regional Geosystems*, 46(3): 356–365 DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

---

## Введение

Восстановительные сукцессии, протекающие на оставленных аграрных землях, выступают фундаментальными процессами, связанными с естественной динамикой природной среды в регионах аграрного использования [Кудрявцев, 2007; Кулик, Пугачёва, 2016; Собина и др., 2022]. Изменения в почвенном и растительном покрове залежных земель могут приводить к смене внешнего облика ландшафтов [Трушков и др., 2017; Атутова, 2020]. Формирование новых типов растительных сообществ меняет видовой состав территории [Панкратова, Ганнибал, 2009; Попова и др., 2019]. Восстановительные сукцессии на залежах влияют на потоки углерода [Романовская и др., 2005; Karelin et al., 2017; Fradette et al., 2021], объем наземной биомассы [Сорокина, 2018; Титлянова, Шибарева, 2022] и микроклиматические особенности [Bell et al., 2021; Khorchani et al., 2022]. При планировании долгосрочных стратегий природопользования мониторинг залежных земель [Fayet et al., 2022] становится достаточно актуальной задачей, решение которой необходимо для получения объективных представлений о современном состоянии ландшафтов многих регионов.

На территории Центрального Черноземья залежные земли выступают одним из многих элементов ландшафтов, на основе которых могут быть изучены естественные изменения растительного покрова. Основная часть региона расположена в условиях лесостепной природной зоны. Учитывая вариацию природных условий в его субмеридиональных границах от лесной зоны до зоны степи, анализ характеристик оставленных аграрных земель позволяет получить представление о внутрирегиональных особенностях естественной динамики растительного покрова.

Спутниковые данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения выступают одним из наиболее достоверных источников информации, связанных с оценкой ряда характеристик залежей, включая особенности лесистости и лесовозобновления [Терехин, Постернак, 2019; Yin et al., 2020; Zhu et al., 2021]. Используя влияние параметров залежных земель на спектральный отклик, можно получить данные о состоянии оставленных аграрных земель.

Цель исследования – анализ характеристик залежных земель Центрального Черноземья и Орловской области, связанных с распространением на них древесной растительности вследствие восстановительных сукцессий. Задачи исследования включали оценку лесистости одновозрастных залежей в областях региона в конце второго десятилетия XXI в., анализ их спектрально-отражательных свойств.



## Объекты и методы исследования

Исследование выполнено на территории лесостепи в пределах шести областей: Белгородской, Курской, Орловской, Липецкой, Тамбовской и Воронежской области. Анализируемая территория расположена в условиях умеренно-континентального климата и полностью охватывает лесостепь в субмеридиональных границах от лесной зоны на северо-западе Орловской области до зоны степи на юге Воронежской области.

Особенности залежных земель изучены на основе 960 объектов, суммарной площадью 48489,7 га, выявленных и изученных по материалам спутниковых съемок. Залежные земли подбирали для анализа на основе снимков высокого пространственного разрешения *Sentinel-2* (источник данных: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) и сверхвысокого пространственного разрешения (1 м), полученных из сервиса *Google Earth*. Анализируемые угодья выявляли и отбирали таким способом, чтобы они были репрезентативно представлены во всех исследуемых областях.

Для каждого угодья было определено состояние растительного покрова в 2020 г.: полное покрытие древесной растительностью (лесные насаждения), доминирование древесной растительности, доминирование травянистой растительности, травянистые сообщества. Для каждого объекта с наличием древесной растительности также был установлен тип формирующихся лесных насаждений (лиственный, хвойный, смешанный) и величина лесистости или проективное покрытие древесной растительностью по состоянию на анализируемую дату (от 0 до 1). После оценки фактических параметров залежей для каждой из них был рассчитан набор спектрально-отражательных характеристик, включающих значения спектральной отражательной способности – безразмерных коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в трех диапазонах: Red, SWIR1, SWIR2. В перечисленных участках спектра проявляется наиболее тесная связь с возрастом формирующихся лесных насаждений [Терехин, 2020], вследствие чего отражательная способность в этих участках спектра может быть использована для анализа лесовозобновления. Для ее анализа были применены многозональные спутниковые снимки *Sentinel-2*, характеризующиеся высоким пространственным (10–20 м) и радиометрическим разрешением [Immitzer et al., 2019; Fan et al., 2020]. Вследствие регулярности получения этих снимков, на их основе предоставляется возможность формирования полного покрытия изображений на всю территорию региона, что необходимо для объективной оценки особенности спектрального отклика оставленных аграрных земель, расположенных в его различных частях.

Для выявления залежей и анализа их спектрально-отражательных свойств на всю территорию исследования было сформировано покрытие изображений *Sentinel-2 MSI* 2019 г. Оно включало 22 фрагмента или тайла снимков, полученных в примерно одни и те же сроки вегетационного сезона (период августа). Все снимки прошли атмосферную и радиометрическую корректировку, в результате которой они были пересчитаны до соответствующего уровня обработки – L2A. Она была осуществлена в программе *SNAP (Sentinel Application Platform)*, модуле *Sen2Cor*. Для анализа залежных земель также была использована подборка разновременных снимков *Landsat TM/OLI* 2000–2020 гг. на территорию региона с целью анализа особенностей растительного покрова залежей в последние два десятилетия.

Оценка современной лесистости залежных земель в областях Центрального Черноземья и Орловской области проведена на основе подвыборки объектов, включающей только угодья одинакового возраста, которые были выведены из аграрного использования в начале 2000-х гг. и оставались в состоянии залежи как минимум до 2020 г. Эта выборка включала угодья с древесной растительностью из лиственных пород, либо угодья без древесной растительности. Выполнение соответствующего условия необходимо для корректного сравнения спектрально-отражательных характеристик оставленных аграрных земель, находящихся в различных областях. Спектральная отражательная способность листвен-

ных и хвойных пород отличается, поэтому их сравнение может привести к некорректным результатам.

На основе подвыборки одновозрастных залежей выполнен анализ спектрального отклика как индикатора лесистости и ее прироста на оставленных аграрных землях. Для всех исследуемых объектов подготовлена векторная основа, в атрибутивной составляющей которой была интегрирована информация о характеристиках залежей и их спектральной отражательной способности. На ее основе осуществлены оценка параметров растительного покрова залежных земель в различных областях Центрального Черноземья и анализ спектрально-отражательных свойств.

### Результаты и их обсуждение

В конце второго десятилетия XXI в. в большинстве изученных областей наибольшую долю в количественном отношении составляли залежные земли с наличием древесной растительности, но преобладанием травянистых участков (рис. 1). Залежные земли с доминированием древесной растительности занимали наибольшую долю только в Орловской области. В наибольшей степени по соотношению различных типов залежных земель на нее похожа Тамбовская область. Часть территории обоих субъектов занимает подзона северной лесостепи. В остальных областях Центрального Черноземья (Курской, Липецкой, Белгородской, Воронежской области) соотношение залежей по состоянию растительного покрова в значительной степени идентично.

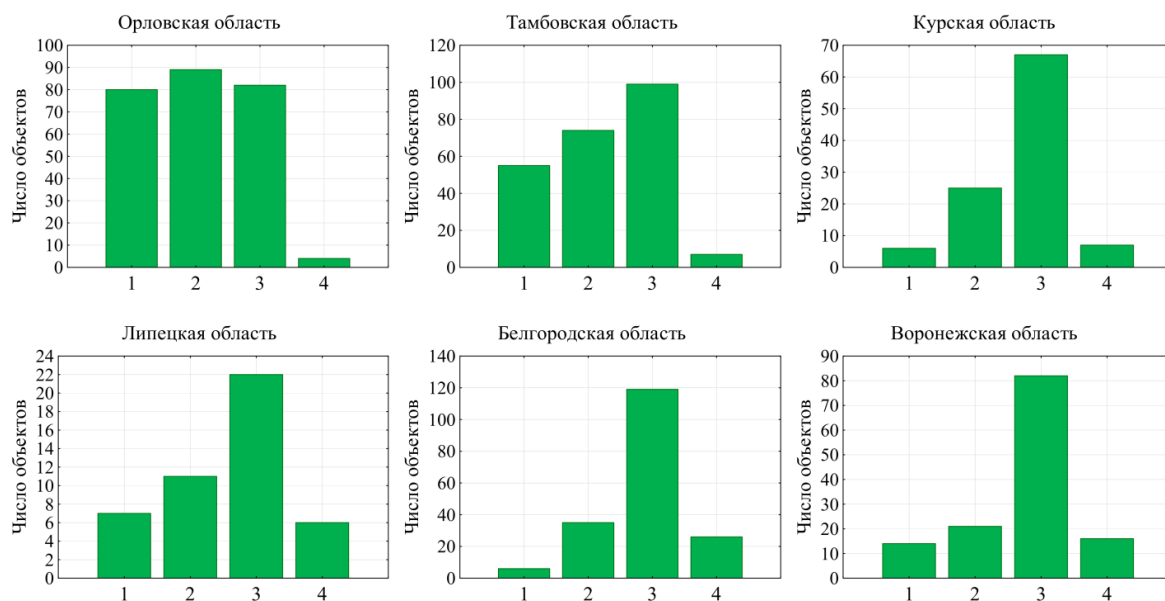


Рис. 1. Состояние растительного покрова залежных земель Центрального Черноземья и Орловской области в 2020 г.  
1 – Лесные насаждения, 2 – преобладание лесных насаждений,  
3 – преобладание травянистых участков, 4 – травянистые залежи

Fig. 1. The state of the abandoned lands vegetation cover in the Central Chernozem region and Oryol oblast in 2020  
1 – Forest, 2 – Predominance of forest, 3 – Predominance of grassy areas, 4 – Grassy lands

Величина лесистости или облесенности одновозрастных залежных земель в конце второго десятилетия XXI в. (2020 г.) существенно различалась между изученными областями (табл. 1). Наиболее высокая лесистость выявлена в Орловской области, расположенной в условиях северной и типичной лесостепи. Наименьшая лесистость зафиксирована в Воронежской области, основная часть которой расположена в подзонах типичной и южной лесостепи. Величина лесистости залежей между областями региона различается более чем в 5 раз.

Учитывая, что все анализируемые угодья характеризовались примерно одинаковым временем восстановительных сукцессий (20 лет), величина их облесенности на анализируемые сроки одновременно выступала и индикатором различий в скорости лесовозобновления или прироста лесистости. В Белгородской и Воронежской областях, характеризующихся наименьшей лесистостью залежных земель, одновременно выявлена наиболее значительная вариация по величине покрытия залежей древесной растительностью.

Таблица 1  
 Table 1

Характеристики лесистости для одновозрастных залежей в изученных областях в 2020 г.  
 Forest cover parameters of abandoned lands in the studied oblasts in 2020

Область РФ	Среднее	Коэффициент вариации, %
Белгородская область	0,15	113,6
Воронежская область	0,12	99,9
Курская область	0,40	76,3
Липецкая область	0,28	90,2
Орловская область	0,62	46,5
Тамбовская область	0,43	52,4

Рост лесистости залежей в подзоне северной лесостепи (части Орловской, Курской и Тамбовской областей) характеризуется достаточно высокими темпами (рис. 2), что является причиной высокой современной величины покрытия залежей древесной растительностью на северо-западе и северо-востоке региона.

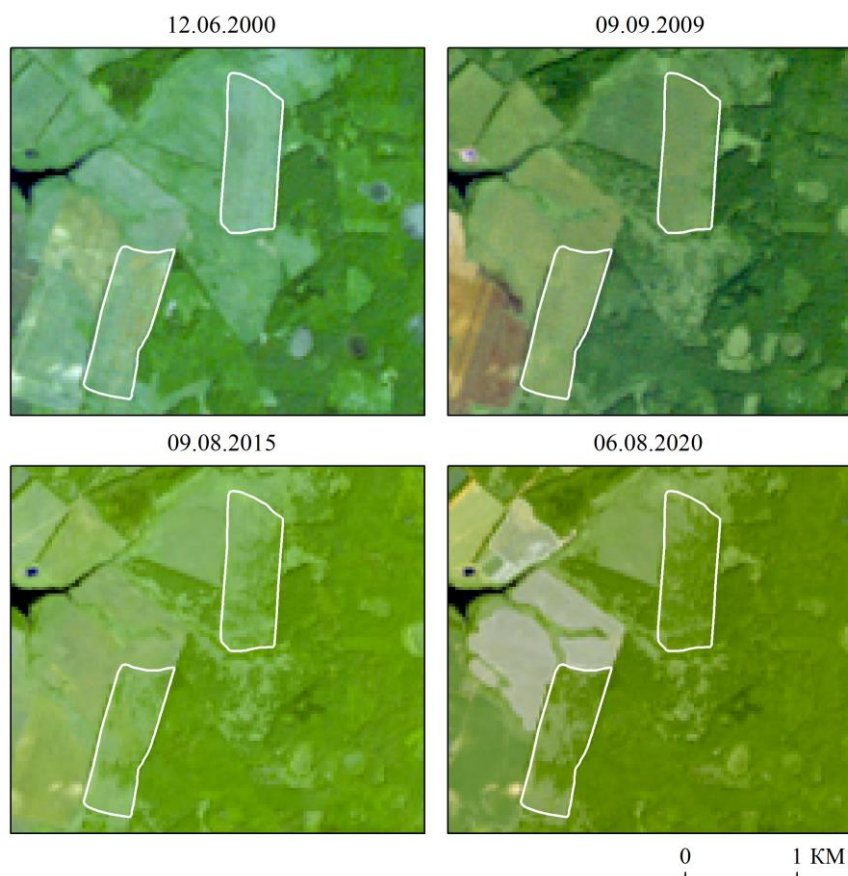


Рис. 2. Отображение процессов лесовозобновления, протекающих на оставленных аграрных землях лесостепи, на разновременных снимках Landsat TM/OLI. Тамбовская область  
 Fig. 2. Reforestation on abandoned agricultural lands in the forest-steppe natural zone. Multitemporal Landsat TM/OLI data. Tambov Oblast

При соответствующих темпах лесовозобновления за 20-летний анализируемый период основная часть залежи успевает покрыться древесной растительностью.

Индикаторами различий в лесистости залежей выступают и их спектрально-отражательные характеристики красного (Red) и SWIR-диапазонов (табл. 2), находящиеся в зависимости от нее.

Таблица 2  
Table 2

Параметры спектрально-отражательных характеристик залежных земель в областях Центрального Черноземья и Орловской области в 2019 г. по данным Sentinel-2  
Parameters of abandoned lands reflectance in the oblasts of Central Chernozem region and Oryol Oblast in 2019

Область РФ	Red-диапазон		SWIR1-диапазон		SWIR2-диапазон	
	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации
Белгородская	0,055	22,6	0,230	12,0	0,132	18,4
Воронежская	0,054	12,3	0,235	8,2	0,135	11,3
Курская	0,050	18,5	0,202	10,4	0,114	16,8
Липецкая	0,051	15,7	0,222	9,1	0,121	18,5
Орловская	0,039	40,9	0,178	16,5	0,089	26,2
Тамбовская	0,043	22,9	0,198	10,0	0,103	13,6

Снижение величины покрытия залежей древесной растительностью для каждого из изученных диапазонов спектра сопровождается повышением коэффициентов спектральной яркости (рис. 3).

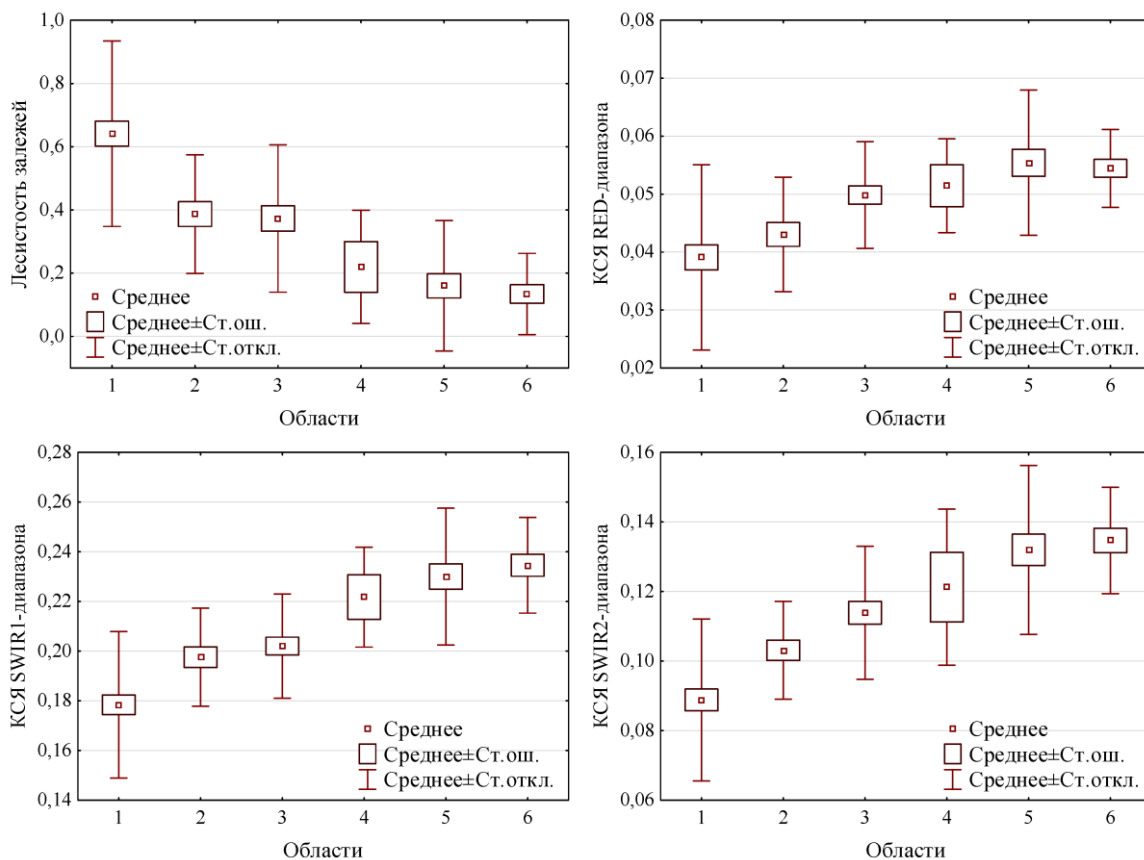


Рис. 3. Характеристики лесистости и спектрально-отражательных свойств одновозрастных залежей. 1 – Орловская область, 2 – Тамбовская область, 3 – Курская область, 4 – Липецкая область, 5 – Белгородская область, 6 – Воронежская область  
Fig. 3. Parameters of abandoned lands. 1 – Oryol oblast, 2 – Tambov oblast, 3 – Kursk oblast, 4 – Lipetsk oblast, 5 – Belgorod oblast, 6 – Voronezh oblast





Значения спектральной отражательной способности залежей (2019 г.), усредненные для отдельных областей региона, отражают фактические различия в их лесистости. Орловская область характеризуется наиболее высокой лесистостью залежей среди изученных областей. Вместе с этим для нее типичны и наиболее низкие значения коэффициентов отражения оставленных аграрных земель. Обратная ситуация наблюдается в Воронежской области, т.е. регионе, находящемся в наиболее контрастных условиях с Орловской областью. Существенные внутрирегиональные различия в лесистости одновозрастных залежей являются следствием внутризональных физико-географических условий в регионе. Они проявляются, в частности, в климатических и почвенных особенностях. В пределах региона наблюдаются достаточно существенные различия в гидротермических условиях, в том числе, в сумме активных температур, количестве осадков в период с температурами выше 10 °С, гидротермическом коэффициенте. Перечисленные показатели наиболее существенно изменяются от северо-запада Орловской до юга Воронежской области.

Для Орловской области, расположенной значительной частью в условиях подзоны северной лесостепи, среди изученных областей характерно наибольшее распространение серых лесных почв, которые преобладают в ее северо-западной половине. Для Воронежской области, значительная часть которой расположена в подзоне южной лесостепи, характерно существенное распространение черноземов обыкновенных, а на юге – и черноземов южных, отсутствующих в остальных изученных областях. Неодинаковая конкурентоспособность лесной растительности на разных типах постагрогенных почв может быть причиной значительных внутрирегиональных различий в величине покрытия залежей древесной растительностью.

### Заключение

Исследованы особенности растительного покрова по состоянию на конец второго десятилетия XXI в. для залежных земель, типичных для Среднерусской лесостепи, и расположенных в Центральном Черноземье и Орловской области. В большинстве из них, за исключением Орловской области, преобладают залежи, на которых доминирует травянистая растительность при одновременном присутствии древесной растительности. Во всех областях, кроме Орловской области, число залежей убывает в следующем ряду: доминирование травянистой растительности – доминирование древесной растительности – полное покрытие древесной растительностью – травянистые залежи. Наиболее высокая лесистость одновозрастных залежей с древесной растительностью из лиственных пород, типичных для региона, характерна для Орловской области, наименьшая – для Воронежской области. Различия в лесистости одновозрастных залежей между отдельными областями достигают 5 раз, что одновременно выступает индикатором внутрирегиональных различий в интенсивности лесовозобновления на оставленных аграрных землях. Спектрально-отражательные характеристики залежных земель, измеренные по спутниковым данным *Sentinel-2* в красном и инфракрасных диапазонах спектра, отражают внутрирегиональные различия в лесистости оставленных аграрных земель региона.

### Список литературы

- Атутова Ж.В. 2020. Современное состояние залежных угодий Тункинской котловины (юго-западное Прибайкалье). География и Природные ресурсы, 2(161): 51–61. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61).
- Кудрявцев А.Ю. 2007. Восстановительная динамика растительности лесостепного комплекса Среднего Поволжья. Экология, 5: 323–330.
- Кулик К.Н., Пугачёва А.М. 2016. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях. Аридные Экосистемы, 22(1(66)): 77–85.

- Панкратова Л.А., Ганнибал Б.К. 2009. Восстановительные сукцессии травяных сообществ в ландшафтах южной лесостепи (Воронежская область, музей-заповедник «Дивногорье»). Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География, 2: 92–95.
- Попова А.А., Парина Т.А., Наквасина Е.Н. 2019. Биоэкологический анализ фитоценозов в динамике самовосстановления постагрогенных экосистем в пойме р. Северная Двина. Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал, 1(29): 30–40. DOI: 10.32516/2303-9922.2019.29.4.
- Романовская А.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М. 2005. Роль залежных земель России в поглощении диоксида углерода из атмосферы. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 20: 219–237.
- Собина А.С., Хачиков Э.А., Шмараева А.Н., Федоренко А.Н., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. 2022. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки. Агрехимический вестник, 1: 22–26. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-005.
- Сорокина О.А. 2018. Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей. Почвы и окружающая среда, 1(3): 170–179. DOI: 10.31251/pos.v1i3.40
- Терехин Э.А., Постернак Т.С. 2019. Процессы лесовозобновления на залежных землях юга Западной Сибири и их анализ с применением данных дистанционного зондирования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 16(4): 161–172. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172.
- Терехин Э.А. 2020. Влияние параметров лесных насаждений на их спектральный отклик (на примере лесов юга Среднерусской возвышенности). Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, 17(7): 142–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. 2022. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей. Почвоведение, 4: 500–510. DOI: 10.31857/S0032180X2204013X.
- Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Казеев К.Ш. 2017. Биологическая активность постагрогенного чернозема на ранних стадиях демутиации. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 19(2–2): 345–348.
- Bell S.M., Terrer C., Barriocanal C., Jackson R.B., Rosell-Melé A. 2021. Soil Organic Carbon Accumulation Rates on Mediterranean Abandoned Agricultural Lands. Science of The Total Environment, 759: 143535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143535.
- Fan X., Vrieling A., Muller B., Nelson A. 2020. Winter Cover Crops in Dutch Maize Fields: Variability in Quality and Its Drivers Assessed from Multi-Temporal Sentinel-2 Imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 91: 102139. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102139.
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. The Potential of European Abandoned Agricultural Lands to Contribute to the Green Deal Objectives: Policy Perspectives. Environmental Science & Policy, 133: 44–53. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.03.007.
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve, C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the Boreal Zone: A Modelling Approach. Forest Ecology and Management, 499: 119565. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119565.
- Immitzer M., Neuwirth M., Böck S., Brenner H., Vuolo F., Atzberger C. 2019. Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data. Remote Sensing, 11(22). DOI: 10.3390/rs11222599.
- Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lopes de Gerenu V.O., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I. 2017. Changes in Carbon Pool and CO<sub>2</sub> Emission in the Course of Postagrogenic Succession on Gray Soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. Eurasian Soil Science, 50: 559–572. DOI: 10.1134/S1064229317050076.
- Khorchani M., Nadal-Romero E., Lasanta T., Tague C. 2022. Carbon Sequestration and Water Yield Tradeoffs Following Restoration of Abandoned Agricultural Lands in Mediterranean Mountains. Environmental Research, 207: 112203. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112203.
- Yin H., Brandão A., Buchner J., Helmers D., Iuliano B.G., Kimambo N.E., Lewińska K.E., Razenkova E., Rizayeva A., Rogova N., Spawn S.A., Xie Y., Radeloff V.C. 2020. Monitoring Cropland



Abandonment with Landsat Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 246: 111873.  
DOI: 10.1016/j.rse.2020.111873.

Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. *Science of The Total Environment*, 755(2): 142651.  
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142651.

## References

- Atutova Zh.V. 2020. The Current State of Fallow Lands in the Tunka Depression (Southwestern Cisbaikalia). *Geography and Natural Resources*, 2(161): 51–61 (in Russian). DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61).
- Kudryavtsev A.Yu. 2007. Vegetation Restoration Dynamics in the Forest-Steppe System of the Middle Volga Region. *Russian Journal of Ecology*, 38(5): 299–305 (in Russian). DOI: 10.1134/S1067413607050013.
- Kulik K.N., Pugacheva A.M. 2016. The Structure of Plant Communities of Fallow Land in the System of Protective Forest Plantations in Dry Steppes. *Arid Ecosystems*, 6(1): 63–69 (in Russian). DOI: 10.1134/S2079096115040058.
- Pankratova L.A., Gannibal B.K. 2009. Progressive Succession of Grass Vegetation on the Forest-Steppe Landscapes (Voronezh Province, "Divnogorie" Museum-Reserve). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, 2: 92–95 (in Russian).
- Popova A.A., Parinova T.A., Nakvasina E.N. 2019. Bio-Ecological Dynamic Analysis of Plant Communities of Self-Healing Floodplain Postagrogenic Ecosystems of the Northern Dvina River. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 1(29): 30–40 (in Russian). DOI: 10.32516/2303-9922.2019.29.4.
- Romanovskaya A.A., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. 2005. A Role of Abandoned Land of Russia in the Removal of Carbon Dioxide from the Atmosphere. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 20: 219–237 (in Russian).
- Sobina A.S., Khachikov E.A., Shmaraeva A.N., Fedorenko A.N., Prikhod'ko V.D., Kazeev K.Sh. 2022. Biological Activity of Common Chernozem 5 Years After Termination of Agrogenic Treatment. *Agrochemical Herald*, 1: 22–26 (in Russian). DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-005.
- Sorokina O.A. 2018. Estimation of Phytomass Stock and Gray Soil Fertility of Abandoned Land. *Journal of Soils and Environment*, 1(3): 170–179 (in Russian). DOI: 10.31251/pos.v1i3.40.
- Terekhin E.A., Posternak T.S. 2019. Reforestation on Abandoned Arable Lands in the South of Western Siberia and Its Analysis Using Remote Sensing Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 16(4): 161–172 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172.
- Terekhin E.A. 2020. The Effect of Stand Parameters on the Spectral Response of Forests (Case Study of the South of the Central Russian Upland). *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 17(7): 142–154 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154.
- Titlyanova A.A., Shibareva S.V. 2022. Change in Net Primary Production and Recovery of Carbon Stock of Old Field Soils. *Pochvovedenie*, 4: 500–510 (in Russian). DOI: 10.31857/S0032180X2204013X.
- Trushkov A.V., Odabashyan M.Yu., Kazeev K.Sh. 2017. Biological Activity of Black Soil in Early Stages of Demutation. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 19: 345–348 (in Russian).
- Bell S.M., Terrer C., Barriocanal C., Jackson R.B., Rosell-Melé A. 2021. Soil Organic Carbon Accumulation Rates on Mediterranean Abandoned Agricultural Lands. *Science of The Total Environment*, 759: 143535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143535.
- Fan X., Vrieling A., Muller B., Nelson A. 2020. Winter Cover Crops in Dutch Maize Fields: Variability in Quality and Its Drivers Assessed from Multi-Temporal Sentinel-2 Imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91: 102139. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102139.
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. The Potential of European Abandoned Agricultural Lands to Contribute to the Green Deal Objectives: Policy Perspectives. *Environmental Science & Policy*, 133: 44–53. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.03.007.
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve, C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the

- Boreal Zone: A Modelling Approach. *Forest Ecology and Management*, 499: 119565. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119565.
- Immitzer M., Neuwirth M., Böck S., Brenner H., Vuolo F., Atzberger C. 2019. Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 11(22). DOI: 10.3390/rs11222599.
- Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lopes de Gerenu V.O., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I. 2017. Changes in Carbon Pool and CO<sub>2</sub> Emission in the Course of Postagrogenic Succession on Gray Soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. *Eurasian Soil Science*, 50: 559–572. DOI: 10.1134/S1064229317050076.
- Khorchani M., Nadal-Romero E., Lasanta T., Tague C. 2022. Carbon Sequestration and Water Yield Tradeoffs Following Restoration of Abandoned Agricultural Lands in Mediterranean Mountains. *Environmental Research*, 207: 112203. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112203.
- Yin H., Brandão A., Buchner J., Helmers D., Iuliano B.G., Kimambo N.E., Lewińska K.E., Razenkova E., Rizayeva A., Rogova N., Spawn S.A., Xie Y., Radeloff V.C. 2020. Monitoring Cropland Abandonment with Landsat Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 246: 111873. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111873.
- Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. *Science of The Total Environment*, 755(2): 142651. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142651.

*Поступила в редакцию 14.06.2022;  
поступила после рецензирования 11.07.2022;  
принята к публикации 26.08.2022*

*Received June 14, 2022;  
Revised July 11, 2022;  
Accepted August 26, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Терехин Эдгар Аркадьевич**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов; доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Edgar A. Terekhin**, PhD in Geography, Senior Researcher, Department of Geoinformatics, Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 911.52  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-366-377

## Оценка состояния и геоинформационное моделирование постпирогенной динамики участка Большого Васюганского болота

Синюткина А.А., Гашкова Л.П.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,  
филиал Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа,  
Россия, 634050, г. Томск, ул. Гагарина, 3  
E-mail: ankalaeva@yandex.ru

**Аннотация.** Изучение постпирогенной динамики растительного покрова болот является одной из ключевых задач в оценке трансформации глобального цикла углерода. В статье представлены оценки трансформации растительного покрова в результате пирогенной нагрузки, современного состояния и интенсивности восстановления пирогенного участка в пределах Большого Васюганского болота через пять лет после пожара с использованием материалов полевых ландшафтных исследований и спутниковых данных Sentinel-2. Стабилизация значений NDVI на уровне, близком к невыгоревшему болоту, произошла уже через два-три года после пожара за счет быстрого возобновления кустарничков и интенсивного зарастания видами, не характерными для верховых болот (*Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Polytrichum strictum*). Несмотря на высокие значения вегетационного индекса, полное восстановление экосистемной функции болота – накопление углерода, через 5 лет после пожара еще не произошло, что проявляется главным образом в низкой доле сфагновых мхов – основных растений-торфообразователей на верховом болоте.

**Ключевые слова:** вегетационный индекс, сукцессионная динамика, Sentinel-2, микрорельеф, сфагновые мхи, выгорание поверхности

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-44-700005 и в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки № 0778-2019-0005.

**Для цитирования:** Синюткина А.А., Гашкова Л.П. 2022. Оценка состояния и геоинформационное моделирование постпирогенной динамики участка Большого Васюганского болота. Региональные геосистемы, 46(3): 366–377. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-366-377

---

## State Assessing and GIS Modeling of the Post-Pyrogenic Dynamics of the Great Vasyugan Mire Site

Anna A. Sinyutkina, Lyudmila P. Gashkova

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences,  
Branch Siberian Research Institute of Agriculture and Peat,  
3 Gagarina St, Tomsk 634050, Russia  
E-mail: ankalaeva@yandex.ru

**Abstract.** The study of the post-pyrogenic dynamics of vegetation cover is one of the key tasks in assessing the transformation of the global carbon cycle. The article presents estimates of the transformation of vegetation cover as a result of pyrogenic load, the current state and intensity of restoration of the pyrogenic area within the Great Vasyugan Mire five years after the fire. The study area includes the drained in 1980s and burned in 2016 site of the pine dwarf shrub sphagnum bog with area 5.5 km<sup>2</sup>. The study based on field research data carried out in 2021 on 15 plots within key site and Sentinel-2 data for period 2016–2021. We used Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to estimate the vegetation dynamic within sites with

different intense of pyrogenic load. Field studies showed intensive overgrowth of *Polytrichum strictum* of burnt-out hollows, renewal of sphagnum mosses on hummocks with dead moss cover and burnt-out hollows with an average occurrence of 0.14, regrowth of dwarf shrubs, the appearance of birch, aspen and pine. The stabilization of NDVI values at a level close to the unburned mire occurred already 2–3 years after the wildfire due to the rapid renewal of shrubs and intensive overgrowth by species not characteristic to bogs (*Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Polytrichum strictum*). Despite the high values of the vegetation index, the complete restoration of the ecosystem function of the bog – the accumulation of carbon 5 years after the fire has not yet occurred, which is manifested mainly in the low proportion of the main peat-forming plants of the bog – sphagnum mosses.

**Keywords:** vegetation index, succession dynamics, Sentinel-2, microtopography, *Sphagnum*, surface burnout

**Acknowledgements:** The research was carried out with financial support of the RFBR in the framework of the scientific project No. 18-44-700005 and was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under Research Project № 0778-2019-0005.

**For citation:** Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. 2022. State Assessing and GIS Modeling of the Post-Pyrogenic Dynamics of the Great Vasyugan Mire Site. *Regional Geosystems*, 46(3): 366–377 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-366-377

---

## Введение

Торфяные болота являются ценными природными объектами, предоставляющими множество экосистемных функций – защиту биоразнообразия, регулирование стока, баланс парниковых газов [Knox et al., 2017; Minayeva et al., 2017; Amani et al., 2018]. В пределах торфяных болот естественный баланс первичного производства и распада на протяжении всего голоцена был смещен в сторону накопления частично разложившегося органического вещества в виде торфа благодаря высокому уровню болотных вод и плохой аэрации [Minkinen and Laine, 1998; Vason et al., 2017; Laine et al., 2019]. Торфяные болота содержат около 650 Гт или 30 % планетарных запасов почвенного углерода [Peatlands mapping..., 2020]. Одним из наиболее значимых факторов потерь углерода на болотах являются пожары [Глухова, Сирин, 2018; Сизов и др., 2020]. Они уничтожают значительное количество органического вещества и быстро переносят большие запасы наземного углерода в атмосферу [Lin et al., 2021]. Современные климатические изменения и антропогенная нагрузка увеличивают продолжительность и тяжесть пожароопасного периода, поэтому болота становятся более уязвимы для природных пожаров, увеличивается их частота и интенсивность, что является особенно актуальным для бореальной зоны в целом и Западной Сибири в частности [Moore et al., 2017; Feurdean et al., 2020; Ackley et al., 2021; Lin et al., 2021]. Особенно актуальной проблема пожаров является для осушенных болот, подверженных более длительному периоду тления и большей интенсивности выгорания в сравнении с естественными [Kettridge et al., 2014].

На территории Томской области в 1970–1980 гг. проведены масштабные работы по осушению верховых болот, в том числе были осушены участки северо-восточных отрогов Большого Васюганского болота на общей площади около 150 км<sup>2</sup>. Осушение верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот не привело к ожидаемому эффекту увеличения бонитета древесного яруса, а снижение уровня болотных вод и доступность местному населению стали основными причинами возникновения пожаров на данной территории. К 2020 г. общая площадь выгорания достигла 38 км<sup>2</sup> [Sinyutkina, 2021].

Пожары на верховых болотах существенно влияют на видовое богатство, структуру фитоценозов, темпы накопления биомассы. Воздействие пожаров может трансформировать экосистемы верховых болот из поглотителей углерода в источник не только за счет прямых его выбросов при сгорании биомассы, но и за счет смены структуры растительно-



го сообщества и функционирования экосистемы [Копотева, Купцова, 2016; Малащук, Филиппов, 2021]. Деструкция растительных остатков и потери органического вещества при разложении сосудистых растений и зеленых мхов значительно превышают таковые у сфагновых мхов [Gunnarsson, 2005; Bragazza et al., 2009; Копотева, Купцова, 2016]. Поэтому деградация основного вида-торфообразователя верховых болот – сфагновых мхов и замещение их зелеными мхами, снижает темпы аккумуляции углерода. До сих пор остается открытым вопрос: какой период после пожара необходим для восстановления пирогенного участка в исходное состояние и перехода болотной экосистемы из состояния источника углерода в состояние стока. Это определяет необходимость проведения комплексных исследований по оценке состояния и динамики постпирогенных участков болот на территории Томской области.

Целью исследования является оценка трансформации растительного покрова в результате пирогенной нагрузки, современного состояния и интенсивности восстановления пирогенного участка через пять лет после пожара с использованием наземных и спутниковых данных.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является участок Бакчарского болотного массива (северо-восточный отрог Большого Васюганского болота) в бассейне р. Гавриловка, выгоревший в августе 2016 г. Согласно спутниковым данным *Landsat*, общая площадь распространения пожара составила 5,5 км<sup>2</sup>, а выгоранию в большей степени оказалось подвержено осушенное сосново-кустарничково-сфагновое верховое болото (рис. 1) [Sinyutkina et al., 2020].

Территория исследования относится к подзоне южной тайги Западной Сибири. Четвертичные отложения представлены озерно-аллювиальными суглинками и глинами. Климат континентальный с длинной и холодной зимой и коротким и жарким летом. Согласно данным гидрометеорологической станции в с. Бакчар, среднегодовая температура составляет 0,23 °С, ежегодное количество осадков 473 мм [Ландшафты болот..., 2012]. В 1980 г. участок Бакчарского болотного массива был осушен с целью гидролесомелиорации. В пределах осушенного участка преобладают сосново-кустарничково-сфагновые верховые болота. В настоящее время отмечается снижение водопропускной способности каналов вследствие их зарастания и заторфовывания. Более подробная характеристика осушенного участка Бакчарского болотного массива представлена в работах [Синюткина и др., 2018; Maloletko et al., 2018; Sinyutkina, 2021].

Оценка интенсивности восстановления растительного покрова постпирогенного участка через 5 лет после пожара выполнена с использованием данных полевых ландшафтных исследований, проведенных в 2021 г. на 15 модельных площадках. Полевые исследования включали следующие виды работ: геоботанические описания; определение частоты встречаемости видов мохового и травяно-кустарничкового ярусов, мощности горелого горизонта, уровня болотных вод с использованием метода линейной таксации вдоль линии профиля длиной 5 м с шагом 25 см. Определение расстояния точек полевых описаний до ближайшего осушительного канала проведено с использованием спутниковых данных.

Геоинформационное моделирование пространственно-временной неоднородности сукцессионной динамики проведено с использованием спутниковых данных *Sentinel-2* с разрешением 10 м в видимом диапазоне и 10–20 м в ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах за период 2016–2021 гг., включая снимки на даты до возникновения пожара (открытый доступ [EarthExplorer.usgs.gov](http://EarthExplorer.usgs.gov)). Для анализа использовано 36 космических снимков за вегетационный период (май – сентябрь) после спектральной и атмосферной коррекции.

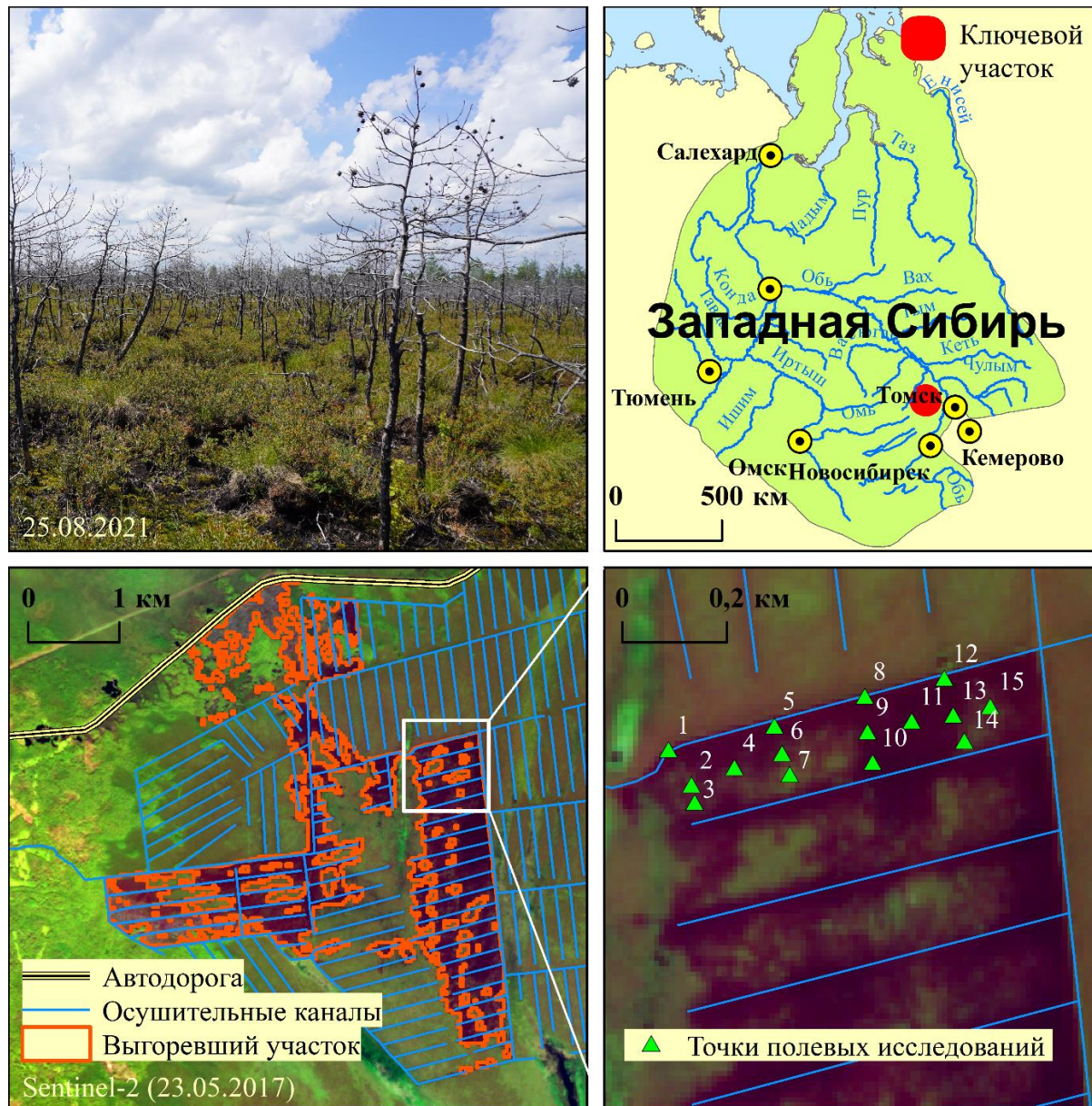


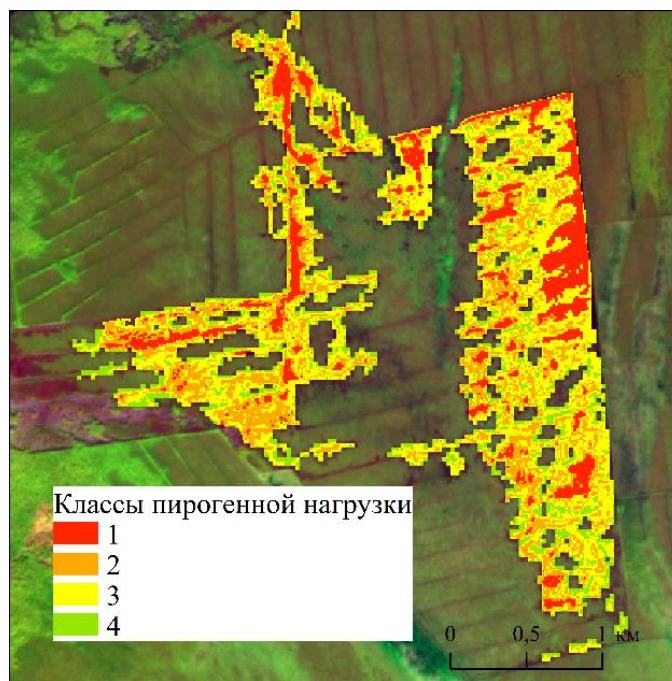
Рис. 1. Схема расположения объекта исследования  
Fig. 1. Study area

Оценка пространственной неоднородности пирогенной нагрузки проведена в пределах контура выгоревшего сосново-кустарничково-сфагнового болота с использованием снимка от 23 мая 2017 г. (начало вегетационного периода в первый год после пожара). Классификация снимка выполнена в ГИС-пакете *Quantum GIS* (версия 3.22.1) с использованием плагина полуавтоматической классификации (SCP версия 7.6.0) по четырем спектральным каналам B04, B08, B08A, B12 с длинами волн соответственно 665, 842, 865 и 2190 нм, показавшими максимальные различия значений спектральной яркости между выделенными пространственными классами. Создание обучающих выборок проведено с использованием данных полевых исследований в соответствии с выделенными кластерами (переменные кластерного анализа: доля выгоревшей поверхности; проективное покрытие: зелеными мхами, сфагновыми мхами, кустарничками, подростом, древесным ярусом). Оценка временной динамики растительного покрова выполнена с использованием нормализованного разностного вегетационного индекса *NDVI*, рассчитанного для каждого выделенного пространственного класса в пределах пирогенного участка, а также контура осушенного сосново-кустарничково-сфагнового болота за пределами пирогенного участка.



## Результаты и их обсуждение

Площадь ключевого участка составляет 4,22 км<sup>2</sup>, в том числе пирогенный участок 4,05 км<sup>2</sup>, осушенное сосново-кустарничково-сфагновое болото за пределами пирогенного контура – 0,17 км<sup>2</sup>. В пределах пирогенного контура выделено четыре пространственных класса, соответствующих участкам с разной степенью выгорания поверхности (рис. 2).



Классы пирогенной нагрузки:

- 1 – полностью выгоревшие участки;
- 2 – частично выгоревшие участки с высокой долей выгорания поверхности;
- 3 – частично выгоревшие участки со средней долей выгорания поверхности;
- 4 – частично выгоревшие участки с низкой долей выгорания поверхности

Рис. 2. Карта классов пирогенной нагрузки

Fig. 2. Map of pyrogenic load classes

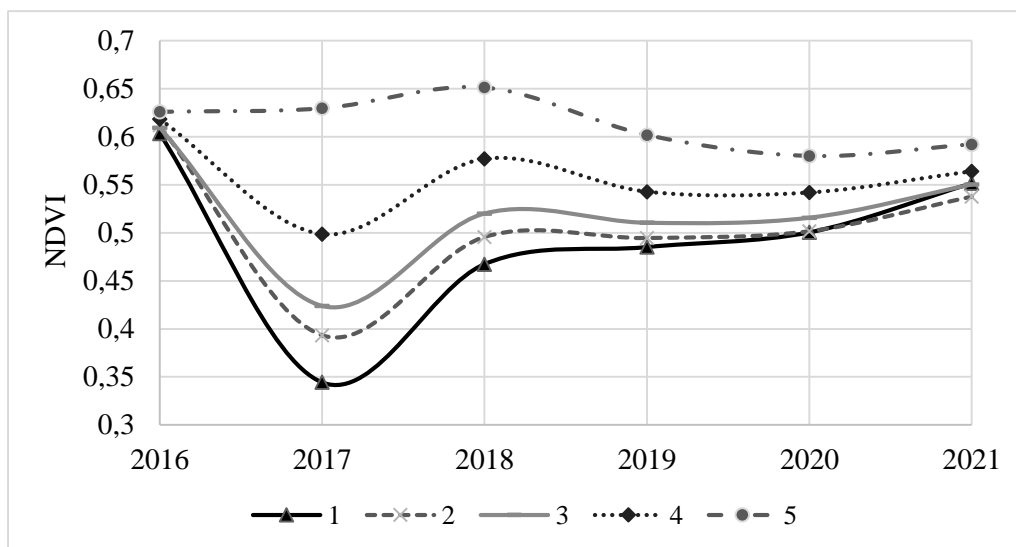
Частично выгоревшие контуры с высокой, средней и низкой долей выгорания занимают соответственно 27, 42 и 15 % площади ключевого участка. Контуры имеют пятнистый рисунок, большая степень выгорания характерна для участков вдоль каналов. Контуры с низкой долей выгорания обычно распространены узкой полосой вдоль невыгоревших участков внутри основного контура пирогенного участка. Согласно данным полевых исследований, уровень болотных вод на частично выгоревших площадках изменяется в пределах 20–30 см ниже поверхности. В пределах площадок с низкой долей выгорания поверхности (менее 40 %) горелый слой присутствует только в понижениях микрорельефа, а на положительных формах сохранилась моховая и кустарничковая растительность. Большую часть почвенного покрова на невыгоревших кочках занимает погибший *Sphagnum fuscum*. Для площадок характерна максимальная встречаемость сфагновых мхов и кустарничков, самая высокая доля *Sphagnum angustifolium* среди выгоревшего болота. Частота встречаемости *Polytrichum strictum* не превышает 0,5, на отдельных участках он совсем отсутствует. На площадках с более интенсивной пирогенной нагрузкой выгоранию были подвержены не только отрицательные, но и положительные формы микрорельефа, а общая доля выгоревшей поверхности достигала 75 %. В настоящее время происходит интенсивное зарастание *Polytrichum strictum*, частота встречаемости которого в пределах отрицательных форм достигает 1, и он отсутствует только на самых высоких элементах микрорельефа.

Полностью выгоревшие контуры занимают 16 % площади ключевого участка, расположены преимущественно вдоль осушительных каналов и часто имеют вытянутую форму. Согласно данным полевых исследований, полностью выгоревшие площадки характеризуются более низким уровнем болотных вод (30–42 см ниже поверхности). Для площадок характерно интенсивное зарастание *Polytrichum strictum*, частота встречаемости которого достигает 0,9. Сфагновые мхи здесь полностью отсутствуют, либо имеют низкую частоту встречаемости, не превышающую 0,2. Частота встречаемости кустарничков не превышает 0,3. Для площадок характерна большая доля открытой поверхности, достигающая 50 %.

На невыгоревшем участке осушенного болота среднее значение *NDVI* за весь период наблюдения 2016–2021 гг. составило 0,61. Максимальное значение (0,70) отмечено 1 августа 2018 г., низкие значения характерны для мая, когда *NDVI* изменяется в пределах 0,4–0,5 с минимумом в 2021 г. Рост значений обычно наблюдается до середины июня–начала июля, после чего происходит их стабилизация на уровне около 0,6. Во второй половине сентября отмечается некоторое снижение значений. Средняя амплитуда колебаний *NDVI* за вегетационный период составила 0,12. Для пирогенного участка среднее значение *NDVI* составило 0,50. Сезонная амплитуда колебаний *NDVI* в пределах всех выделенных классов пирогенного участка выше в сравнении с невыгоревшим. Отмечен рост амплитуды значений *NDVI* с увеличением доли выгорания поверхности от 0,14, на участках с низкой долей выгорания до 0,20, на полностью выгоревших участках. Увеличение амплитуды объясняется замещением вечнозеленых видов, характерных для сосново-кустарничковых болот – сосны и вересковых кустарничков, на листопадные виды – березу и осину. Таким образом, данный показатель может быть использован для оценки степени восстановления выгоревших участков к исходному состоянию.

В течение первой половины вегетационного периода (май – июль) 2016 г. до возникновения пожара все пространственные классы характеризовались схожими средними значениями *NDVI* (0,60–0,62) (рис. 3). В начале сентября 2016 г., сразу после пожара, значения *NDVI* пирогенного участка уменьшились в 1,3–1,9 раз в сравнении с фоновым невыгоревшим участком. Минимальное значение (0,10) было отмечено 23 мая 2017 г. в пределах полностью выгоревших участков, что соответствует практически полному отсутствию растительного покрова. В течение 2017 г. значения *NDVI* продолжали сохраняться низкими в пределах 0,2–0,5, что было ниже в сравнении с невыгоревшим участком в 1,8 раз в пределах полностью выгоревших участков и в 1,3–1,6 раз ниже в пределах частично выгоревших участков с разной степенью выгорания. С 2018 г. различия между невыгоревшим и пирогенными участками начали сокращаться, в 2018 г. наблюдается превышение значений *NDVI* в 1,1–1,4 раза, а в 2019–2020 гг. в 1,1–1,2 раза. В 2021 г. значения *NDVI* участков с низкой долей выгорания уже не отличаются от невыгоревшего участка, на остальных пирогенных участках продолжают сохраняться более низкие значения, но превышение значений невыгоревшего участка всего в 1,1 раза.

За период 2017–2021 гг. наиболее интенсивный рост значений *NDVI* (в 1,6 раз) был характерен для полностью выгоревших участков, наименьший – для частично выгоревших участков с низкой степенью выгорания (1,1 раз). Наиболее интенсивный рост был характерен для 2018 года, когда значения *NDVI* увеличились в 1,4 раза в пределах полностью выгоревших участков и в 1,2–1,3 раза – в пределах частично выгоревших, в сравнении с предыдущим годом. В 2019–2020 гг. незначительный рост наблюдался только в пределах полностью выгоревших участков (в 1,05 раз), в то время как на частично выгоревших участках значения *NDVI* сохранялись на одном уровне относительно невыгоревшего болота. Следует отметить, что от года к году уменьшалась разница значений *NDVI* между пирогенными участками с разной степенью выгорания от 1,4 раз в 2017 г. до 1,1 в 2019 г., в 2021 г. различия уже не наблюдаются.



1 – полностью выгоревшие участки; 2 – частично выгоревшие участки с высокой долей выгорания поверхности; 3 – частично выгоревшие участки со средней долей выгорания поверхности; 4 – частично выгоревшие участки с низкой долей выгорания поверхности; 5 – невыгоревший участок.

Рис. 3. Динамика среднесезонных значений *NDVI* за период 2016–2021 гг.

Fig. 3. Temporal dynamics of the *NDVI* values (average per vegetation season) for 2016–2021 years

Оценка состояния и интенсивности восстановления растительного покрова пирогенного участка через пять лет после пожара показала следующие закономерности. Зарастание сфагновыми мхами выгоревшей поверхности через пять лет после пожара минимально и отмечено не на всех площадках. Средняя встречаемость сфагновых мхов на выгоревшей поверхности составляет 0,14 и между площадками отличается в пределах 0–0,5. На полностью выгоревших площадках сфагновые мхи часто отсутствуют. Для всех площадок характерно интенсивное восстановление кустарничкового яруса за счет отрастания новых побегов от сохранившихся корневищ, зарастание осиной и березой со средним проективным покрытием 5–10 % и высотой около 20 см. На полностью выгоревших площадках зарастание происходит более интенсивно, максимальное проективное покрытие достигает 20 %, а высота 60 см. На отдельных площадках отмечено появление единичных всходов сосны высотой до 10 см. В растительном покрове пирогенного участка через 5 лет после пожара распространены виды, как типичные для ненарушенных верховых сосново-кустарничково-сфагновых верховых болот (*Pinus sylvestris*, *Chamaedaphne calyculata*, *Rhododendron tomentosum*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum*, *Oxycoccus microcarpus*, *Sphagnum fuscum*, *S. magellanicum*, *S. balticum*, *S. angustifolium*), так и виды, отражающие постпирогенную трансформацию участка (*Betula pubescens*, *Populus tremula*, *Polytrichum strictum*).

Выявленные тенденции пирогенной трансформации и восстановления растительного покрова верховых болот в целом согласуются с результатами исследований, проведенных в других регионах [Вомперский и др., 2007; Thompson, Waddington, 2013; Kettridge et al., 2014; Moore et al., 2017; Малащук, Филиппов, 2021], но имеется ряд особенностей, характерных для выгоревшего участка Бакчарского болота. Например, в результате пожара на осушенном верховом болоте Вологодской области в течение 10–12 лет происходит замещение сосны березой, сфагновых мхов – на *Polytrichum* [Малащук, Филиппов, 2021]. На исследуемом нами ключевом участке через 5 лет после пожара уже отмечается присутствие видов сфагновых мхов не только на сохранившихся моховых подушках, но и на выгоревшей поверхности, а также появление всходов сосны.

В результате исследования на Бакчарском болоте отмечено, что для понижений микрорельефа характерна большая степень выгорания в сравнении с положительными формами. Полученная закономерность согласуется с исследованиями, проведенными на верховом сфагновом болоте в Канаде [Thompson, Waddington, 2013]. При этом авторами отмечено, что несмотря на меньшую глубину горения на положительных формах, для них характерно большее нарушение гидрологического равновесия и гидрологических условий, что будет сказываться на восстановлении сфагновой растительности. Это может быть связано с нарушением верхнего слоя торфяной залежи в результате пожара и нарушением водоотталкивающей способности поверхности, которая является одним из факторов, определяющих способность восстановления растительности на выгоревших участках [Moore et al., 2017]. Вероятно, торф приобретает водоотталкивающие свойства после высыхания под воздействием испарения при экстремальных температурах во время пожара [Kettridge et al., 2014]. Водоотталкивающая способность поверхности значительно выше на сгоревшем болоте и более выражена у зеленого мха в сравнении со сфагновым, вне зависимости от степени выгорания. Сфагновые мхи и сфагновый торф обладают низкой водоотталкивающей способностью и более эффективно удерживают воду. В результате выгорания способность мхов удерживать воду снижается, но в некоторых случаях в понижениях микрорельефа выгорание верхнего слоя и обнажение сфагнового торфа способствует снижению водоотталкивающей способности и более интенсивному восстановлению сфагновых мхов в сравнении с повышениями [Moore et al., 2017]. На изучаемом нами ключевом участке отмечено появление сфагновых мхов в выгоревших понижениях микрорельефа, что подтверждает рассмотренные закономерности.

Анализ спутниковых данных, в том числе с использованием вегетационных индексов, является наиболее часто используемым подходом для определения последствий пожара, оценки общей площади выгорания и постпирогенной динамики [Lees et al., 2018; Rein, Huang, 2021]. Проведенные нами исследования показали быстрый рост значений *NDVI* на пирогенном участке, которые через 4–5 лет после пожара уже практически достигли уровня невыгоревшего болота, главным образом за счет разрастания кустарничков и появления подроста осины и березы, обладающими большей фитомассой в сравнении с исходной растительностью сосново-кустарничково-сфагнового болота. Схожие результаты получены в результате исследования последствий пожара на болотах северной части Западной Сибири [Сизов и др., 2020]. На основе определения индекса *NDVI* представлены оценки объемов фитомассы на участках разновременных гарей. Отмечено увеличение запасов фитомассы в сравнении с фоновыми участками на старовозрастных гарях (2001, 1988, 1969 гг.). Для самых старых гарей характерны максимальные значения *NDVI*, что свидетельствует о длительности сохранения условий доминирования лиственной древесной растительности на месте сгоревшей мохово-лишайниковой [Сизов и др., 2020].

### Заключение

В результате исследования получена оценка интенсивности восстановления растительного покрова постпирогенного участка на Бакчарском болотном массиве (отрог Большого Васюганского болота) через 5 лет после пожара 2016 г.; проведено геоинформационное моделирование пространственно-временной неоднородности сукцессионной динамики на постпирогенном участке с использованием материалов полевых исследований и спутниковых данных.

Полевые исследования на модельных площадках показали интенсивное зарастание *Polytrichum strictum* выгоревших понижений микрорельефа, возобновление сфагновых мхов как на моховых подушках с мертвым моховым покровом, так и в выгоревших понижениях со средней встречаемостью 0,14, отрастание кустарничков, появление подроста березы и осины и единичных всходов сосны. В результате геоинформационного анализа



пирогенного участка с использованием спутниковых данных *Sentinel-2* за период 2016–2021 гг. отмечено, что для большей части (84 %) пирогенного участка характерно частичное выгорание поверхности, а 16 % выгорело полностью. Стабилизация значений *NDVI* на уровне, близком к невыгоревшему болоту, произошла уже через 3–4 года после пожара за счет быстрого возобновления кустарничкового яруса и интенсивного зарастания видами, не характерными для верховых болот. Амплитуда внутрисезонных колебаний *NDVI* отличается между пирогенным и невыгоревшим участками болота, поэтому данный показатель может быть использован для оценки степени восстановления выгоревших участков к исходному состоянию. Несмотря на высокие значения вегетационного индекса, отражающие интенсивное зарастание пирогенного участка, полное восстановление экосистемной функции болота (накопление углерода) через 5 лет после пожара еще не произошло, что проявляется главным образом в низкой доле основных растений-торфообразователей на верховом болоте – сфагновых мхов.

### Список литературы

- Вомперский С.Э., Глухова Т.В., Смагина М.В., Ковалев А.Г. 2007. Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах. Лесоведение, 6: 35–44.
- Глухова Т.В., Сиринов А.А. 2018. Потери почвенного углерода при пожаре на осушенном лесном верховом болоте. Почвоведение, 5: 580–588. DOI: 10.7868/S0032180X18050076.
- Копотева Т.А., Купцова В.А. 2016. Влияние пожаров на функционирование фитоценозов торфяных болот Среднеамурской низменности. Экология, 1: 14–21. DOI: 10.7868/S0367059715060086.
- Ландшафты болот Томской области. 2012. Под ред. Н.С. Евсеевой. Томск, Издательство научно-технической литературы, 400 с.
- Малащук А.А., Филиппов Д.А. 2021. Постпирогенная динамика растительного покрова верхового болота Барское (Вологодская область). Трансформация экосистем, 4(1(11)): 104–121. DOI: 10.23859/estr-200512.
- Сизов О.С., Цымбарович П.Р., Ежова Е.В., Соромотин А.В., Приходько Н.В. 2020. Оценка постпирогенной динамики тундровой растительности на севере Западной Сибири за последние 50 лет (1968–2018) на основе данных ДЗЗ детального и высокого разрешения. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 17(4): 137–153. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-137-153.
- Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Малолетко А.А., Магур М.Г., Харанжевская Ю.А. 2018. Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верховых болот юго-востока Западной Сибири. Вестник Томского государственного университета. Биология, 43: 196–223. DOI: 10.17223/19988591/43/10.
- Ackley C., Tank S.E., Haynes K.M., Rezanezhad F., McCarter C., Quintona W.L. 2021. Coupled Hydrological and Geochemical Impacts of Wildfire in Peatland-Dominated Regions of Discontinuous Permafrost. Science of the Total Environment, 782: 146841. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146841.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B. 2018. Spectral Analysis of Wetland Using Multi-Source Optical Satellite Imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 144: 119–136. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005.
- Bacon K.L., Baird A.J., Blundell A., Bourgault M.-A., Chapman P.J., Dargie G., Dooling G.P., Gee C., Holden J., Kelly T., McKendrick-Smith K.A., Morris P.J., Noble A., Palmer S.M., Quillet A., Swindles G.T., Watson E.J., Young D.M. 2017. Questioning ten common assumptions about peatlands. Mire Peat, 19(12): 1–23. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.253.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A., Mitchell E.A.D. 2009. Plant litter decomposition and nutrient release in peatlands. Carbon Cycling in Northern Peatlands, 184: 99–110. DOI: 10.1029/2008GM000815.
- Gunnarsson U. 2005. Global patterns of Sphagnum productivity. Journal of Bryology, 27(3): 269–279. DOI: 10.1179/174328205X70029.
- Peatlands mapping and monitoring – Recommendations and technical overview. 2020. Rome, FAO, 78 p.

- Feurdean A., Florescu G., Tantau I., Vanniere B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S. M., Gorina N., Gałka M., Kirpotin S. 2020. Recent Fire Regime in the Southern Boreal Forests of Western Siberia is Unprecedented in the Last Five Millennia. *Quaternary Science Reviews*, 244: 106495. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106495.
- Kettridge N., Humphrey R.E., Smith J.E., Lukenbach M.C., Devito K.J., Petrone R.M., Waddington J.M. 2014. Burned and Unburned Peat Water Repellency: Implications for Peatland Evaporation Following Wildfire. *Journal of Hydrology*, 513: 335–341. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.019.
- Knox S.H., Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. 2017. Using Digital Camera and Landsat Imagery with Eddy Covariance Data to Model Gross Primary Production in Restored Wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238: 233–245. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.02.020.
- Laine A.M., Mehtatalo L., Tolvanen A., Frolking S., Tuittil E.-S. 2019. Impacts of Drainage, Restoration and Warming on Boreal Wetland Greenhouse Gas Fluxes. *Science of the Total Environment*, 647: 169–181. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.390.
- Lees K.J., Quaipe T., Artz R.R.E., Khomik M., Clark J.M. 2018. Potential for Using Remote Sensing to Estimate Carbon Fluxes Across Northern Peatlands – A Review. *Science of the Total Environment*, 615: 857–874. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.103.
- Lin S., Liu Ya., Huang X. 2021. Climate-Induced Arctic-Boreal Peatland Fire and Carbon Loss in the 21st Century. *Science of the Total Environment*, 796: 148924. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148924.
- Maloletko A.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Yu.A., Magur M.G., Voistinova E.S., Ivanova E.S., Chudinovskaya L.A., Khaustova A.A. 2018. Effects of Long-Term Drainage on Vegetation, Surface Topography, Hydrology and Water Chemistry of North-Eastern Part of Great Vasyugan Mire (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 211: 012033. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012033.
- Minayeva T.Y., Bragg O.M., Sirin A.A. 2017. Towards Ecosystem-Based Restoration of Peatland Biodiversity. *Mire Peat*, 19(1): 1–36. DOI: 10.19189/MaP.2013.OMB.150.
- Minkkinen K., Laine J. 1998. Long-Term Effect of Forest Drainage on the Peat Carbon Stores of Pine Mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(9): 1267–1275. DOI: 10.1139/x98-104.
- Moore P.A., Lukenbach M.C., Kettridge N., Petrone R.M., Devito K.J., Waddington J.M. 2017. Peatland Water Repellency: Importance of Soil Water Content, Moss Species, and Burn Severity. *Journal of Hydrology*, 554: 656–665. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.036.
- Rein G., Huang X. 2021. Smouldering Wildfires in Peatlands, Forests and the Arctic: Challenges and Perspectives. *Environmental Science and Health*, 24: 100296. DOI:10.1016/j.coesh.2021.100296.
- Sinyutkina A. 2021. Drainage Consequences and Self-Restoration of Drained Raised Bogs in the South-Eastern Part of Western Siberia: Peat Accumulation and Vegetation Dynamics. *Catena*, 205: 105464. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105464.
- Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Koronatova N.G., Maloletko A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Russkikh I.V., Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Vishnyakova E.K. Kharanzhevskaya Yu.A. 2020. Post-Fire Ecological Consequences within the Drained Site of the Great Vasyugan Mire: Retrospective Water-Thermal Regime and Pyrogenic Disturbance Estimation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 408: 012037. DOI:10.1088/1755-1315/408/1/012037.
- Thompson D.K., Waddington J.M. 2013. Wildfire Effects on Vadose Zone Hydrology in Forested Boreal Peatland Microforms. *Journal of Hydrology*, 486: 48–56. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.01.014.

## References

- Vomperskii S.E., Glukhova T.V., Smagina M.V., Kovalev A.G. 2007. The Conditions and Consequences of Fires in Pine Forests on Drained Bogs. *Russian Journal of Forest Science*, 6: 35–44 (in Russian).
- Glukhova T.V., Sirin A.A. 2018. Losses of Soil Carbon Upon a Fire on a Drained Forested Raised Bog. *Eurasian Soil Science*, 51(5): 542–549 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229318050034.
- Kopoteva T.A., Kuptsova V.A. 2016. Effect of Fires on the Functioning of Phytocenoses of Peat Bogs in the Middle-Amur Lowland. *Russian Journal of Ecology*, 47(1): 11–18 (in Russian). DOI: 10.1134/S1067413615060089.
- Landshafty bolot Tomskoy oblasti [Mire landscapes of Tomsk region]. 2012. Tomsk, Publ. nauchno-tekhnicheskoy literatury, 400 p.



- Malashchuk A.A., Philippov D.A. 2021. Post-Pyrogenic Dynamics of the Vegetation Cover of the Barskoe Raised Bog (Vologda Region, Russia). *Ecosystem Transformation*, 4(1(11)): 104–121 (in Russian). DOI: 10.23859/estr-200512.
- Sizov O.S., Tsymbarovich P.R., Ezhova E.V., Soromotin A.V., Prikhodko N.V. 2020. Assessment of the Post-Pyrogenic Dynamics of Tundra Vegetation in the Northern Part of Western Siberia Over the Past 50 Years (1968–2018) Based on Detailed and High Resolution Remote Sensing Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 17(4): 137–153 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-137-153.
- Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Maloletko A.A., Magur M.G., Kharanzhevskaya Y.A. 2018. Transformation of the Surface and Vegetation Cover of Drained Bogs in Tomsk Region. *Tomsk State University Journal of Biology*, 43: 196–223 (in Russian). DOI: 10.17223/19988591/43/10.
- Ackley C., Tank S.E., Haynes K.M., Rezanezhad F., McCarter C., Quintona W.L. 2021. Coupled Hydrological and Geochemical Impacts of Wildfire in Peatland-Dominated Regions of Discontinuous Permafrost. *Science of the Total Environment*, 782: 146841. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146841.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B. 2018. Spectral Analysis of Wetland Using Multi-Source Optical Satellite Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144: 119–136. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005.
- Bacon K.L., Baird A.J., Blundell A., Bourgault M.-A., Chapman P.J., Dargie G., Dooling G.P., Gee C., Holden J., Kelly T., McKendrick-Smith K.A., Morris P.J., Noble A., Palmer S.M., Quillet A., Swindles G.T., Watson E.J., Young D.M. 2017. Questioning ten common assumptions about peatlands. *Mire Peat*, 19(12): 1–23. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.253.
- Bragazza L., Buttler A., Siegenthaler A., Mitchell E.A.D. 2009. Plant litter decomposition and nutrient release in peatlands. *Carbon Cycling in Northern Peatlands*, 184: 99–110. DOI: 10.1029/2008GM000815.
- Gunnarsson U. 2005. Global patterns of Sphagnum productivity. *Journal of Bryology*, 27(3): 269–279. DOI: 10.1179/174328205X70029.
- Peatlands mapping and monitoring – Recommendations and technical overview. 2020. Rome, FAO, 78 p.
- Feurdean A., Florescu G., Tantau I., Vanniere B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S. M., Gorina N., Gałka M., Kirpotin S. 2020. Recent Fire Regime in the Southern Boreal Forests of Western Siberia is Unprecedented in the Last Five Millennia. *Quaternary Science Reviews*, 244: 106495. DOI: 10.1016/j.quascirev.2020.106495.
- Kettridge N., Humphrey R.E., Smith J.E., Lukenbach M.C., Devito K.J., Petrone R.M., Waddington J.M. 2014. Burned and Unburned Peat Water Repellency: Implications for Peatland Evaporation Following Wildfire. *Journal of Hydrology*, 513: 335–341. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.019.
- Knox S.H., Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. 2017. Using Digital Camera and Landsat Imagery with Eddy Covariance Data to Model Gross Primary Production in Restored Wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238: 233–245. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.02.020.
- Laine A.M., Mehtatalo L., Tolvanen A., Frolking S., Tuittil E.-S. 2019. Impacts of Drainage, Restoration and Warming on Boreal Wetland Greenhouse Gas Fluxes. *Science of the Total Environment*, 647: 169–181. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.390.
- Lees K.J., Quaipe T., Artz R.R.E., Khomik M., Clark J.M. 2018. Potential for Using Remote Sensing to Estimate Carbon Fluxes Across Northern Peatlands – A Review. *Science of the Total Environment*, 615: 857–874. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.103.
- Lin S., Liu Ya., Huang X. 2021. Climate-Induced Arctic-Boreal Peatland Fire and Carbon Loss in the 21st Century. *Science of the Total Environment*, 796: 148924. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148924.
- Maloletko A.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Yu.A., Magur M.G., Voistinova E.S., Ivanova E.S., Chudinovskaya L.A., Khaustova A.A. 2018. Effects of Long-Term Drainage on Vegetation, Surface Topography, Hydrology and Water Chemistry of North-Eastern Part of Great Vasyugan Mire (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 211: 012033. DOI: 10.1088/1755-1315/211/1/012033.
- Minayeva T.Y., Bragg O.M., Sirin A.A. 2017. Towards Ecosystem-Based Restoration of Peatland Biodiversity. *Mire Peat*, 19(1): 1–36. DOI: 10.19189/MaP.2013.OMB.150.



- Minkinen K., Laine J. 1998. Long-Term Effect of Forest Drainage on the Peat Carbon Stores of Pine Mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(9): 1267–1275. DOI: 10.1139/x98-104.
- Moore P.A., Lukenbach M.C., Kettridge N., Petrone R.M., Devito K.J., Waddington J.M. 2017. Peatland Water Repellency: Importance of Soil Water Content, Moss Species, and Burn Severity. *Journal of Hydrology*, 554: 656–665. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.036.
- Rein G., Huang X. 2021. Smouldering Wildfires in Peatlands, Forests and the Arctic: Challenges and Perspectives. *Environmental Science and Health*, 24: 100296. DOI:10.1016/j.coesh.2021.100296.
- Sinyutkina A. 2021. Drainage Consequences and Self-Restoration of Drained Raised Bogs in the South-Eastern Part of Western Siberia: Peat Accumulation and Vegetation Dynamics. *Catena*, 205: 105464. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105464.
- Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Koronatova N.G., Maloletko A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Russkikh I.V., Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Vishnyakova E.K. Kharanzhevskaya Yu.A. 2020. Post-Fire Ecological Consequences within the Drained Site of the Great Vasyugan Mire: Retrospective Water-Thermal Regime and Pyrogenic Disturbance Estimation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 408: 012037. DOI:10.1088/1755-1315/408/1/012037.
- Thompson D.K., Waddington J.M. 2013. Wildfire Effects on Vadose Zone Hydrology in Forested Boreal Peatland Microforms. *Journal of Hydrology*, 486: 48–56. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.01.014.

*Поступила в редакцию 12.04.2022;  
поступила после рецензирования 05.05.2022;  
принята к публикации 06.05.2022*

*Received April 12, 2022;  
Revised May 05, 2022;  
Accepted May 06, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Синюткина Анна Алексеевна**, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия

**Гашкова Людмила Павловна**, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anna A. Sinyutkina**, senior researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia

**Lyudmila P. Gashkova**, senior researcher of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia





УДК 801.311+910.27  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-378-397

## Картографическая модель трансформации гидронимов Крыма

<sup>1</sup> Лисецкий Ф.Н., <sup>2</sup> Буряк Ж.А.

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет,  
Россия, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18,

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: fnliset@mail.ru; buryak@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Полиэтнический состав населения на Крымском полуострове, претерпевавший значительные изменения на протяжении столетий, определял формирование динамичной топонимической системы региона. Это нашло свое отражение на разновременных картах, созданных картографами разных стран на протяжении двух последних веков. Цель исследования состояла в установлении временных и территориальных особенностей трансформации тюркской топонимической системы Крыма с использованием наименования рек и озёр. Созданная база данных региональной гидрографии включают 68 потамонимов и 43 лимнонима нетюркской этимологии, что составляет 46 % и 94 % от общего их количества соответственно. Среди выделенных семи историко-географических периодов в интервале с 1774 по 2000 гг. самые активные переименования рек с наибольшей площадью водосбора произошли в периоды 1774–1792 гг. и 1953–1955 гг. Картографическая визуализация территориального распределения 74 гидронимов по трем основным типам с различной степенью их трансформации показала, что современное наименование с трансформированной корневой основой или составное двуязычное название, которое в 2,5 раза чаще характеризует потамонимы, чем лимнонимы, больше представлено для бассейнов рек Равнинного Крыма.

**Ключевые слова:** географические карты, Крым, гидронимика, тюркско-крымские гидронимы, геоинформационные системы

**Благодарности:** Исследование выполнено при поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (в рамках проекта «Геоинформационная система «Этноархеология и этнодемография Крымского полуострова» (ID 49228)).

**Для цитирования:** Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А. 2022. Картографическая модель трансформации гидронимов Крыма. Региональные геосистемы, 46(3): 378–397. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-378-397

---

## Cartographic Model for the Transformation of Crimean Hydronyms

<sup>1</sup> Fedor N. Lisetskii, <sup>2</sup> Zhanna A. Buryak

<sup>1</sup> Kazan Federal University,  
18 Kremlyovskaya St, Kazan 420008, Russia

<sup>2</sup> Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

E-mail: liset@bsu.edu.ru, buryak@bsu.edu.ru

**Abstract.** The multi-ethnic composition of the population on the Crimean Peninsula, which has undergone significant changes over the centuries, determined the formation of a dynamic toponymic system in the region. This was reflected in the multi-temporal maps that were created by cartographers from different countries over the past two centuries. The purpose of the study was to establish the temporal and territorial features of the transformation of the Turkic toponymic system of Crimea, using

the names of rivers and lakes. The created database of regional hydrography includes 68 potamonyms and 43 limonyms of non-Turkic etymology, which is 46 % and 94 % of their total number, respectively. Among the identified seven historical and geographical periods in the interval from 1774 to 2000, the most active renaming of rivers with the largest catchment area occurred in the periods 1774–1792 and 1953–1955. Cartographic visualization of the territorial distribution of 74 hydronyms according to three main types with different degrees of their transformation showed that the modern name with a transformed root base or a compound bilingual name, which characterizes potamonyms 2.5 times more often than limonyms, is more represented for the river basins of the Plain Crimea.

**Keywords:** geographical maps, Crimea, hydronymy, Turkic-Crimean hydronyms, geoinformation systems

**Acknowledgements:** The study was funded by the All-Russian public organization "Russian Geographical Society" (within the framework of the project "Geoinformation system "Ethnoarchaeology and Ethnodemography of the Crimean Peninsula" (ID 49228)).

**For citation:** Lisetskii F.N., Buryak Zh.A. 2022. Cartographic Model for the Transformation of Crimean Hydronyms. *Regional geosystems*, 46(3): 378–397 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-378-397

---

## Введение

В последнее время в научный оборот введено значительное количество старых карт Крымского полуострова, что обеспечивает более глубокий анализ истории топографического изучения территории, включая историю формирования региональной топонимии [Гордеев, Терещенко, 2017; Хропов, 2020]. Использование разновременных картографических источников (картографического наследия) с помощью современных технологий [Radovan, Šolar, 2010; Murakami et al., 2019] позволяет воссоздать картину историко-географического развития топонимической системы в контексте трансформации этногеографического ландшафта во времени. Для этой цели первоначально требуется создание специализированных баз данных современных и исторических названий географических объектов, среди которых особый интерес вызывают гидронимы, которые способны сохранять архаизмы и диалектизмы, часто восходящие к языкам-субстратам народов, когда-то живших на данной территории [Иванова и др., 2011]. Помимо официальных реестров водных объектов, таких как справочники серии «Гидрологическая изученность. Ресурсы поверхностных вод», разрабатываются региональные базы, во многом уточняющие сведения, прежде всего, о малых реках [Дмитриева и др., 2008], включая и вопросы происхождения их названий [Лисецкий и др., 2015].

Формирование региональной гидронимии таких полиэтнических территорий, как Крымский полуостров, где в начале XX в. проживало около 60 народов, в значительной степени отражает историю трансформации этнического состава жителей этого региона. С 30–40-ых годов XIX в. этнический состав жителей Крыма стал претерпевать существенные изменения, а во второй половине XIX в. активизировалось заселение региона выходцами из внутренних губерний России. По данным Первой всероссийской переписи населения, в 1897 г. на территории Крымского полуострова проживало 546592 человек, из них доля татар (крымских татар) составляла 35,6 %, тогда как в 50-е годы XIX в. эта доля достигала 77,8 % [Старченко, 2013]. С двумя историческими событиями была связана основная масса переименований населенных пунктов: после установления Советской власти в 1921 г. и после депортации в 1944 г. крымских татар и других народов, проживавших в Крыму, в ходе четырёх волн переименований (в 1944, 1945, 1948 и 1949 гг.). В общей сложности новые названия получили более 1000 поселений Крыма (более 90 % населённых пунктов полуострова). Кроме того, до 1945 г. на территории Крыма существовали 934 населенных пункта, которые были также переименованы, но позже оставлены [Павленко, 2012]. Источником таких топонимов



стал шаблонный набор универсальных названий, делавший процесс номинации всецело контролируемым [Картавая, 2017]. Примечательно, что в числе комонимов (наименований сельских поселений) лишь два остались неизменными (Ишунь и Сары-Баш (сменившего не так давно название Танино)), а остальные названия крымских сел на сегодняшний день остаются не заимствованными, а сохраняют свои названия, полученные в середине XX в. [Картавая, 2017].

Многие исследователи подчеркивали, что в отличие от ойконимов, нередко менявших название за время своего существования, гидронимы более консервативны и несут в себе первичные номинации, полученные в прошлом [Картавая, 2017]. Более крупные, чем реки, географические объекты, такие, например, как моря, кажутся наиболее устойчивыми в топонимическом плане. Однако, например, коллекция пелагонимов у Чёрного моря насчитывает 340 топонимических вариантов [Галкин, 1991].

Замечено [Решитько, 2020], что имена водоёмов и водотоков сохраняются за своими носителями даже в случае, если автохтонное население по той или иной причине оставляет прежние места проживания. На территории Крымского полуострова генезис автохтонных топонимов либо тюркский (турецкий, крымскотатарский), или является калькой первоначально румейских названий, которые были получены от носителей крымского диалекта новогреческого языка [Ена и др., 2004]. Однако в пределах Северного Причерноморья, включая Крым, встречаются в топонимии и более древние – иранские лексические реликты [Трубачев, 1999; Илиади, 2018]. В соответствии со спецификой собственного языка, как вначале греки-урумы, так и позже русскоязычное население, подвергали фонетической, морфологической, семантической трансформации тюркскую топонимическую систему Крыма [Хамуркопаран, 2017].

Массовое переименование населённых пунктов на территории Крымского п-ова в значительной степени затронуло изменение наименований рек и озёр, что определило основную цель исследования – установить пространственные и временные особенности трансформации гидронимов, используя преимущественно разновременные карты.

### Объекты и методы исследования

Территория Крымского п-ова имеет развитую гидрографическую сеть, в которой доминируют малые реки (рис. 1). Из общего количества 1657 рек и временных водотоков лишь 257 и 130 рек имеют длину более 5 и 10 км соответственно [Ена и др., 2004], и только у Салгира и Чатырлыка длина превышает 100 км. Статистическая обработка данных, представленных в сводке основных рек Крыма, включая безымянные [Ресурсы ..., 1964], даёт представление о статусе водотоков по длине: среднее значение – 14,2 км ( $0,8 \div 204$  км), мода – 10 км ( $n = 282$ ). Подготовленная в 2016 г. «Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым» (<http://gidroved.ru › common › upload>) содержит перечень из 219 рек, имеющих названия, и 70 рек без названия, а также реестр из 64 озёр, из которых 18 не имеют названия. Для целей данного исследования авторами составлена база трансформированных названий рек и озёр (потонимов и лимнонимов) территории Крымского п-ова, которая включает 74 реки и 41 озеро. Основу базы составили данные справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР» [1964] и дополнения по атрибуции водотоков без названия по топографической карте М 1:100 000. Нормативная номенклатура рек и водных объектов определена по справочнику [Ресурсы ..., 1964], по которому основными названиями признаны первые записи в Алфавитном списке, с некоторыми корректировками по списку рек Государственного комитета по водному хозяйству и мелиорации Республики Крым (2016 г.). Топонимическая база данных была основана на анализе коллекций разновременных карт Крыма (конец XVIII в. – начало XXI в.), размещённых на специализированных сайтах (<http://www.etomesto.ru>; <http://www.archmap.ru>; <https://geoportal.rgo.ru>), а также карты в региональной литературе. Крымскотатарские варианты гидронимов даны по статьям раздела «Водные объекты Крымского бассейнового округа» (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

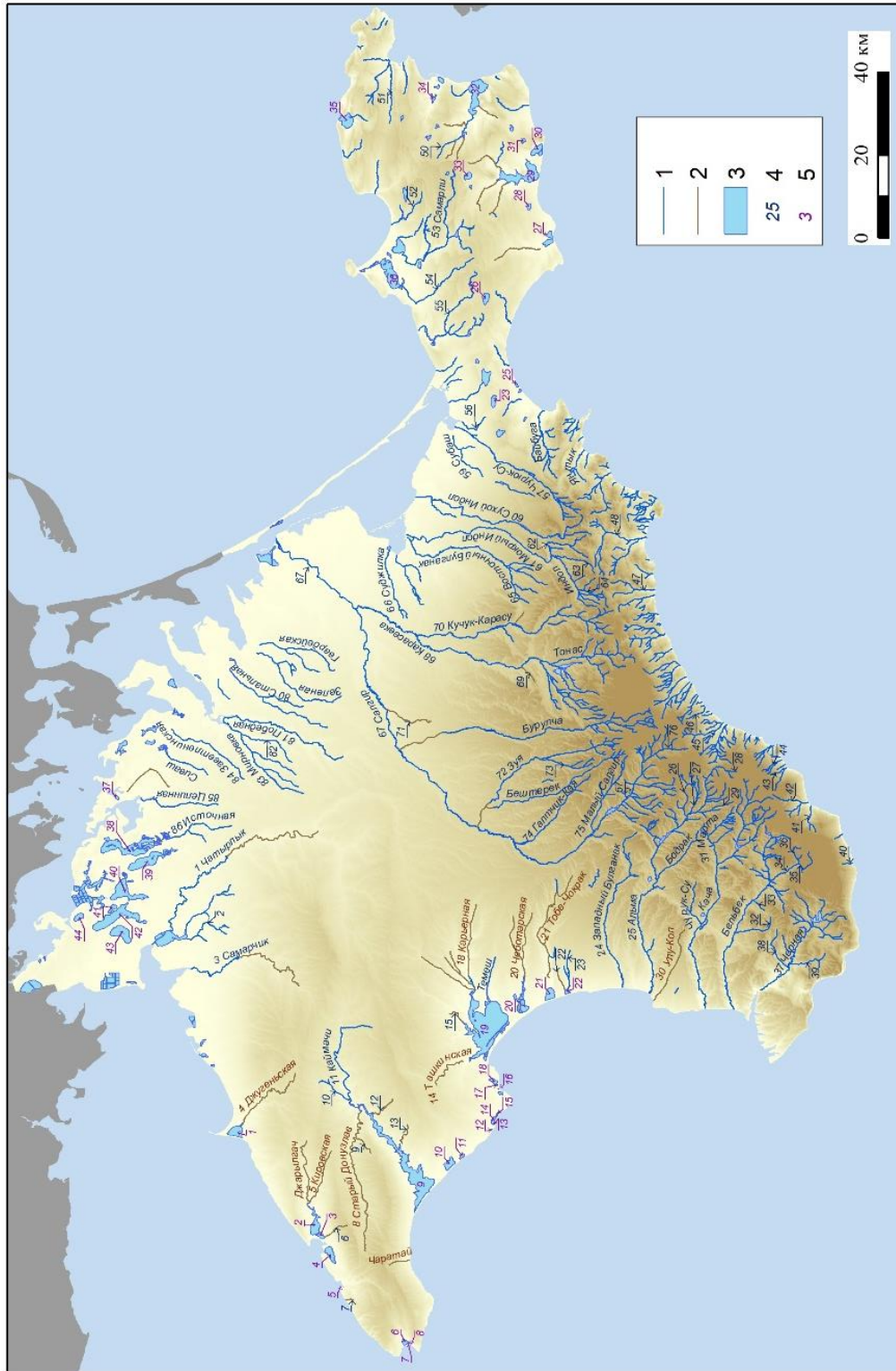


Рис. 1. Обзорная карта основных рек и озер Крыма: 1 – постоянные водотоки; 2 – сухие балки (бывшие водотоки); 3 – озера; 4 – нумерация в табл. 1 и 3; 5 – нумерация в табл. 2 и 3  
 Fig. 1. Overview map of the main rivers and lakes of Crimea: 1 – permanent streams; 2 – dry beams (former watercourses); 3 – lakes; 4 – numbering in tables 1 and 3; 5 – numbering in tables 2 and 3



Сформированная топонимическая база данных была перенесена в геоинформационную среду и интегрирована с пространственной базой данных водотоков и водоемов речных бассейнов Крыма [Буряк, Нарожная, 2022]. Оцифровку и работу с базой данных выполняли в программе ArcGIS 10.5. Первичной картографической основой послужили топографические карты масштаба 1:200 000, уточненные по современным космическим снимкам высокого разрешения. Каждому объекту в базе данных (реке, балке, водоему) был присвоен идентификатор GeoID и выполнено сопоставление с таблицей разновременных топонимов. Таким образом, для каждого объекта в базе геоданных были присвоены атрибуты: варианты наименований, период трансформации и тип трансформации.

Используя полученную выборку потапонимов и лимнонимов, для которых на протяжении 226 лет создания карт установлены варианты переименований, были определены семь историко-географических периодов трансформации гидронимов.

В таблицах 1–3 приняты следующие сокращения картографических источников: 1ВК – одноверстовые карты; 3ВК – трёхверстовые карты 1865–1876 гг.; ААРК – Атлас Автономна Республіка Крим. КАТ – Крым. Атлас туриста; КИТК – Крым исторический. Топонимия Крыма; КК – карта Керчи; КМПИ – Карта месторождений полезных ископаемых Крымской АССР; КФЧ – карта Ф. Черного; СЭАК – Статистико-экономический атлас Крыма; ТАК – Туристический атлас Крыма; ТК – Топографическая карта; ТКК – Туристическая карта Крымской АССР; ТУК – Туристическая карта.

### Результаты и их обсуждение

**Отражение региональной гидрографии в картографических источниках.** Приморские территории Северного Причерноморья, включая низовья крупных рек, входили в зону древнегреческой колонизации, что формировало неугасающий интерес к познанию окружающей географической действительности. Античные географы к I в. н. э. помимо крупных рек уже более детально представляли гидрографию Северного Причерноморья, включавшую и некоторые небольшие по протяженности водные артерии. Так, в отличие от других античных авторов Плинию Старшему был известен и им назван как «Сагарийский залив» Березанский лиман, общая длина которого по современным данным составляет лишь 26 км. Поэтому можно предположить, что значительные реки на территории Крымского п-ова могли получить отражение в научной картине того времени. Действительно, Плиний Старший (23–79 гг. н. э.) в труде «Естественная история» упоминает реку Пакирис, которую современные исследователи отождествляют с Донузлавом [Скржинская, 1977], а среди крымских озер назван лишь один объект, ныне считающийся заливом, – это Сиваш, как Бук, в который впадает одноименная река (§§ 84). Можно предположить, что под рекой Бук понимается река Салгир, которой сейчас названа и нижняя часть течения, (но так было не всегда<sup>4</sup>), или, возможно, Биюк-Карасу. Долгое время представления о гидрографии Таврики были ограниченными и ошибочными. В средние века многочисленные карты сопровождали издания трактата Клавдия Птолемея (ок. 87–165) «География», написанного около 150 г. н. э. Новаторство в отображении гидрографии Сарматии на карте Птолемея, которое можно связать с прогрессом в познании географической действительности, может иметь и другое объяснение. Высказано предположение [Харитонов, 2022], что изображения, подобные карте Птолемея, появляются много позже античности. С влиянием первоисточника, упоминавшего залив и реку Бук, вероятно, можно связать название части Приазовья с Сивашем на картах к изданиям «Географии» Птолемея 1482 г. и 1513 г. как Vice Palv и Vicis Palus соответственно. На карте Таврики 1584 года [Eugorae Tabula ..., 1584; Геопортал, 2022] к юго-востоку от Феодосии показана лишь одна река, названная Istrianus flu<sup>5</sup>. По местоположению её устья – это река Otuz, Отуз

<sup>4</sup> До 50-х годов XX в. обмелевший в устьевой зоне Салгир считался притоком более полноводной реки Биюк-Карасу [Имена рек ..., 2014].

<sup>5</sup> Эта река показана на серии карт Птолемея, изданных в период 1540–1730 гг.

(крымскотат.), Кучик-Узень, также Отуз, Отузы [Ресурсы ..., 1964], Отузка, длина которой по современным источникам составляет лишь 4 км. Однако на этой карте она вытянута одним руслом с юго-востока на северо-запад до широты Евпатории, а на более поздних картах с иной конфигурацией Крымского полуострова (начало XVII в.) до его середины, куда перемещена Главная гряда. При этом следует отметить, что река Отуз имеет общую площадь водосбора 77 км<sup>2</sup> и два притока длиной 9,1 км (левый) и 12 км (правый). Исток реки Iſtrianus находится к северу от города Portaca (т. е. древнегреческой колонии Партакра (Карасубазар, Белогорск)), на том же расстоянии по карте 1584 г. [Europae Tabula ..., 1584], что и Евпатория от Дандаки (Усть-Альминского городища) по суше, т. е. 70–80 км. По всей видимости, гидроним Истрианус связан с этнонимом «истриане» – одного из причерноморских племен, названных по реке Истр. Зоной взаимодействия двух этнокультурных массивов – гетофракийского («истриан») и скифского были земли между устьями Тираса (Днестра) и Гипаниса (Юж. Буга.). Помимо античного города Истра южнее устья Дуная был ещё и другой город Истрия (Гавань Истриан (Istrion (Istrian)), который в IV–III вв. до н. э. располагался на побережье Одесского залива [Добролюбский, Красножон, 1997]. На карте Понта Эвксинского, изданной Г. Меркатором в 1620 г., гидрография Таврики более детальная – показано восемь рек: по современной номинации – это Салгир, Вост. Булганак, Мокрый Индол, Чурюк-Су, Отуз, Зап. Булганак, Альма, Черная, а также без названия – Караджа (Джайлав). Значительный прогресс в картографическом отражении региональной гидрографии произошёл в 1780-е гг., что связано с вхождением Крыма в состав России в 1783 г. Так, если на самой ранней карте Крыма на русском языке, показывающей область, принадлежащую Турецкой империи между 1768 и 1774 (совр. названия), то на карте 1788 г. уже показано 14 рек.

**Пространственно-временные особенности формирования региональной гидронимии.** При анализе 219 названий рек и 64 названий озёр по основному их современному наименованию только 74 потамонима (34 % от общего количества) и 41 лимноним (64 % от общего количества) могут быть определены либо как наименования нетюркской этимологии, либо в разной степени трансформированные варианты.

Исторические названия тюркской этимологии в большинстве своем сохранили реки Южного берега Крыма (рис. 2). Наиболее значительно трансформация коснулась преимущественно гидронимов Равнинного Крыма. В конце XVIII в. было переименовано 18 объектов, до середины XIX в. – 14 объектов, с конца XIX в. и в довоенные годы XX в. – 13 объектов, в 40-е гг. XX в. – 6 объектов, в 50–60-е гг. XX в. – 45 объектов, в конце XX в. – 6 объектов. Из-за большого диапазона размерностей крымских рек, как по протяженности, так и по площади бассейна, более корректное представление о значимости трансформации гидронимов может дать сопоставление периодов по суммарной площади водосборов, которые были затронуты этими процессами. Абсолютное лидерство занимают периоды 1774–1792 и 1953–1955 гг., когда переименования затронули не только значительное количество рек, но и наиболее крупные из них по водосборной площади. Этим периодам уступает в 2–3 раза этап 1816–1865 гг. и уступает в 4–6 раз этап 1956–1964 гг.

Типологическое разделение трансформированных гидронимов отражает не только изменение его корневой основы в современном наименовании, но и исторические изменения названий по разновременным картографическим источникам. Картограф или картографическая школа, приступая к работе, обладает начальным списком топонимов, который может быть заимствован, создан основателем или получен по наследству и т. д., а по мере создания следующих карт эволюционным путем происходит трансформация изначального списка [Гордеев, Терещенко, 2017].

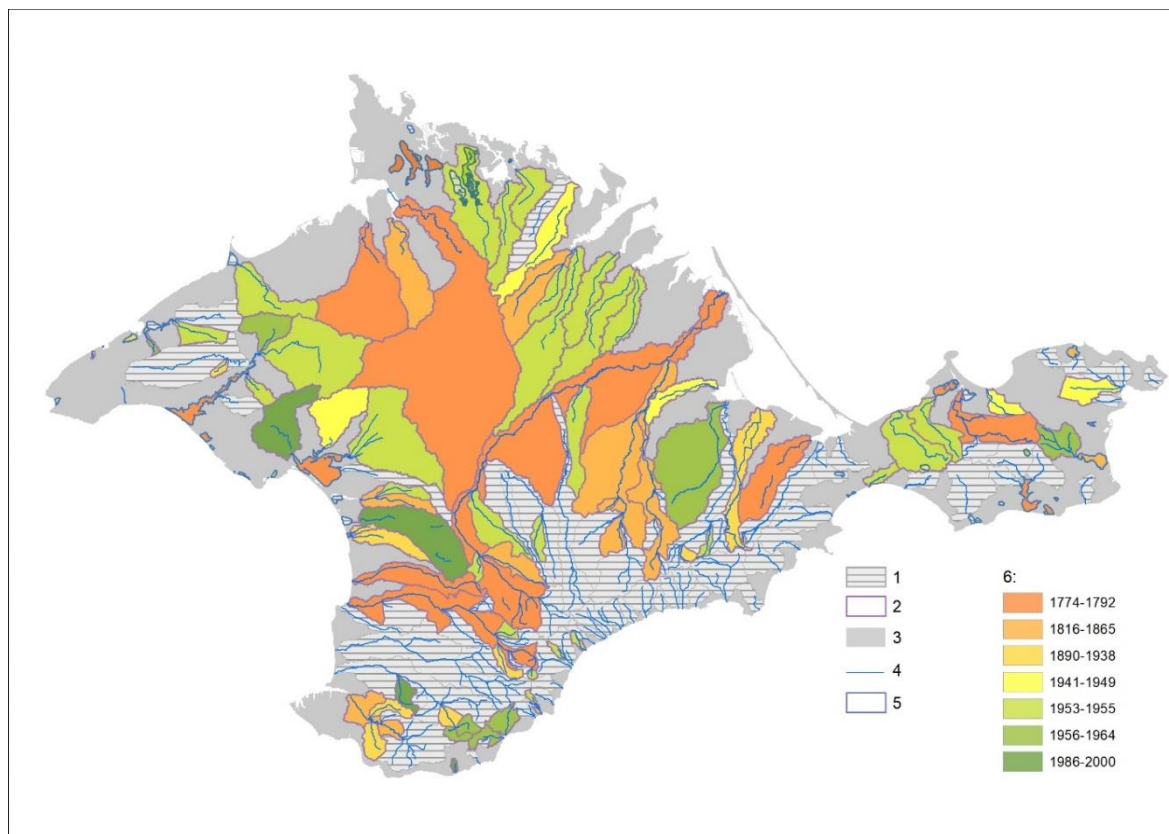


Рис. 2. Распределение речных бассейнов по основным историко-географическим периодам трансформации гидронимов: 1 – наименования тюркской этимологии; 2 – наименования не тюркской этимологии; 3 – территории без крупных водотоков; 4 – существующие и исчезнувшие водотоки; 5 – озера; 6 – периоды переименований (годы)

Fig. 2. Distribution of river basins according to the main historical and geographical periods of the transformation of hydronyms: 1 – names of Turkic etymology; 2 – names of non-Turkic etymology; 3 – territories without large watercourses; 4 – existing and disappeared watercourses; 5 – lakes; 6 – periods of renaming (years)

Нами предложено разделить массив из 74 трансформированных потамонимов и 41 лимнонима на три основных типа (рис. 3).

Тип А – современное наименование с трансформированной корневой основой или составное двуязычное название.

Тип В – наименование, в определённый период имевшее вариант с трансформированной корневой основой иноязычного происхождения.

Тип С – современное наименование с незначительной трансформацией, чаще затронувшей суффиксы.

Как характерные примеры гидронимов из типа А, имеющих составное двуязычное название, можно назвать реки: Западный (Восточный) Булганак; Восточный Путаemis, Сухая Альма, Сухой (Мокрый) Индол, Малый Салгир, Бата Нижняя.

Гидронимы типа В установлены при анализе разновременных карт; они по разным причинам не сохранили прежние названия, но это создает дополнительные возможности для топонимического анализа изменений в региональной гидронимии. Это могут быть (по отношению к современным названиям) первичные гидронимы, как, например: Айтодорка (Шулю); Коккозка (Алачук); Орталанка (Чомар), так и моноязычные варианты, зафиксированные в картографических источниках разного времени, например: Аузун-Узень (Куру-Узень); Мелек-Чесме (Ялгык Кую-Илгасы); Али-Бай (Бугас); Ураус-Дереси (Суук-Чесме,

Филегус (Пелагос)). Большинство крымских озер претерпели трансформацию по типу С, когда к тюркскому названию прибавляли русские суффиксы. Соотношение между тремя указанными типами трансформированных потамонимов гидронимов составляет 33:19:22, а между типами трансформированных лимнонимов – 13:13:15. Трансформация гидронимов по типу В затронула реки с небольшой площадью бассейнов в центральной, преимущественно в предгорной части полуострова, и в Юго-Западном Крыму. Для рек Равнинного Крыма были характерны переименования гидронимов как по типу С, так и изменения по типу А, особенно для многих рек в Присивашье.

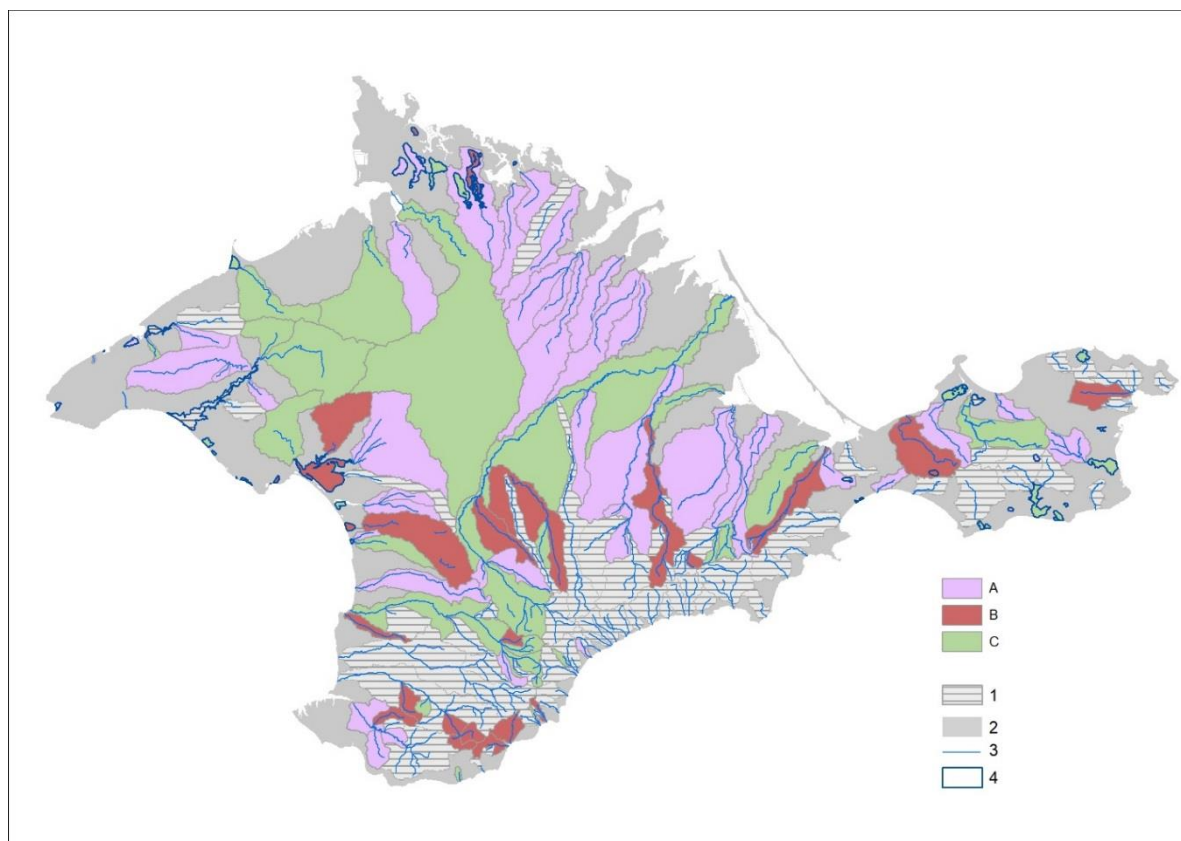


Рис. 3. Дифференциация речных бассейнов по типам трансформации гидронимов (А, В, С);  
1 – наименования тюркской этимологии; 2 – территории без крупных водотоков;  
3 – существующие и исчезнувшие водотоки; 4 – озера

Fig. 3. Differentiation of river basins according to the types of transformation of hydronyms (A, B, C);  
1 – names of Turkic etymology; 2 – territories without large watercourses;  
3 – existing and disappeared watercourses; 4 – lakes

Ранее было показано, что при использовании ранних картографических источников, как это было в конце XVIII в. в крымской картографии, для их адаптации использовались многие лексические приемы, в частности замена тюркских звуков русскими ( $\ddot{o} = \text{ю}$ ,  $\ddot{a} = \text{а}$ ,  $o = \text{а-у}$ ,  $y = \text{и}$ ) [Гулиева, 1976]. Используя данные крымской гидронимии (табл. 1, 2), приведем характерные примеры других лексических приемов: появление фонетической аналогии (Кара-Су – Карасёвка), выбрасывание звуков (Учан Сув – Учан-Су), добавление звуков (Алма – Альма; Катка – Катька), замена букв или слогов (Кызыл Яр – Кизил-Яр; Сув Джилга – Суджилка), вариантность названий (Аугун – Тюп-Алгазы – Алгазы – Алгазинское); присоединение формантов (Дерекой – Дерекойка), сочетание с русскими суффиксами (Курт – Куртинская), калькирование (Сары-Узень – Жёлтая; Кучук-Карасу – Малая Кара-Су; Каралар – Чернушка); фонетическая «русификация» заимствования (Конрад – Камрат; Вырон – Ворон).





Таблица 1  
Table 1

Алфавитный перечень названий рек (балок) с вариантами трансформированных гидронимов  
Alphabetical list of names of rivers (ravines) with variants of transformed hydronyms

Современное (нормативное) наименование*	№**	Исторические варианты гидронима
1	2	3
Айтодорка	38	Ay Todor, Ай Тодор (крымскотат.); ручей Ай-Тодор (1794); Шулю (1817, 1836); ручей Айтодор (1864); Ай-Тодорка, Ай-Тодор, балка Забиаковская (1915); Айтодорка (1953–1955; 2000).
Али-Бай	55	Ali Bay, Али Бай (крымскотат.); Бугас, Агибельская, Карачинская, Луговская; Али-Бай б. (1953–1955; 2016).
Альма	25	Alma, Алма (крымскотат.); Olma (фр., 1784); Олма (КФЧ, 1790); Алмассу (1774); Alma (фр., 1812; англ., 1877); Алма (1787–88; 1792, 1796, 1800, 1836, 1842, 1847, 1855; ЗВК; ТК 1865–1871, 1890, 1934–6; КМПИ, 1937; 1954); Альма (карта Шмидта, 1777; карта Габлица, 1787; 1799; 1800; 1816; карта Зуева, 1854; 1939; ТК, 1940; 1958; РПВ, 1964).
Аузун-Узень	36	Avuziñ Özen, Авузынь Озен (крымскотат.); «Алачук или Куру-Узень» (1915) [Алманчук – лев. приток]; «Аузун-Узень (перевод: Устьева, Роговая), Розовая [опечатка]» (Пузанов, 1925); «Аузун-Узень (Устьева)» (Лебединский, 1982); Розовая (ТУК, 1956). Левый исток: «Куру-Узень (Сухая речка)» (Лебединский, 1982).
Бабуганка	28	Babuğan, Бабугъан (крымскотат.); Савлух-Су, Савлых-Су (Белянский и др., 1998); Бабуганка (1953–1955).
Богайлы, б. (юж. водоток в оз. Богайлы)	23	Gr. Schan + Petit Schan (лев. исток) (карта Кинсбергена, 1776); R. Cheni (фр., 1784); Bagaila Fl. (нем., карта Шмидта, 1787); Р. Багайла (карта Шмидта, 1777); р. Тереклав (карта ВТД, 1842); б. Кунтуган (прав. исток) и б. Родниковая (лев. исток) (Дзенс-Литовский, 1938); Б. Богайлы – Кунтуган (1938); овр. Богайлы (карта Оберга, 1842; ТК, 1946); «без названия» (РПВ, 1964).
Воронцовка	2	Воронцовка (не ранее 1823–1856); «балка безыменная» (1864); Кучук-Четырлык (1865); Чатырлык (разночтение: РПВ, 1964); Самарчик (ЗВК; 2012); Воронцовка (ТУК, 1956; РПВ, 1964).
Вост. Булганак	65	Şarqiy Bulğanaq, Шаркый Булгъанакъ (крымскотат.); Ашил (1796, 1816; верховье: карта Кеппена, 1836); Шил (1800); (фр. Achal, 1812); Булганак (1774, 1787–88; КФЧ, 1790; 1792; карта Кеппена, 1836; 1847; карта Зуева, 1854; 1859; ЗВК; карта Оберга, 1842; 1934–36; КМПИ, 1937; 1958; 1984; ТК, 1975–1989; 1999; 2004); Булганак (устье – Булганак-Восточный) (2001); Булганак-Восточный (ТК, 1989; ААРК, 2004; 2007); Вост. Булганак (СЭАК, 1922; РПВ, 1964).
Галтчик-Кая	74	Çoюнçи, Чоюнчы (крымскотат.); Чуюнчю (1836); Чуюнчи (1967); Чуюнча (2005); Маленькая (ААРК, 2004; 2005); «Галтчик-Кая (Маленькая Чуюнга)» (разночтения: РПВ, 1964); Галтчик-Кая (Маленькая, Чоюнча) (разночтения: 2016).
Глубокая, б. (лев. приток р. Биюк-Карасу)	69	Овр. Терень (ТК, 1837, уточн. 1865); бал. Глубокая (ТК, 1955).
Дерекойка	42	Dereköy, Дерекой (крымскотат.); Дерекой (1905, 1908, 1914); Djerekoj (нем., ТК, 1941); Бала (Уч Кош) и Путамиш (прав. пр.) (карта Кеппена, 1836); (разночтение: РПВ, 1964); Бадка, Бала (разночтения: РПВ, 1964); «Путамица (Бал-Алма)» (по: Олиферов, 2011); Быстрая (ТУК, 1956; ТК, 1988); «Дерекойка (Быстрая)» (2000, 2006); Дерекойка (ТК, 1936; РПВ, 1964; КАТ, 1987).

Продолжение табл. 1

1	2	3
Джугеньская-Ахтанская, б.	4	б. Джугеньская (Ахтанская) (1953–1955); Ахтанская (ТК, 1989); Джугеньская (Ахтанская) б. (2016). Эта же балка ошибочно (РПВ, 1964) принимается за отдельный гидроним: Романовка, б.: Küçük Abay, Кучюк Абай (крымскотат.) (по н.п.); Абай-Кучукская; Романовка б. (с 1948; 1953–1955; 2016).
Донузлав, б.	10	Doñuzlav, Донъузлав (крымскотат.); Б. Донузлав (1953–1955); Донузлавская (ТК, 1957–1960; 1967; ТК, 1989); Донузлав Баш (Кемалова, 2014).
Заветленинская, б.	84	Alqalı Dere, Алкъалы Дерё (крымскотат.); Алкалы-Дерё; «Без названия (у с. Завет-Ленинский)» (1979); Заветленинская (1949); Завет-Ленинская б. (2016).
Зап. Булганак	24	Garbiy Bulğanaq, Гъарбий Булгъанакъ (крымскотат.); Болганак (карта Габлица, 1787; 1816, 1829); Bulganak (фр., 1784); Булганак (карта Шмидта, 1777; 1787–89; 1800; КФЧ, 1790; 1792; карта Кеппена, 1836; 1859; ЗВК; 1890, КМПИ, 1934-7; 1941, 1949; 1958; Лоция..., 1958; ТК, 1975-1989; ТКК, 1991; 1999, 2000; ТК, 2002; 2004; 2022); Зах. Булганак (укр., 1996); Булганак-Западный (1990; ААРК, 2004; 2007); Зап. Булганак (1788; 1796; карта Зуева, 1854; СЭАК, 1922; ТУК, 1956; 1958; РПВ, 1964; КАТ, 1987).
Зеленый Яр	52	Qara Sığa, Къара Джылгъа (крымскотат.); Кара-Джилга (Керченский полуостров, 2014); Тилаир (по н/п, карта Мухина, 1817); Ташлы-Яр (по н/п, 1838, 1863); Ташлыяр (по н/п, 1847; ЗВК); Зеленый Яр (1946; 1953-1955).
Источная	86	Saqav, Сакъав (крымскотат.); Б. Сакал (1800); Ручей Сакал (ЗВК, 1865–1876); ручей Сакав (карты, 1836, 1842, 1865); Р. Сакал (карта ВТД, 1842); Источная (РПВ, 1964; 2020).
Ичкин-Джилга (Сараймынская)	50	İçkin Sığa, Ичкин Джылгъа (крымскотат.); Ичкил-джилга; Сараймин; Сараймынская, Сарайминская Б.; Ичкин-Джилга (Сараймынская) (разночтение: РПВ, 1964).
Каймачи, б.	11	Каймачинская б. (ТК, 1952–1960; ТК, 1989).
Кангыл, б.	15	Qaŋğıl, Къангъгыл (крымскотат.) Кангыл; Тюменская б.; Глинка б. (2016).
Карасевка (Биюк-Карасу)	68	Büyük Qarasuv, Буюк Къарасув (крымскотат.); Карасу (карта Шмидта, 1777; карта Габлица, 1787); Karasu (карта Шмидта, 1787; 1789); Ендол (с низовьем Салгира, 1829); (фр. Büeuk Karason, 1812); Биюк-Карасу (1800, 1816, 1822; карта Кеппена, 1836; 1847; 1ВК, 1857; 1859; ЗВК; карта Оберга, 1842; карта Зуева, 1854; СЭАК, 1922; КК, 1924, 1934; 1947, 1949; 1956; 1958; 1969; ТК, 1975-1986; ТКК, 1991; ААРК, 2004; 2005); «Карасовка или Биюк-Карасу» (Сиряков, Кораблев, 1855); Карасевка и Карасу (1936); Карасу (верх. течение) (КМПИ, 1937; РПВ, 1964); Карасовка (1954); Большая Карасевка; Вел. Карасівка (укр., 1996); Карасівка (укр., ДНВП «Картографія», 2004); Карасовка (2003, 2005); Карасевка (РПВ, 1964; ТК, 1975-1989; 1999, 2001; 2005, 2007, Карта России, 2022).
Карлавская, б.	6	Кунтеймес (1ВК, 1897); Карлавская (1983). (Аналог: Дол. Кунтыймес (ТК, 1956) (к югу от р. Зап. Булганак)).
Карьерная, б.	18	Р. Усалай (карта Шмидта, 1777); Usalai Fl. (нем., карта Шмидта, 1787); «долина Джилги-баш» (1ВК, 1890); Карьерная (1953–1955 – по: РПВ, 1964). (Притоки: б. Надеждинская (1957; РПВ, 1964) [б. Надеждино в верховье]; Листовская (Любимовская (лв)); Барановская (РПВ, 1964), Бораш (Смекалова, 2013).
Кировская, б.	5	Ке(и)рлеутская; Кирлеут, Кирлевут (по н.п. – Kerlevüt, Керлеют (крымскотат.), до 1945); Кировская б. (1953–1955; 2004).
Коккозка	34	Kökköz, Коккозь (крымскотат.); Кокос (1816); Кок кос (ЗВК); Коккос (2009); ущ. Большой Каньон (верх. течение), Алачук (разночтения: РПВ, 1964); Коккозка (1936; ТК, 2002).



Продолжение табл. 1

1	2	3
Куртинская, б.	63	Qurt, Къурт (крымскотат.); «безымянный ручей» (1864); Куртинка (1953–1955); Курты; Куртина; Куртинская б. (РПВ, 1964); «Куртинская (Куртина, Куртинка)» (2016).
Кучук-Карасу	70	Küçük Qarasuv, Кучюк Къарасув (крымскотат.); Туйнак-Тан-Су-Алаидлер (Белянский, 2010); Pit Karasu (1789); Кучук-Карасу (1787, 1800, 1816; карта Кеппена, 1836; карта Оберга, 1842; 1847; карта Зуева, 1854; 1855; 1ВК, 1857, 1890; 1859; СЭАК, 1922; КК, 1924; КМПИ, 1937; 1947; РПВ, 1964; 1956, 1958; ТК, 1975–1986; ТКК, 1991); «р. Малая Кара-Су» (1865); Малая Карасовка (1954); «Малая Карасёвка и Сухая Карасёвка (на отдельных участках); Биюк-Карасу» (разночтение: РПВ, 1964); Мал. Карасевка (2001).
Лименка	40	Limena, Лимена (крымскотат.).
Мавля	26	Mavlâ, Мавля (крымскотат.); Менер; «Мавлю, б. Оленьи Тропы» (1953–1955, по: РПВ, 1964); Мавля (РПВ, 1964).
Малый Салгир	75	Bala Salğır, Бала Салгъыр (крымскотат.); «Речка Суйне» (ТК, 1837, уточн. 1865); М. Салгир (карта Шуберта, 1846–63; 1936); Мал. Салгир (карта Кеппена, 1836; КАТ, 1987; 2001); Малый Салгир (РПВ, 1964).
Мелек-Чесме	51	Melek Şeşme, Мелек Чешме «Ангельский Родник» (крымскотат.); Ялгык Кую-Илгасы; «Р. Мелек-чесме» (карта Оберга, 1842); Приморская (1948; КАТ, 1987; КК, 1987; 2012); Мелекчесме (Ена и др., 2004); Мелек-Чесме (РПВ, 1964; 2006, 2007, 2016).
Мирновка	83	Кекталы (карта Шмидта, 1777); Kоктама (нем., карта Шмидта, 1787); Джургун (по н/п, 1860); Мирновка (ЗВК, РПВ, 1964; 1969; 1979); Мирновская б. (разночтение: РПВ, 1964).
Мокрый Индол	61	Suvlu İndol, Сувлу Индол (крымскотат.); Fl. grand Andalei (карта Кинсбергена, 1776); Индал (карта Кеппена, 1836); Индол (карта Зуева, 1854; 1859; СЭАК, 1922; 1958; 1975–1986; ТКК, 1991; 2005); Андал (карта Габлица, 1787; 1789; КФЧ, 1790; 1792; 1796, 1800, 1812, 1816); Мокрый Индол (ЗВК; КМПИ, 1937; 1949; 1956; РПВ, 1964; ААРК, 2004; ТК, 1975–1989; ТКК, 1991; 1999; 2007; ТК, 2001).
Ожиновая, б.	7	Елыхазылар, Абузлар, Abuzlar (крымскотат.); Ажиная балка (ТК, 1946); Ожиновая б. (2012).
Озерная, б. (бас. оз. Джарылгач)	9	Алдерменская, Альдерменская (по н.п. – Алдермен, Aldermen, Артаер (крымскотат.), до 1948); Озерная б. (1ВК, 1897).
Орталанка	64	Ortalan, Орталан, Çomar, Чомар (крымскотат.); Орталанская речка (1915); Орталан; Чамар (Белянский и др., 1998); «Мокрый Индол (Орталанка)» (разночтение: РПВ, 1964).
Победная	81	«овраг Шаирлы» (карта Мухина, 1817); ov. Chairli (фр., карта Бурдина, 1854); Ov. Schairli (фр., 1854); Тарханларская б. (Дзенс-Литовский, 1953); Поль б. (верх. течение) (РПВ, 1964); Победная (ТУК, 1956; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1969).
Полюшкина, б.	71	Бурча(е, и), Бурчек (тюрк.); Burçı, Бурчы (крымскотат.) (по н.п.); Полюшкина, б. (1954).
Путамиш	44	Восточный Путамис, Путамиц, Кизилташский Салгыр; «Восточ. Путамис, Кизилташский» (1953–1955); «Восточный Путамиш Кизилташский» (по: Олиферов, 2011); Путамиш (РПВ, 1964).
Салгир	67	Salğır, Салгъыр (крымскотат.); Сальгиер (1774); Salgir (1776–88); Salghir (1789); Салгыр (1792, 1816); Салгир (1787, 1800); (фр. Salghouir, 1812); Салгур (укр., 1918).
Самарли	53	Samarlı, Самарлы (крымскотат.); Елгуен Р. (1792); «сух. русло р. Самарли» (ВТК, 1896–1926); Самарли (ТК, 1956); Сомарли, б. Юз-Маг (разночтение: РПВ, 1964). Правые притоки: б. Бор-Джилга (2014); б. Каширская (1950-е гг.) [в среднем течении ранее был н.п. Кашик-Джермай, Кашик (ВТК, 1896–1926, ТК 1938–1941)].

Продолжение табл. 1

1	2	3
Самарчик	3	Samaŕçıq, Самарчыкъ (крымскотат.); R. Samarchik (фр., 1784); Самарчук (1790); Самарчик (КФЧ, 1790; карта ВТД, 1842); «Сух р. [русло] Самарчик» (КМПИ, 1937; РПВ, 1964); «сух русло Самарчик» (ТК, 1941); «сухое русло Самарчик» (ТК, 1946);
Сары-Узень	35	Sarı Özen, Сары Озен (крымскотат.); Алмалых-узень (Рухлов, 1915); Сары-Узень (1925); «Сары-Узень (Желтая)» (Лебединский, 1982); Сары-Су (Олиферов, 2011); Желтая (ТУК, 1956); без названия (РПВ, 1964; Лисовский и др., 2004).
Семидворье	46	«Овр. Эды Эфлер» (ЗВК); река Едыфлер; балка Семидворская; Семидворье (РПВ, 1964).
Семь Колодезей	54	Карабат (1792); Семь Колодезей (Четень) (1953–1955 – по: РПВ, 1964).
Стальная	80	Балда Чайерлы (ЗВК); Барын (по н/п, 1860); Стальная (РПВ, 1964; ТК, 1989).
Старый Донузлав, б.	8	Eski Doñuzlav, Эски Донъузлав (крымскотат.); Донузлав (1864); Агар-су (ТК, 1941); «ов. Агар-су» (ТК, 1946); «овр. Агар-Су», с лев. пр. – «овр. Керкелисизо», с прав. пр. – «Овр. Май-Джилга» (1ВК, 1890), «овр. Майджилга» (1ВК, 1897); Верховья: б. Глебовская и б. Артёмовская (ТК, 1989); на отдельных участках: «Овр. Агар-Су, б. Кузнецкая, б. Глебовская» (разночтения: РПВ, 1964); верховье – Глебовская б. (ТК, 1957–1960); Улан-Эли (крымскотат. Ulan Eli); Уланская б. (Кемалова, 2014); Кузнецкая б. и Плавневая б. (ТК, 1957–1960, 2012); Старый Донузлав, б. (ТК, 1957–1960; РПВ, 1964).
Степная	82	Керлеутская б. (разночтение: РПВ, 1964); ручей Степной (ТК, 2001); Степная (РПВ, 1964; 1969; 1979).
Субаш	59	Suv Baş, Сув Баш (крымскотат.); Зубаш (карта Анонима, 1774); Suwasch (карта Шмидта, 1787); Subatschi (1789); (фр. Soubach, 1812); Нахичеван (1800); Субаш + Нахчеван Чокрак (1847); Нахчиван Чокрак + Субат (карта Зуева, 1854); Субаш, Сушба (разночтения: РПВ, 1964); Субаш (карта Габлица, 1787; 1792, 1816, ЗВК).
Суджилка	66	Suv Cilğa, Сув Джылгъа (крымскотат.); Суджилко (Сухое русло) (ТК, 1941); Суджилка (ТК, 1956; РПВ, 1964).
Сухая Альма	29	Qıŕı Alma, Къуру Алма (крымскотат.); Апаллах; «Овр. Ургули, Яполах» (разночтение: РПВ, 1964); Сухая Алма (1936); Сухая Альма (РПВ, 1964; ТК, 1986; 2001).
Сухая балка (северный водоток в оз. Богайлы)	22	Лощина Кару (карта ВТД, 1842); Сухая балка (Дзенс-Литовский, 1938).
Сухая Речка	39	Qıŕı Özen, Къуру Озен (крымскотат.); Баргана (Паллас, 1794); Сухой овраг (1890); Куру-Узень (1929); Сухая Речка (РПВ, 1964; КАТ, 1987; ТК, 1975–1989; ТК, 2002).
Сухой Индол	60	Qıŕı İndol, Къуру Индол (крымскотат.); Fl. petit Andalei (карта Кинсбергена, 1776); Куру-Андал (карта Габлица, 1787); Kuruandel (1789); Ку андал (КФЧ, 1790); Кур Андал (1792); Каруянда (1796); Куру Андал (1800); «Субаш Куруандал Тож» (1816); Куруандал (1817); Куру Индал (карта Кеппена, 1836); Куро-Индол (1842); Куру-Индол (ЗВК); Куру-Индол, Михаль-Узень (разночтение: РПВ, 1964); Сухой Индол (КМПИ, 1937; 1941, 1956).
Сухой руч.	56	Б. Кой-Асан (1953–1955); руч. Сухой (РПВ, 1964).
Ташкинская б.	14	Ğaşke, Ташке (крымскотат.); б. Ба(о)гайская; Маматкуйская б. (ТК, 1989, ТК, 2002); верховье – Ташкинская б. (ТК, 1989); Ташкинская б. (РПВ, 1964).



Окончание табл. 1

1	2	3
Тобе-Чокрак	21	Töbe Çoqraq, Тёбе Чокъракъ (крымскотат.); «Fl. Tabe Tsche Krag» (карта Кинсбергена, 1776); Tchokrak R. (1789); Аиш б. (1836); «Бал. Аиш с овр. Бузак [верховье]» (ЗВК); р. Тобе Чокрак (1792); Тебечокрак (1796); Тобечокрак Р. (1800); Тобе-Чокрак Р. (1816, 1817; РПВ, 1964); «Р. Тобе чокрак» (карта Кеппена, 1836); R. Tobechocrak (англ., 1877); «овр. Такил Тугай» (лев. исток: ТК, 1946); Ключевая б. (ТК, 1989, 2012); Джабанак б. с лев. пр. – Таксабинская б. (ТК, 1989); Кизиллярская б. (Колтухов, 2012); Тобе-Чокрак (1953–1955).
Ураус-Дереси	32	«ручей Сук-Чесме, или Филегус (Пелагос)» (Паллас, 1794); Ураус-Дереси (1953–1955); Быстрянка (ТАК, 2000); «Ураус-Дереси (Быстрянка)» (2016).
Учан-Су	41	Uçan Suv, Учан Сув (крымскотат.); Акар-Су (1834); Кримастро-неро (карта Кеппена, 1836); Учан-Су (1905, 1908, 1914); Водопадная (ТУК, 1956; 1976; ТК, 1986; КАТ, 1987; 2004; ТУК, 2007); Учан-Су (Водопадная) (РПВ, 1964; 2000, 2006); Учансу (КАТ, 1987; 1990, 2000; ААРК, 2004).
Фундуклы (лев. приток р. Зуя)	73	Fındıqlı, Фындыкылы (крымскотат.); Каниль или Ханэль-Чокрак (исток); Канильская (1953–1955); Фундуклы (РПВ, 1964).
Целинная	85	«Балка Какай» (1800); «овраг Какай» (карта Мухина, 1817); «ручей Какай» (карта Бетева, 1836); Р. Какай (карта ВТД, 1842); <i>Ручей Бакай</i> (ЗВК, 1865–1876); Кокайская б. (1953–1955); Целинная (РПВ, 1964).
Чатырлык	1	Çatırlıq, Чатырлык (крымскотат.); Samartschik (карта Кинсбергена, 1776); Четырлик (КФЧ, 1790); Четырлык (1800); р. Биок Четарлик (карта ВТД, 1842); Р. Четарлык (ЗВК); «Сухое русло Четырлык» (КМПИ, 1937); Чатырлакская б. (1953); Чатырлыкская б. (2012); Чатырлык (ТК, 1941, 1946, 1949, 1952; 1958, РПВ, 1964; КАТ, 1987; ТК, 1975–1989; ТКК, 1991).
Чеботарская, б.	20	Çobatar, Чобатар (крымскотат.); «Ов. Джамин» (1800); «Б. Чары Джилга» (ЗВК); «овраг Чары Джилга» [верховье] (карта Шуберта, 1865); Чеботарская (1864; 1953); Михайловская б. (1953–1955).
Чёрная	37	Çoğuna, Чоргъуна, Qazıqlı Özen, Къазыкылы-Озен (крымскотат.); Fl. Kasutkoi (карта Кинсбергена, 1776); Узень (карта Габлица, 1787; 1790); Usen (нем., 1788); Uzen (нем., 1789); Чоргунь (с 1785); Casaklen Flu (1630); Казыкылы-Озен (Челеби, 1667); Кирмень (КФЧ, 1790); Казыкылы-Озень; Биок Озен (1800); Биок Езел (1800); Biouk Osen (фр., 1812); Киюк Озень (1816); Касиклы-Узень (Грибоедов А.С., 1825 (письма)); «Кизанлы Узень, Большой Узень, Чергунь, Чер-Су» (по: Олиферов, 2011); «Чёрная (Чоргунь)» (1864); «Казиклы или Биок узень (Черная)» (карта Кеппена, 1836); Черная (карта Манганари, 1836); «Черная речка (Биюк-Узень)» (Сиряков, Кораблев, 1855); «R. Chernaia of Biuk Osen» (англ., 1877); Черная речка (ЗВК, 1890); Черная (карта Оберга, 1842; карта Зуева, 1854; 1855; 1859; ЗВК; 1865-71, 1884; СЭАК, 1920, ТК, 1926–1942; РПВ, 1964).
Чернушка, б.	12	Qaralar, Къаралар (крымскотат.); Караларская; Б. Чернушка (1953–1955; РПВ, 1964); Чернушки б. (ТК, 1952–1960); «б. Каралар (р. Серная)» (2016).
Чурук-Су (залив Сиваш)	57	Çürük Suv, Чюрюк Сув (крымскотат.); Bulsik (карта Кинсбергена, 1776); Ширюк (карта Шмидта, 1777); Schiryuk (карта Шмидта, 1787); Szurukusu (1789); Ширинсу (КФЧ, 1790); Ширин-Су; Чурук су (1792); Чурукс (1800); Чюрюк-су (ЗВК); Чюрюк-су (карта Кеппена, 1836; 1847; карта Зуева, 1854; ЗВК); Малый Индол; Рассан-Бай (КМПИ, 1937); «Рассан-Бай, Чурук-Су» (разночтения: РПВ, 1964); «Чорох-Су (Малый-Индол, Ширин Су, Рассан-Бай, Чурук-Су)» (разночтения: 2016); Чюрюк-Су (ТК, 1989; 2000; ТК, 2001); Чурук-Су (1981); Чорох-Су (РПВ, 1964; Олиферов, Тимченко, 2005; Ена и др., 2009).
Шумская	45	Şıma, Шума, Şaqa Özen, Шакъа Озен (крымскотат.); Шаха-Узень; Шумская б. (1953–1955); Шумская (Олиферов, Тимченко, 2005).

\*В столбце указаны названия, которые согласно справочнику (РПВ, 1964) признаны основными, варианты (разночтения) представлены в третьем столбце. У гидронимов (реки, ручьи, водотоки) даны только названия водного объекта, у балок использовано сокращение «б.»

\*\*Номера водных объектов соответствуют номерам на рис. 1.

Таблица 2  
Table 2Трансформации 42 лимнонимов во времени по результатам анализа картографических источников  
Transformations of 42 limnonyms in time based on the results of the analysis of cartographic sources

Современное наименование	№*	Исторические варианты лимнонима
1	2	3
Перекопская группа		
Айгульское	38	Ayğul gölü, Айгуль голлю (крымскотат.); Большое Айгульское, Кырское (1953–1955); Большой Кырк; Кирк (1800); Киркское (1838); Кыркское (1941); Айгульское (ТК, 1935; 1947, 1949, 1958; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1981–1986).
Чонгарское (за пределами Крыма)	–	Соленое (КФЧ, 1790); Сунакское (СЭАК, 1922; 1941); Чонгарское (КМПИ, 1937).
Пусурман	37	Pusurman, Tüp Alğazi, Пусурман, Тюп Алгъазы (крымскотат.); Аугун, Тюп-Алгъазы; «Оз. Сол. Алгъазы» (1792); Алгъазы (1838); Алгазинское (КМПИ, 1937); Солёное (1987, 1989).
Керлеутское	39	Kerlevüt gölü, Керлевют голлю (крымскотат.); Кирлеут; Керлеутское (1838; КМПИ, 1937; 1939–1947; 1953–1955); Кирлеуцкое (1949); Кирлеутское (РПВ, 1964; 1969; ТК, 1981–1986; КАТ, 1987; ТКК, 1991; 2000); Карлеутское (ТК, 1975–1989; ТК, 2002; КИТК, 2004; Карта России, 2022).
Круглое	41	Adaman, Адаман (крымскотат.); Адаман (1953–1955); Круглое (1838; ТК, 1935; РПВ, 1964; КАТ, 1987; 1990; ТКК, 1991).
Янгул	44	Yañgul, Янгуль (крымскотат.); Айгульское, Айгуль, Чюрюм; Тонкое (КК, 1801-1816); Чюрюм (по н.п.: 1838); Чорум (по н.п.: 1854, 1860, 1863); Чюрюмское (1953–1955); Янгуль (ТК, 1985).
Красное	42	As, Ас (крымскотат.); оз. Орам (карта Шмидта, 1777); «Оз. Сол. Красное» (1792); «Красное сам. сол. оз.» (1816); «Соляное озеро Красное» (карта Зуева, 1854; КК, 1863); Асс (1953–1955; КИТК, 2004); Красное (1800; 1838; 1847; КК, 1934; ТК, 1935, 1939, 1947, 1949; 1956, РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1981–1986; ТКК, 1991; 2001).
Старое	43	Tuzla gölü, Тузла голлю (крымскотат.); «Оз. Ст. Соленое» (1792); «Оз. Соль. Старое» (1816); «Соляное озеро Старое» (карта Зуева, 1854; КК, 1863); Тузлы (1953-1955; КИТК, 2004); Старое (1800; 1838; 1847; КМПИ, 1937, 1939; ТК, 1941; 1949; 1956; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1981; ТКК, 1991; 1990).
Киятское	40	Qıyat gölü, Къыят голлю (крымскотат.); Тарханское; Кият; «Оз. Сол. Тарканское» (1792); Тарпанское (1800); Киятское (КК, 1934; КМПИ, 1937; 1939; 1956; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1981–1986; ТКК, 1991).
Тарханкутская группа		
Бакальское	1	Baqal gölü, Бакъкъал голлю (крымскотат.); Аджиджакал (1800); «Соленое Озеро Бакальское» (ЗВК); Бакал (1942, 1953, 1986); Бокальское (2012); Бакальское (КК, 1863; 1ВК, 1897; КМПИ, 1937, 1939; 1949, 1956; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 2001).
Джарылгач	2	Carılğaç, Джарылгъач (крымскотат.); Джарылгап (тюрк); Сасык (1837; ЗВК); Джарылгачское (СЭАК, 1922); Джарылгацкое (Джарылгатское) (1897); Джарылгач (1ВК, 1897; КМПИ, 1937; 1941; 1949; 1956; ТК, 1975–1989; 2001).
Ярылгач	3	Yarılğaç, Ярылгъач (крымскотат.); Сасык (1837; ЗВК); Къарлав, Карловское (1953–1955), Карлавское, Карлав (КМПИ, 1937); Карлово (1960 г.); Ярылгач (ТК, 1955; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; ТКК, 1991; 2001).
Панское	4	Pan gölü, Пан голлю (крымскотат.); Сасык (1837; карта ВТД, 1842; ЗВК; КК, 1863; 1ВК, 1897; 1921; 1931; КК, 1934; КМПИ, 1937; 1939; 1949; 1953); Олень (СЭАК, 1922; КК, 1924; 1931; 1958); Панское (ТК, 1952–1960; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 2000; 2001).



Продолжение табл. 2

1	2	3
Лиман	6	Qarasa, Къараджа (крымскотат.); Сарыгёль (КФЧ, 1790); «Озеро солёное» (1899); «оз. (сол.)» (ТК, 1941); Сарыголь (1958); Караджа (1931, 1953–1955); Лиман (1ВК, 1897; ТК, 1956–1960; РПВ, 1964; КАТ, 1987; ТКК, 1991; 2001, 2011); Караджинское (2012).
Донузлав	9	Донгузлав (тюрк.); Doñuzlav, Донъузлав (крымскотат.); Табулды-Султан-Эли; «О. Солёное» (1787); Солёное (1790); Солёное Тузла (КФЧ, 1790); «Оз. Гнилое Донкузлав (1792); Донкузлав (1800, 1816, 1822, 1847); Донгузлав (карта Воеводского, 1884); Донузлавское (СЭАК, 1922; КМПИ, 1937); Донузлав (1939, 1941, 1949, 1975–1984).
Евпаторийская группа		
Ойбургское	10	Oybur gölü, Ойбур голю (крымскотат.); Солёное (КФЧ, 1790); Ойбур (1931); Ойбургское (1953–1955); Ойбургское (ТК, 1899; 1930; КК, 1934; КМПИ, 1937; 1939; 1941, 1949; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989).
Аджибайчинское	11	Ası Vaısı gölü, Аджи Байчы голю (крымскотат.); Аджи-Байчи; Аджи-Байчи (карта Зуева, 1854; 1931; КМПИ, 1937); «оз. (сол.)» (ТК, 1941); Аджибайчи (1953–1955); Аджи-Бейчи (Кутайсов, 2010); Аджибайчинское (РПВ, 1964; 2017).
Галгасское	12	Glagas gölü, Галгас голю (крымскотат.); Галгасское (1930).
Круглое или № 5	13	Tögerek gölü, Тёгерек голю (крымскотат.); Круглое (ТК, 1986); Круглое (Сухое) (2012).
Конрад	15	Qoñrat, Къонърат (крымскотат.); Камрат (1931); Конрадское (1936; КМПИ, 1937).
Солёное	14	Terekli, Терекли (крымскотат.); Тереклы (ТК, 1956; 1986), Тереклы-Конрадское (Лисовский и др., 2004); «оз. (сол.)» (ТК, 1941); Тереклы или Солёное (ТК, 1986); Солёное (РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; КАТ, 1987; ТКК, 1991).
Малое Ялы-Майнакское	16	Küçük Yalı Moynaq gölü, Кучюк Ялы Мойнакъ голю (крымскотат.); (возможно по н.п.: Буйнак (Boinak (фр.) (1770-е гг.: Волков, 2015, с. 586)); Ялы-Майнак (1931).
Малое Отар-Майнакское	17	Küçük Otar Moynaq gölü, Кучюк Отар Мойнакъ голю (крымскотат.).
Майнакское	18	Moynaq gölü, Мойнакъ голю (крымскотат.); Майнакское (1895; КМПИ, 1937); Мойнаки; Большое Отар-Майнакское озеро; «Большое Отар-Майнакское, Майнакское» (разночтение: РПВ, 1964); Майнакское (1930, 1941, 1946, 1949; 1956; ТК, 1975–1989; 2004).
Сасык (Сасык-Сиваш)	19	Sasıq, Sasıq Sıvaş, Сасыкъ, Сасыкъ Сываш (крымскотат.); Soleno Osero (1776); оз. Тузла (карта Шмидта, 1777); Tuzla (карта Шмидта, 1787); «оз. Сасык Гол» (1792); Солёное (1800, 1807, 1816, 1822); «Озеро Сасык Гнилое» (карта Кеппена, 1836); «Гнилое Соляное озеро Сасык» (карта Зуева, 1854); Сасык-гнилое (КК, 1863); Гнилой лиман (КФЧ, 1790); Гнилое Солёное озеро (1847; 1859; ЗВК); Гнилое (карта Воеводского, 1884); Sasik (англ., 1942); Сасык-Сиваш (1938); «Гнилое, Сасык-Сиваш» (разночтение: РПВ, 1964); Сасык (КК, 1924; 1939, 1941, 1946, 1947, 1949, 1958; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989).
Сакское	20	Saq gölü, Сакъ голю (крымскотат.); «Osero v'kotorom Bivaet Sol» и Osok (по н.п.) (карта Кинсбергена, 1776); Сак (1800, 1816); Сакское (Тузла) (1817); «Оз. Солёное Тузла» (карта Кеппена, 1836); Сакское Солёное озеро (ЗВК); L. Tuzla (англ., 1877); Сакское (1897); Саки (1939, 1953); Сакское (1934, 1936; КМПИ, 1937; 1939, 1947, РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 2001).
Кизил-Яр	21	Rossocaua (карта Веконте Петра, 1318); follitico (pholiticho) (карты-портоланы XIV–XVII вв.); Qızıl Yar, Къызыл Яр (крымскотат.); Гнилое (КФЧ, 1790); Камышлы (1792); L. Kamishli (англ., 1877); Кизил-Яр (Камышлы) (1817); «Оз. Камышлы Гнилое» (карта Кеппена, 1836); «Сол. Оз. Кизил-яр» (карта ВТД, 1842); Кизил-Яр (1847; ЗВК; 1930; 1939); Кызыл-Яр (1936; КМПИ, 1937; 1938; КИТК, 2004; Кутайсов, 2010); Кизил (1924); Кизил-яр (ТК, 1975–1989; 2012); Кызыл-яр (1934; ТК, 2001); Кызыльяр (1986; КАТ, 1987; ТКК, 1991.); Кызыл-Яр (1930; ТК, 1941, 1946, 1949, 1956; РПВ, 1964; 1999; 2000; ТК, 2002; 2005; 2022).

Окончание табл. 2

1	2	3
Богайлы	22	Ваğaylı gölü, Бағайлы голю (крымскотат.); Хайне (1792); Пресное (КФЧ, 1790); Богайлы (Кичик-Бель) (1842); Багайлы (Куйтуганское) (1930); Багайлы (Кунтуган) (1938); Багыйлы (Зенкович, 1958); Кунтуган, Каптуган (Лисовский и др., 2004); Багайлы (Кичик-Бель или Контуган) (Кутайсов, 2010); «Багайлы, Богыйлы, Кичик-Бель, Кунтуган» (разночтение: РПВ, 1964); Богайлы (1817; КМПИ, 1937; ТК 1941, 1946; РПВ, 1964).
Керченская группа		
Ачи	23	Аçси, Аччы (крымскотат.); Ачи (1842, 1847; 1ВК, 1857; 3ВК; СЭАК, 1922; КМПИ, 1937); оз. Сары (карта Шмидта, 1777); Сари (КФЧ, 1790); Ачиголь (1984; КАТ, 1987); Ачи (1936; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; ТК, 2001; 2004; 2007).
Аджиголь	25	Ассигöl, Аджджыголь (крымскотат.); Гаджи (КФЧ, 1790); Соленое (карта Оберга, 1842); Соляное оз. (1847); Ащиголь (1936); Кучук Ащиголь (КТ, 1936); Кучук-Ащиголь (КАТ, 1987).
Карач-коль	26	Qaraç gölü, Къарач голю (крымскотат.); «оз Сасык Егол» (1792); Кара коль (3ВК); Карач (СЭАК, 1922; КК, 1924); Карач-коль (до 1988 г.).
Качик	27	Qaşıq, Къачыкъ (крымскотат.); «оз. Сол. Качик» (1792); Качик (1842, 3ВК; СЭАК, 1922; 1956; РПВ, 1964; ТК, 1975–1989; 1999; 2005); Кашик (КК, 1924); Качики (2000).
Акташское	36	Aqtaş gölü, Акъташ голю (крымскотат.); Аль-Иль, «Сол. Озеро Альильское» (1816); «Оз. Сол. Альгольское» (1792); Акташ; «Окташ, Аль-Иль» (разночтение: РПВ, 1964); Як-Таш (2004); Акташское (КМПИ, 1937; 1941, 1946, 1947, 1956, 1958; РПВ, 1964).
Сухое	28	Quru göl, Къуру голь (крымскотат.).
Марфовское	33	Davut Eli gölü, Давут Эли голю (крымскотат.); Даутель-Коль; Солёное (ТК, 1956); Марфовское (1953–1955; КАТ, 1987; 2000; ТКК, 1991; ААРК, 2004; СТП; 2007).
Узунларское	29	Uzunlar gölü, Узунлар голю (крымскотат.); Кончек; Отар-Алчик; «Оз. Сол. Тож Алчин» (1792, 1816); Узунлар (1796); Узунларское (1842, 1847; 3ВК; 1939, ТК, 1942; 1947, 1958; РПВ, 1964).
Кояшское	30	Qoyaş gölü, Орук gölü, Къояш голю, Орук голю (крымскотат.); «Оз. Сол. Упук» (1792); «Оз. Сол. Тузла» (1816); Соленое (1832); Елькенское (1841); Елькинское (КК, 1863); Элькинское (карта Оберга, 1842; 1847; 3ВК; 1863); Элкинское (1871); Альчин (1924); Элкенское (1924); Элькенское (КМПИ, 1937); Опукское (1924); Эльконское (1979); Кояшское (1949; РПВ, 1964).
Киркояшское	31	Qır Qoyaş gölü, Къыр Къояш голю (крымскотат.); «Сол. оз. Капты» (карта Оберга, 1842; 3ВК); Киркояш; Киркояшское (РПВ, 1964).
Тобечикское	32	Töbeçik gölü, Тёбечик голю (крымскотат.); Тобечик; Тобечикское (3ВК; 1958; ТК, 1942); Lac Schungalek (карта Кинсбергена, 1776); Тибичик (1841); Теббечикское (КК, 1924); Тобечик (1953–1955); Тобечикское (карта Оберга, 1842; 1949, 1958; РПВ, 1964).
Чурбашское	34	Çürübaş gölü, Чюрюбаш голю (крымскотат.); Чурбаш; Камыш-Бурунское; Чурубаш (КК, 1924, 1934); Чурубашское (1842, 3ВК; КК, 1863; СЭАК, 1922; КМПИ, 1937; 1953); Чурбашское (1949; РПВ, 1964; 1999).
Чокракское	35	Çoqraq gölü, Чокъракъ голю (крымскотат.); «Оз. Сол. Мысыр» (1792); «Соленое Озеро» (1816); Мисир (1817); Мессир; Чокрак; «Чакракское солен. Озеро» (карта Оберга, 1842); Чокракское (1939, 1949, 1958; РПВ, 1964).

\*Номера водных объектов соответствуют номерам на рис. 1.

Примеры семантической адаптации дорусских наименований, которые устанавливаются в истории гидронимов путем анализа их исторических вариантов из разновременных картографических источников [Belyaev, Shubnitsina, 2020], можно найти и в гидронимии Крыма, где «русский» фонетический облик имеют, например, реки Карасевка (вариант – Карасовка), Зуя (Дзuya), Суджилка, Фундуклы; балки Шумская, Луковская; озера Панское,





Камрат, Кизил. Это находит отражение и в примерах малотрансформированных во времени гидронимов, представленных в табл. 3, как-то: Кой-Су – Коса; Катка – Катька; Маяк голю – Маякское озеро.

Исторические карты помогают выявить моноязычные варианты гидронимов, что дополняет информационные ресурсы для анализа региональной топонимии, например, при сопряженном анализе наименований поселений в границах определённых речных бассейнов. Применительно к речной сети Крыма примерами могут служить гидронимы: Эски-Кышав (Бакал-Су); Узунджа (Суук-Су, Узень); Чорох-Су (Рассан-Бай); Тонас (Тана-Су, Тырховлы); Улу-Узень (Узень Баш) и Улу-Узень (Биюк Узень); Карагач (Фундуклы); Аратук (Джельман); Очеретай (Кара-Миля); Богайлы (Кунтуган); Арпат (Папанян-Узень); Ай-Серез (Арышлар); и некоторые другие.

Таблица 3  
Table 3

Примеры малотрансформированных во времени названий рек и озёр  
Examples of names of rivers and lakes slightly transformed in time

Современное наименование	№*	Исторические варианты гидронима
Ангара	76	Анğара, Ангъара (крымскотат.); Ангара (карта Кеппена, 1836).
Бурнук, б.	13	овр. Бурнук (1ВК, 1897); б. Бурнук (ТК, 1952–1960; Лисовский и др., 2004).
Ворон	47	Voron, Ворон (крымскотат.); Вырон; Ворон (карта Кеппена, 1836; карта Манганари, 1836; 1936).
Зуя	72	Zuua, Зуя (крымскотат.); Dzuia (1789); Дзюе (1790); (фр. Dzouia, 1812); Дзюя (1816); Зуя (карта Габлица, 1787; 1800; карта Кеппена, 1836; 1847; 1859; карта Зуева, 1854; 1855, 1884, 1936, 1958).
Катька	43	Katka, Катка (крымскотат.); Кабоплу-узень (карта П. Кеппена, 1836); Катка (1915); Катька (1953–1955; 2004).
Коса	27	Qosa, Къоса (крымскотат.); Кой-Су, Коссе (Белянский и др., 1998); Коса (1915); Косе (1936; разночтение: РПВ, 1964).
Марта	31	Марта (1792).
Отарчик	33	Отарчык (Кемалова, 2014).
Салы (Сала)	62	Sala, Сала (крымскотат.); Сала (карта Кеппена, 1836; ТК, 1956).
Таракташ (Судак)	48	Sudaq, Тагаq Таş, Судакъ, Таракъ Таш (крымскотат.); Таракташ, Алепхор, Алыпхор; Судак (1979); «Судак, Суук-Су» (разночтения: РПВ, 1964; 2006).
Улу-Кол, река (балка)	30	Ulu Qol, Улу Къол (крымскотат.); Улугол (по н.п. – карта Чёрного, 1790); Долина Улукул (карта ВТД, 1842); Дол. Улукул (карта ВТД, 1890); Дол. Улу-Кол (1ВК; ТК, 1955); «Улукул-Дере, Улукулы, Луковская балка, Базар-Йол-Бою» (Белянский, 2010); Улу-Кол, долина (ТК, 2012).
Большой Кипчак, оз.	7	Büyük Qırçaq, Буюк Къыпчакъ (крымскотат.). Кыпчак (по названию бейлика).
Малый Кипчак, оз.	8	Küçük Qırçaq, Кучюк Къыпчакъ (крымскотат.).
Маякское озеро	5	Mayak gölü, Маяк голю (крымскотат.).

\*Номера водных объектов соответствуют номерам на рис. 1.

### Заключение

Геоинформационное картографирование типологических групп трансформированных названий рек и озёр Крыма с использованием сформированной топонимической базы данных гидронимов по разновременным картам конца XVIII в. – начала XXI в. позволяет установить пространственно-временные особенности формирования региональной гидро-

ниями. Полученные результаты показали, что для полиэтнических регионов отражаемая средствами картографии дифференциация типологических признаков переименования гидронимов, которые обладают способностью сохранять архаизмы и диалектизмы языков-субстратов коренных народов, позволяет подойти к реконструкции первичных ареалов расселения этнических общностей.

### Список источников

- Буряк Ж.А., Нарожняя А.Г. 2022. Речные бассейны Крыма: природное, экологическое и хозяйственное состояние. Свидетельство о государственной регистрации базы данных, охраняемой авторскими правами. № охранного документа 2022621436. Дата регистрации 20.06.2022. Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. 2022. № 6. Электронный ресурс. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=DB&DocNumber=2022621436&TypeFile=html](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=DB&DocNumber=2022621436&TypeFile=html).
- Геопортал РГО. Электронный ресурс. URL: <https://geoportals.rgo.ru/record/1090> (дата обращения 17.05.2022).
- Имена рек. Крымские реки, озера, водопады. Электронный ресурс. URL: [http://koechto-o.narod.ru/pages/articles/books/oliferov\\_rivers/names\\_of\\_rivers.html](http://koechto-o.narod.ru/pages/articles/books/oliferov_rivers/names_of_rivers.html) (дата обращения 23.11.2014).
- Павленко А.П. 2012. Призраки прошлого на карте Крыма. Топонимическая карта. Масштаб 1:200 000. Симферополь, НПЦ «Союзкарта».
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1964. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Крым и Приазовье. Под ред. Б.М. Штейнгольца. Л., Гидрометеиздат, 76 с.
- ЭтоМесто. Старые карты Крыма. Электронный ресурс. URL: [http://www.etomesto.ru/map-krum\\_1774/](http://www.etomesto.ru/map-krum_1774/) (дата обращения 17.05.2022).
- Europaе Tabula VIII. Меркатор – Птолемей. Карта. 1584. Картографический фонд Русского географического общества. Электронный ресурс. URL: <https://geoportals.rgo.ru/record/1212> (дата обращения 17.05.2022).

### Список литературы

- Галкин Г.А. 1991. Родословная названий южных морей СССР. Известия Всесоюзного Географического Общества, 123(2): 199–204.
- Гордеев А.Ю., Терещенко А.А. 2017. Топонимия побережья Чёрного и Азовского морей на картах-портоланах XIV–XVII веков. 2-е издание. В 2 томах. Киев. Academia.edu., 311 с.
- Гулиева Л.Г. 1976. Тюркская гидронимия Кубани. Советская тюркология, 2: 50–56.
- Дмитриева В.А., Нестеров Ю.А., Зайцев В.В. 2008. Гидрография Воронежской области и ее характерные черты. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 106–111.
- Добролюбский А.О., Красножон А.В. 1997. Древнегреческий город – гавань истриан – на месте Одессы. В кн.: Новые исследования археологов России и СНГ. Материалы пленума ИИМК РАН, 28–30 апреля 1997, Санкт-Петербург, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт истории материальной культуры Российской академии наук: 91–94.
- Ена В.Г., Ена Ал.В., Ена Ан.В. 2004. Заповедные ландшафты Тавриды. Симферополь, Бизнес-Информ, 424 с.
- Иванова С.В., Островерхов А.С., Савельев О.К., Остапенко П.В. 2011. Очерки истории и археологии Днестро-Бугского междуречья. Киев, КНТ, 300 с.
- Илиади А.И. 2018. Ареалы иранских лексических реликтов в топонимии Поднепровья и Побужья. Paradigm of Knowledge, 1(27): 101–123. DOI: 10.26886/2520-7474.1(27)2018.9.
- Картавая Ю.К. 2017. Тематические группы топонимов Крыма: особенности происхождения. Филологические науки. Вопросы теории и практики, 1(67): 121–126.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожняя А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.
- Решитько Б.Т. 2020. Тюркская гидронимия Кубанской дельты. Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества, 434–439.
- Скржинская М.В. 1977. Северное Причерноморье в описании Плиния Старшего. Киев, Наукова думка, 126 с.



- Старченко Р.А. 2013. Динамика численности и расселения русских Крыма в XVIII–XIX веках. Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова, 19(6): 38–41.
- Трубачев О.Н. 1999. Indoarica в Северном Причерноморье. М., Наука, 320 с.
- Хамуркопаран Д. 2017. Межъязыковое взаимодействие в топонимии Северного Причерноморья. В кн.: Русский язык в поликультурном мире. Материалы I Международного симпозиума, 08–12 июня 2017, Симферополь, ООО «Издательство Типография «Ариал», Т. 2.: 224–229.
- Харитонов А.М. 2022. Географический и геополитический подходы в изучении истории картографии. Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, 15(2): 66–71.
- Хропов А.Г. 2020. История топографического изучения территории Крыма (ранние этапы). В кн.: Природа и общество: Социоприродное взаимодействие во всемирно-историческом процессе. 14–18 сентября 2020 года, Судак, ИГРАН, Макс-Пресс Москва: 106–116. DOI: 10.29003/m1952.s-n\_history\_2020\_43/106-116.
- Belyaev A.G., Shubnitsina E.I. 2020. On the Origin of Russian-Language Hydronyms of the Shchugor River Basin. Problems of Onomastics, 17(1): 95–112. DOI: 10.15826/vopr\_onom.2020.17.1.005.
- Murakami T., Yoshida S., Takashima A. 2019. Estimation of the Distribution of *Cryptomeria Japonica* on Yakushima Island by Using an Old Picture Map. Nihon Ringakkai Shi. Journal of the Japanese Forestry Society, 101(4): 163–167.
- Radovan D., Šolar R. 2010. Geospatialization and Socialization of Cartographic Heritage. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 161–178. DOI: 10.1007/978-3-642-12733-5\_8.

## References

- Galkin G.A. 1991. Rodoslovnaya nazvanij yuzhnyh morej SSSR [Pedigree of the Names of the Southern Seas of the USSR]. News of the All-Union Geographical Society, 123(2): 199–204.
- Gordyeyev A., Tereshchenko A. 2017. Toponimiya poberezh'ya CHyornogo i Azovskogo morej na kartah-portolanah XIV–XVII vekov [Place Names of the Black Sea and Sea of Azov Coasts from Portolan Charts XIV–XVII Centuries]. 2-th issue in 2 volumes. Kijv, Publ. Academia.edu., 311 p.
- Guliyeva L.G. 1976. Tyurkskaya gidronimiya Kubani [Turkic Hydronymy of the Kuban]. Soviet Turkology, 2: 50–56.
- Dmitrieva V.A., Nesterov Yu.A., Zaitsev V.V. 2008. Hydrography of the Voronezh Oblast and Its Typical Features. Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 106–111 (in Russian).
- Dobrolyubsky A.O., Krasnozhon A.V. 1997. Drevnegrecheskij gorod – gavan' istriian – na meste Odessy [The Ancient Greek City – the Harbor of the Istrians – on the Site of Odessa]. In: Novyye issledovaniya arkhologov Rossii i SNG [New Researches of Archeologists of Russia and the CIS]. Materials of the Plenum of IIMK RAS, 28–30 April 1997, St. Petersburg, Publ. Federal State Budgetary Institution of Science Institute of the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences: 91–94.
- Ena V.G., Ena A.I., Ena A.V. 2004. Zapovednye landshafty Tavridy [Protected Landscapes of Taurida]. Simferopol, Publ. Business-Inform, 424 p.
- Ivanova S.V., Ostroverkhov A.S., Saveliev O.K., Ostapenko P.V. 2011. Ocherki istorii i arheologii Dnestro–Bugskogo mezhdurech'ya [Essays on the History and Archeology of the Dniester-Bug Interfluve]. Kyiv, Publ. KNT, 300 p.
- Iliadi A.I. 2018. Areal of Iranian Lexical Relicts in Toponymics of Dnieper and Bug Basins. Paradigm of Knowledge, 1(27): 101–123 (in Russian). DOI: 10.26886/2520-7474.1(27)2018.9.
- Kartavaya Yu.K. 2017. Thematic Groups of the Crimean Toponyms: the Peculiarities of Origin. Philological Sciences. Questions of theory and practice, 1(67): 121–126 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Degtyar' A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. The Rivers and Water Bodies of Belogorie. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p. (in Russian).
- Reshitko B.T. 2020. Turkic Hydronymy of the Kuban delta. Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society, 434–439 (in Russian).
- Skrzhinskaya M.V. 1977. Severnoe Prichernomor'e v opisani Pliniya Starshego [Northern Black Sea Region as Described by Pliny the Elder]. Kyiv, Publ. Naukova Dumka, 126 p.

- Starchenko R.A. 2013. Dinamika chislenosti i rasseleniya russkikh Kryma v XVIII–XIX vekah [Population and Settlement Dynamics of Crimean Russians in the 18th–19th Centuries]. Bulletin of the Kostroma State University on the N.A. Nekrasova, 19(6): 38–41.
- Trubachev O.N. 1999. Indoarica v Severnom Prichernomor'e [Indoarica in the Northern Black Sea region]. Moscow, Publ. Nauka, 320 p.
- Hamurkoparan D. 2017. Mezh'yazykovoje vzaimodejstvie v toponimii Severnogo Prichernomor'ya [Interlingual Interaction in the Toponymy of the Northern Black Sea Region]. In: Russkiy yazyk v polikulturnom mire [Russian language in a multicultural world]. Proceedings of the I International Symposium, 08–12 June 2017, Simferopol, LLC Publishing House Typography “Arial”, Vol. 2: 224–229.
- Kharitonov A.M. 2022. Geographical and Geopolitical Approaches in the Study of the History of Cartography. Bulletin of the Pskov State University. Series “Natural and physical and mathematical sciences”, 15(2): 66–71 (in Russian).
- Khropov A.G. 2020. History of Topographic Study of the Territory of Crimea (Early Stages). In: Nature and Society: Socio-Natural Interaction in the World-Historical Process. 14–18 September 2020, Sudak, Publ. IGRAN, Max-Press Moscow: 106–116 (in Russian). DOI: 10.29003/m1952.s-n\_history\_2020\_43/106-116.
- Belyaev A.G., Shubnitsina E.I. 2020. On the Origin of Russian-Language Hydronyms of the Shchugor River Basin. Problems of Onomastics, 17(1): 95–112. DOI: 10.15826/vopr\_onom.2020.17.1.005.
- Murakami T., Yoshida S., Takashima A. 2019. Estimation of the Distribution of Cryptomeria Japonica on Yakushima Island by Using an Old Picture Map. Nihon Ringakkai Shi. Journal of the Japanese Forestry Society, 101(4): 163–167.
- Radovan D., Šolar R. 2010. Geospatialization and Socialization of Cartographic Heritage. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 161–178. DOI: 10.1007/978-3-642-12733-5\_8.

*Поступила в редакцию 30.06.2022;  
поступила после рецензирования 25.07.2022;  
принята к публикации 06.08.2022*

*Received June 30, 2022;  
Revised July 25, 2022;  
Accepted August 06, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лисецкий Фёдор Николаевич**, доктор географических наук, главный научный сотрудник института экологии и природопользования, Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

**Буряк Жанна Аркадьевна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Fedor N. Lisetskii**, Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher, Institute of Ecology and Nature Management, Kazan Federal University, Kazan, Russia

**Zhanna A. Buryak**, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher of the Federal-regional centre of aerospace and surface monitoring of the objects and natural resources, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia



УДК 614.78  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-398-409

## Геоинформационно-аналитическая оценка экологической безопасности городов Центрально-Чернозёмного региона

Епринцев С.А.

Воронежский государственный университет,  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1  
E-mail: esa81@mail.ru

**Аннотация.** Технологии, позволяющие производить оперативный мониторинг факторов окружающей среды и условий проживания населения с оценкой их удельного вклада в интегральные показатели экологической безопасности территории, являются одним из условий принятия оптимальных управленческих решений. Целью исследования является разработка геоинформационно-аналитической модели, позволяющей систематизировать изучение параметров экологической безопасности урбанизированных территорий городов Центрально-Чернозёмного региона России (Воронежа, Липецка, Белгорода). Для достижения поставленной цели создана геоинформационная система «Экологическая безопасность городов Центральной России», содержащая 4 раздела – природные условия, микроклиматические условия, социально-экономические условия, модель «Экологическая безопасность населения». Данные, содержащиеся в первых трёх разделах, получены на основе эколого-геохимических исследований, материалов дистанционного зондирования Земли, а также многолетней статистики. В рамках модели «Экологическая безопасность населения» произведена оценка удельного вклада в интегральный показатель экологической безопасности как прямых факторов – экологических условий исследуемых городов, так и косвенных факторов – социально-экономических и микроклиматических условий. Разработанная геоинформационно-аналитическая модель может выступать в роли справочного материала для принятия управленческих решений по оптимизации качества окружающей среды, рациональному природопользованию, а также разработке региональной экологической политики.

**Ключевые слова:** геоинформационное картографирование, урбанизированные территории, загрязнение городской среды, антропогенные поллютанты, экологическая безопасность, данные дистанционного зондирования Земли

**Благодарности:** исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект 20-17-00172.

**Для цитирования:** Епринцев С.А. 2022. Геоинформационно-аналитическая оценка экологической безопасности городов Центрально-Чернозёмного региона. Региональные геосистемы, 46(3): 398–409. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-398-409

---

## Geoinformation and Analytical Assessment of Environmental Safety of the Cities of the Central Chernozem Region

Sergey A. Yeprintsev

Voronezh State University  
1 Universitetskaya Pl, Voronezh 394018, Russia  
E-mail: esa81@mail.ru

**Abstract.** Technologies that allow for operational monitoring of environmental factors and living conditions of the population with an assessment of their specific contribution to the integral indicators of environmental safety of the territory is one of the conditions for making optimal management decisions.

The purpose of the study is to develop a geoinformation and analytical model that allows to systematize the study of environmental safety parameters of urbanized territories of cities in the Central Chernozem region of Russia (Voronezh, Lipetsk, Belgorod). To achieve this goal, the GIS "Ecological safety of cities in Central Russia" was created, containing 4 sections – natural conditions, microclimatic conditions, socio-economic conditions, the model "Ecological safety of the population". The data contained in the first three sections are obtained on the basis of ecological and geochemical studies, materials of remote sensing of the Earth, as well as long-term statistics. Within the framework of the "Environmental safety of the population" model, the specific contribution to the integral indicator of environmental safety of both direct factors – the environmental conditions of the studied cities, and indirect factors – socio-economic and microclimatic conditions was assessed. The developed geoinformation and analytical model can act as a reference material for making management decisions on environmental quality optimization, rational nature management, as well as the development of regional environmental policy.

**Keywords:** geoinformation mapping, urbanized territories, urban pollution, anthropogenic pollutants, environmental safety, Earth remote sensing data

**Acknowledgements:** The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation, project 20-17-00172.

**For citation:** Yeprintsev S.A. 2022. Geoinformation and Analytical Assessment of Environmental Safety of the Cities of the Central Chernozem Region. *Regional Geosystems*, 46(3): 398–409 (in Russia). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-398-409

---

## Введение

Современные урбанизированные территории представляют собой сложные многокомпонентные системы, конечной целью которых является обеспечение высокого уровня жизни населения [Крупко, Шульгина, 2019; Сафонов, Глухов, 2021]. Слаженные взаимосвязи различных компонентов городских систем – это основа устойчивого развития территории [Гудзь, Дубровская, 2018]. Начиная со второй половины XX в. в России и других развитых странах мира наблюдается существенный рост экономического благосостояния населения [Епринцев и др., 2019а]. При этом негативной производной данного процесса выступает рост антропогенного загрязнения атмосферы, провоцирующего экологически-обусловленные заболевания у населения, тем самым нарушая целостную систему устойчивого развития урбанизированных территорий [Епринцев и др., 2019б; Куролап и др., 2019].

Вопросы экологической безопасности и её удельного вклада в интегральный показатель устойчивого развития территории детально изучены во многих трудах отечественных и зарубежных исследователей. Так, Н.С. Касимовым и др. [2014], А.А. Келлером, В.И. Кувакиным [1998], С.А. Куролапом и др. [2019], О.В. Клепиковым и др. [2021], Б.Б. Прохоровым и др. [2007] описаны причинно-следственные связи формирования очагов экологически-обусловленных заболеваний и появление зон экологического риска. В частности, концепция экологического риска, обоснованная в трудах ведущих отечественных гигиенистов: Г.Г. Онищенко и др. [2014], Б.А. Ревича и др. [2015], Ю.А. Рахманина и др. [2015], исходит из того, что сочетание в окружающей среде потенциально опасных химических веществ и других вредных экологических факторов создаёт угрозу здоровью человека.

Основным условием качественной оценки экологической безопасности является оперативность в анализе параметров окружающей среды, что достигается быстротой обработки геоданных, которые в свою очередь должны в полной мере отражать репрезентативность отдельных выборок, что делает их большими по объёму [Механтьев и др., 2021]. Также важным критерием является простота в доступности и систематизация исходных данных для получения на их основе информации, позволяющей принять управленческие решения. Данные условия делают необходимым использование современных геоинформационных технологий и данных



дистанционного зондирования Земли при оценке экологической безопасности урбанизированных территорий [Лебедева и др., 2021; Лисецкий и др., 2021].

Высокую эффективность использования геоинформационных технологий в проведении экологических исследований отметили в своих трудах А.М. Берлянт, И.К. Лурье, В.С. Тикунов, А.В. Кошкарёв и другие ведущие картографы [Архипова, Епринцев, 2017]. Так, геоэкологический атлас Республики Мордовия, созданный под руководством А.А. Ямашкина, стал ярким примером региональной ГИС, позволяющей обобщать и оперативно анализировать экологическую информацию, что способствует оптимизации природопользования на региональном уровне [Ямашкин и др., 2022].

В 2018–2019 гг. коллективом исследователей под руководством профессора С.А. Куролапа создан электронный медико-экологический атлас г. Воронежа, включающий следующие разделы:

- окружающая среда (экологический фон: параметры техногенного воздействия и загрязнения атмосферы, почвы, снежного покрова; состояние родников; радиационный фон; фитотоксические эффекты; состояние биоты);
- здоровье населения (по основным социально значимым классам заболеваний отдельно для взрослого и детского населения по территориям обслуживания поликлиник города);
- экологические риски для здоровья населения (риски, связанные с микроклиматическими условиями, промышленно-транспортным воздействием и техногенным загрязнением городской среды).

Электронный медико-экологический атлас г. Воронежа даёт комплексное представление о факторах экологической безопасности территории городского округа города [Епринцев и др., 2019б].

Целью настоящего исследования является разработка геоинформационно-аналитической модели, позволяющей систематизировать изучение параметров экологической безопасности урбанизированных территорий городов Центрально-Чернозёмного региона России (Воронежа, Липецка, Белгорода).

### **Объекты и методы исследования**

Для эффективного обеспечения экологической безопасности населения урбанизированных территорий и принятия решений в соответствии с адекватной управленческой формулой необходима система оперативного экологического мониторинга, позволяющая своевременно реагировать на изменяющиеся условия. Функционирование данной системы осуществляется на основе геоинформационных технологий. Динамику многих природно-антропогенных факторов городской среды целесообразно анализировать по данным дистанционного зондирования Земли [Архипова, Епринцев, 2017].

Результаты эколого-геохимических исследований, статистические данные, а также данные дистанционного зондирования Земли исследуемых территорий обобщаются в созданную нами ГИС, что позволяет производить комплексную оценку экологической ситуации городов ЦЧР с выявлением факторов, воздействующих на здоровье проживающего на данных территориях населения.

Для анализа пространственных данных, обобщённых в ГИС, используются различные подходы. В отдельных случаях достаточно использование визуального анализа – принятие управленческих решений, на основе созданных ГИС-карт. В ситуациях, требующих более глубокого анализа, принятие однозначно правильных решений на основании ГИС-карты невозможно, поскольку использование одного лишь визуального анализа не позволяет получить полную информацию без дополнительной математико-статистической и геоинформационной обработки данных.

Созданные ГИС-карты исследуемых урбанизированных территорий ЦЧР обеспечивают: точную пространственную привязку, обобщение и систематизацию полученных данных, отбор, анализ репрезентативности и адаптацию всей поступающей информации с её последующим хранением (единое адресное пространство); наглядность и достоверность информации для принятия решений по адекватной управленческой формуле; анализ динамических характеристик исследуемых процессов и явлений; автоматизацию решения природоохранных задач, с учётом особенностей территории; возможность оперативного реагирования в экстренных случаях [Епринцев и др., 2020].

Созданная нами геоинформационно-аналитическая модель состоит из системы баз данных, объединённых в тематические разделы, характеризующие экологическое состояние урбанизированных территорий, социально-экономические показатели и природно-ресурсный потенциал. Функционирование геоинформационно-аналитической модели осуществляется на основе ГИС «Экологическая безопасность городов Центральной России», структура которой показана на рис. 1.

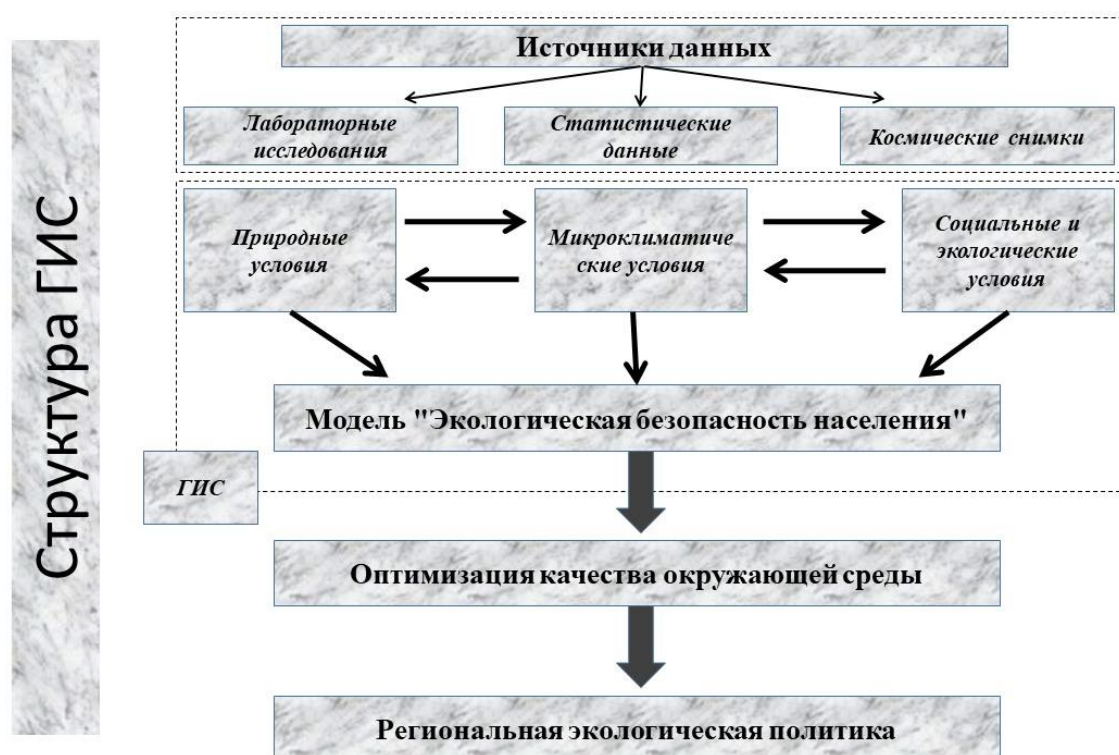


Рис. 1. Структура ГИС «Экологическая безопасность городов Центральной России»

Fig. 1. GIS structure "Ecological safety of cities of Central Russia"

Для получения данных дистанционного зондирования Земли, применяемых при оценке экологической безопасности городской среды исследуемых урбанизированных территорий Центрально-Чернозёмного региона России, использован портал GeoMixer компании ИТЦ СКАНЭКС. Данный портал представляет собой веб-геоинформационную платформу для широкого круга задач, которая позволяет работать с геоданными. Полученные на портале многоканальные космические снимки, сделанные со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 за период с 2015 по 2021 гг., обобщены в архиве. Космические снимки архива, содержащие наиболее актуальную информацию по итогам 2021 г., представлены в табл. 1.

Для оценки динамики антропогенной нагрузки городских территорий на примере г. Воронежа, Липецка, Белгорода за двадцатилетний период, созданный архив был дополнен архивными многоканальными космическими снимками, сделанными со спутника Landsat-7 за период с 1999 по 2001 гг. (табл. 2).





Таблица 1  
Table 1

Космические снимки 2021 г., используемые для оценки экологической безопасности городской среды  
Satellite images of 2021 used to assess the environmental safety of the urban environment

№	Дата съёмки, время	Спутник	Шифр снимка	Видимые города
1	25.08.2021 г., 8.17	Landsat-8	LC81760242021237LGN00	Воронеж
2	16.08.2021 г., 8.24	Landsat-8	LC81770252021228LGN00	Белгород
3	22.06.2021 г., 8.17	Landsat-8	LC81760242021173LGN00	Воронеж
4	22.06.2021 г., 8.17	Landsat-8	LC81760232021173LGN00	Липецк
5	5.02.2021 г., 8.24	Landsat-8	LC81770252021036LGN00	Белгород
6	29.01.2021 г., 8.17	Landsat-8	LC81760242021029LGN00	Воронеж
7	29.01.2021 г., 8.17	Landsat-8	LC81760232021029LGN00	Липецк
8	20.01.2021 г., 8.24	Landsat-8	LC81770252021020LGN00	Белгород

Таблица 2  
Table 2

Архивные космические снимки местности, используемые для анализа динамических характеристик факторов экологической безопасности городской среды  
Archival satellite images of the terrain used to analyze the dynamic characteristics of environmental safety factors of the urban environment

№	Дата съёмки	Спутник	Шифр снимка	Видимые города
1	10.08.2001 г.	Landsat-7	LE71760242001222KIS00	Воронеж
2	06.09.1999 г.	Landsat-7	LE71760231999249EDC00	Липецк
3	16.08.2001 г.	Landsat-7	LE71770252001197EDC00	Белгород

Обработка и последующее тематическое дешифрирование полученных космических снимков местности производилось в программном пакете Scanex Image Processor, позволяющем осуществлять тематическую классификацию изображений, используя различные алгоритмы. Высокая производительность данного программного пакета даёт широкие возможности для решения задач по тематическому дешифрированию космических снимков.

Для решения отдельных задач, связанных с хранением, анализом и визуализацией данных дистанционного зондирования Земли, был использован программный пакет ArcGIS.

Пространственно-временной анализ степени антропогенного воздействия на различные зоны исследуемых урбанизированных территорий, а также зоны природного каркаса произведён определением индекса NDVI в пределах городов и пригородных территорий.

Значения индекса NDVI представляют собой как стандартизованную непрерывную градиентную, так и дискретную шкалы с разбросом значений в пределах от  $-1$  до  $1$ . Кроме того, данный показатель может быть представлен в масштабированной шкале (от  $0$  до  $255$ ).

По значениям NDVI представляется возможным идентифицировать на космическом снимке как природных, так и антропогенных объектов с последующим анализом степени антропогенной нагрузки на территорию.

## Результаты и их обсуждение

Разработанная геоинформационно-аналитическая модель оценки экологической безопасности урбанизированных территорий Центрально-Чернозёмного региона России содержит 4 основных раздела (см. рис. 1).

В разделе «Природный потенциал» обобщены данные, характеризующие селитебные ландшафты урбанизированных территорий ЦЧР, их состав, степень устойчивости. Исследование пространственно-временных характеристик степени антропогенной нагрузки городов Центральной России, а также пригородных зон по материалам дистанционного зондирования Земли позволило дифференцировать изучаемые территории на 4 зоны – сильной антропогенной нагрузкой (многоэтажные строения, промышленная зона), средней антропогенной нагрузкой (малозэтажные строения, сельскохозяйственные угодья), природный каркас (территории, занятые зелёной растительностью), водные объекты.

Полученные данные свидетельствуют о том, что на территории всех изученных городов Центральной России за двадцатилетний период наблюдается рост территорий с сильной антропогенной нагрузкой на 3–9 %. В наибольшей степени такой рост наблюдается на территории городского округа г. Воронежа. Увеличение территорий с сильной антропогенной нагрузкой происходит преимущественно за счёт возрастания нагрузки на те территории, которые в прошлом относились к зонам со слабой антропогенной нагрузкой.

На территории г. Воронежа, Липецка и Белгорода установлена тенденция увеличения площадей зелёных насаждений на 1–5 %, относящихся к зонам природного каркаса. Наиболее устойчивая тенденция увеличения зон природного каркаса (на 5 %) фиксируется на территории г. Белгорода и пригородных территориях. Динамика изменения площадей водных объектов на территории г. Воронежа, Липецка и Белгорода за двадцатилетний период фиксируется приблизительно на одном уровне.

Раздел «Микроклиматические условия» обобщает данные параметров микроклимата прямо или косвенно влияющие на экологическую обстановку территории – роза ветров, среднемесячные температуры, средние скорости ветра, метеорологический потенциал атмосферы и так далее. Размер природного каркаса территории, а также его расположение относительно розы ветров во многом определяет микроклимат населённого пункта, а также влияет на распространение антропогенных поллютантов в атмосферном воздухе. По данным дистанционного зондирования Земли на территории городского округа г. Воронежа наблюдаются наименьшие площади, а также неудачное расположение (с подветренной стороны) территорий природного каркаса. Данный факт обусловлен экономическими причинами. Высокая стоимость земли внутри города стимулирует местных предпринимателей выносить производства в пригородную зону, что с одной стороны уменьшает антропогенные выбросы в городской среде, а с другой стороны сокращает площади лесов, относящихся к зоне природного каркаса. В качестве положительного аспекта следует отметить рост площади природного каркаса за двадцатилетний период, что является следствием реализации ряда природоохранных программ. Наибольшая площадь территории, занятая природным каркасом, наблюдается в пределах городского округа г. Белгорода, что можно объяснить грамотной экологической политикой региональных и муниципальных властей на данной территории. На территории г. Липецка следует отметить рост территории природного каркаса за двадцатилетний период и его удачное расположение.

Раздел «Социально-экологические условия» обобщает собственные эколого-геохимические исследования (рис. 2), статистические данные природоохранных ведомств и учреждений статистики, полученные в рамках межведомственного обмена. Раздел содержит как данные по экологическим условиям, так и социальным факторам, которые могут прямо или косвенно оказывать воздействие на интегральные величины экологической безопасности.

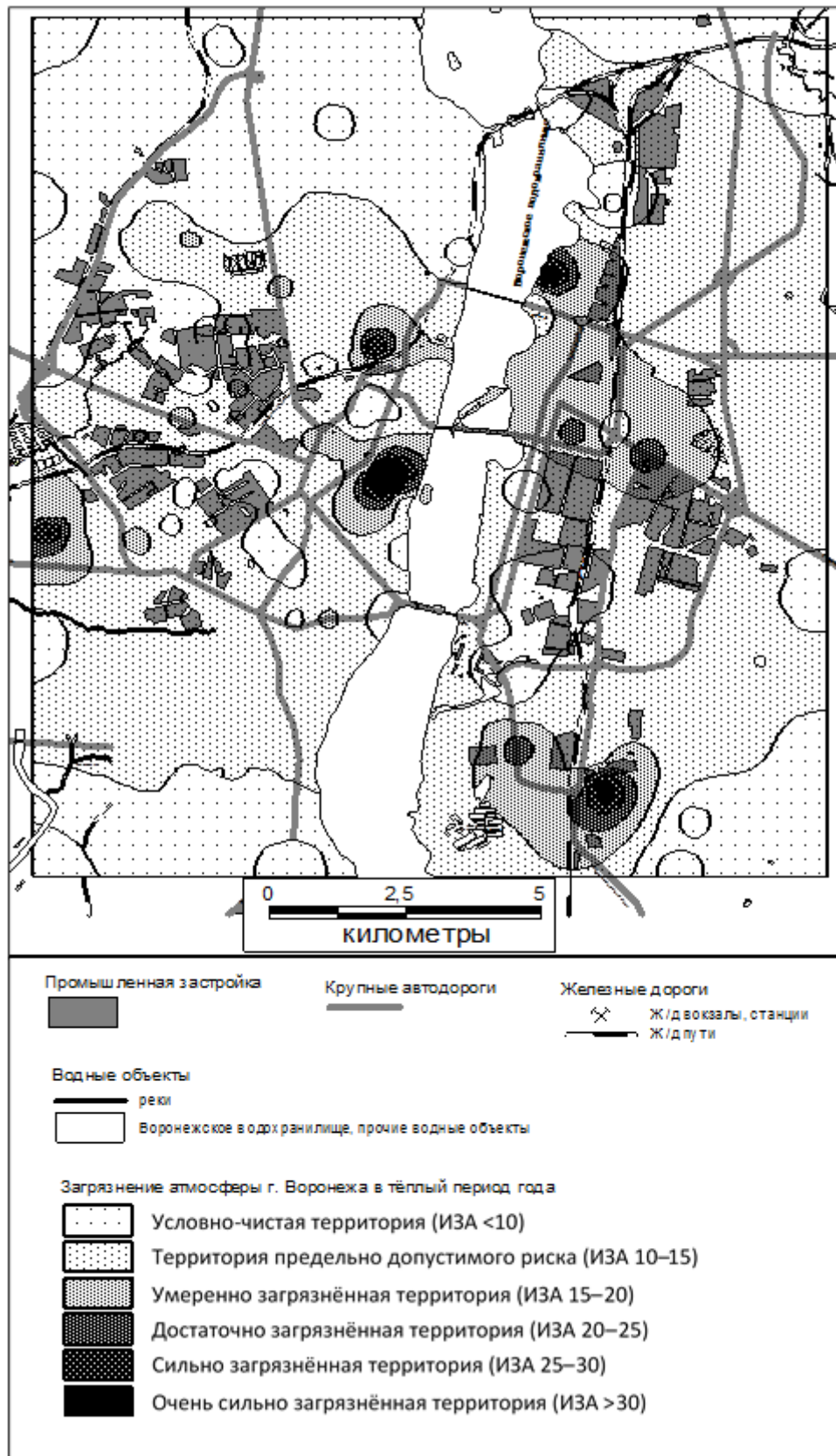


Рис. 2. ГИС-карта индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) территории городского округа г. Воронежа в тёплый период года

Fig. 2. GIS map of the Atmospheric pollution index (ISA) of the territory of the Voronezh City District in the warm season

Проведённые эколого-геохимические исследования показали, что по ряду антропогенных поллютантов в городах Центрально-Чернозёмного региона России наблюдаются превышения индивидуального канцерогенного риска для населения, что вызывает опасения в связи с сильной зависимостью онкологических заболеваний населения крупных городов от качества окружающей среды [Седых и др., 2021; Станишевская и др. 2021].

Оценка социально-экономических условий городов ЦЧР позволила установить ряд факторов, косвенно влияющих на уровень экологической безопасности. Так, доход населения в том или ином регионе определяет общее качество жизни, а также оказывает влияние на уровень адаптации людей к неблагоприятным факторам окружающей среды. Чем выше доход, тем более качественное питание, медицинское обслуживание, отдых и т.д. может себе позволить горожанин, что повышает его уровень адаптации. Наиболее уязвимыми группами для возникновения экологически-обусловленных заболеваний являются граждане, доходы которых ниже прожиточного минимума.

Оценивая уровень бедности населения в Российских городах по статистическим данным, можно проследить существенную дифференциацию данного показателя в пределах Российской Федерации (от 7 до 33 % в различных городах РФ). На территории исследуемых городов Центральной России он колеблется от 7,9 % в Белгороде до 8,9 % в Воронеже, что показывает относительное экономическое благополучие данных городов.

К другим социальным условиям, оказывающим существенное влияние на качество жизни населения и наибольшее косвенное влияние на уровень экологической безопасности, можно отнести обеспеченность населения жилой площадью, централизованным водоснабжением и централизованной канализацией.

Площадь жилых помещений, приходящаяся на человека, является фактором, снижающим распространение различных заболеваний. Чем выше данный показатель, тем выше индивидуальная адаптационная устойчивость населения. Исследуя обеспеченность населения России жилой площадью следует отметить, что по средним значениям данного показателя практически все регионы России обеспечены жилой площадью выше минимального значения 7 м<sup>2</sup> на человека. В исследуемых городах Центральной России данный показатель изменяется от 30,1 м<sup>2</sup> на человека в г. Воронеже до 31,1 м<sup>2</sup> на человека в г. Липецке.

Анализ наличия централизованного водоснабжения в регионах России показал существенную дифференциацию городов по данному показателю – от 0,4 до 67 %. На территории исследуемых городов наиболее низкий показатель обеспеченности населения централизованным водоснабжением фиксируется на территории городского округа г. Воронежа – 30,1 % жилых помещений не имеют централизованного водоснабжения. Наилучшие показатели фиксируются в г. Липецке – 11,6 % жилых помещений не имеют централизованного водоснабжения. Количество жилых помещений, в которых отсутствует централизованная канализация сильно различается в разных регионах Российской Федерации – от 0,5 до 62 %. На территории исследуемых нами городов наибольшее количество жилых помещений без централизованной канализации зарегистрировано на территории городского округа г. Воронежа – 22,9 %. Наименьшее – в г. Липецке – 14,7 %. На эти данные следует обратить особое внимание, так как они являются важной частью интегральных значений санитарно-гигиенической и экологической безопасности.

Раздел «Модель экологической безопасности населения» даёт возможность проведения математико-статистического анализа с последующей разработкой интегральных показателей экологической безопасности населения городов ЦЧР – Воронежа, Липецка, Белгорода.



## Заключение

Разработанная геоинформационно-аналитическая модель оценки экологической безопасности урбанизированных территорий Центрально-Чернозёмного региона России – Воронежа, Липецка, Белгорода, состоящая из четырёх разделов, позволила обобщить экологические, социально-экономические и микроклиматические данные исследуемых городов с возможностью последующего анализа и получения новой информации при использовании различных методов.

Раздел «Природный потенциал» содержит данные, полученные по материалам дистанционного зондирования Земли. Данный раздел позволил дифференцировать территорию исследуемых городов, а также пригородных зон по степени антропогенной нагрузки.

Раздел «Микроклиматические условия» объединяет статистические данные и материалы дистанционного зондирования Земли. Анализ данных этого раздела позволяет оценить комфортность природных условий, влияние факторов микроклимата на интегральные показатели экологической безопасности.

Раздел «Социально-экологические условия» обобщает проведённые эколого-геохимические исследования и статистические данные природоохранных ведомств. Анализ данных этого раздела позволяет установить зоны экологического риска исследуемых урбанизированных территорий, произвести оценку как прямых факторов, определяющих экологическую безопасность – экологические условия, так и косвенных факторов – социально-экономические условия.

Анализ данных в среде ГИС «Экологическая безопасность городов Центральной России» позволил создать авторские электронные карты, отражающие уровни экологической безопасности городов Центрально-Чернозёмного региона России. На основе созданных карт (а также создаваемых в будущем) представляется возможным разработку комплекса эколого-проектировочных мероприятий, повышающих интегральный показатель экологической безопасности населения исследуемых урбанизированных территорий.

## Список литературы

- Архипова О.Е., Епринцев С.А. 2017. Оценка динамики природного каркаса урбанизированных территорий Воронежской области по материалам дистанционного зондирования Земли. *Информация и космос*, 3: 119–125.
- Гудзь Т.В., Дубровская Н.В. 2018. Эволюция содержания принципа устойчивого развития в градостроительной деятельности. *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*, 1: 444–450.
- Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В. 2020. Дистанционное зондирование Земли как способ оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий. *Здоровье населения и среда обитания – ЗниСО*, 4(325): 5–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12.
- Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В., Жигулина Е.В. 2019а. Исследование социально-экологических условий, определяющих устойчивое развитие регионов России. *Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*, 1(4): 212–216. DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-212-216.
- Епринцев С.А., Клепиков О.В., Шекоян С.В., Жигулина Е.В. 2019б. Формирование очагов экологически обусловленной заболеваемости как критерий «отклика» на качество окружающей среды. *Наука Юга России*, 15(3): 70–80. DOI: 10.7868/S25000640190308.
- Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Малхазова С.М., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Шартова Н.В., Власов Д.В., Тимонин С.А., Крайнов В.Н. 2014. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. М., ИП Филимонов М.В., 560 с.
- Келлер А.А., Кувакин В.И. 1998. *Медицинская экология*. СПб., Петроградский и К, 255 с.
- Клепиков О.В., Куролап С.А., Седых В.А. 2021. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха и оценка канцерогенных рисков для здоровья населения города Липецка. *Региональные геосистемы*, 45(2): 236–245. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.

- Крупко А.Э., Шульгина Л.В. 2019. Экологические аспекты сбалансированного развития Центрально-Чернозёмного экономического района. ФЭС: Финансы. Экономика, Стратегия, 16(11): 31–40.
- Куролап С.А., Яковенко Н.В., Федотов В.И., Михно В.Б., Костылева Л.Н. 2019. Геоэкологическая диагностика субъектов Центрального Черноземья. Юг России: экология, развитие, 14(1): 67–80. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-67-80.
- Лебедева М.Г., Корнилов А.Г., Петина М.А., Вендина Т.Н. 2021. «Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство» как информационная основа реализации политики устойчивого развития региона. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(2): 75–88. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-75-88.
- Лисецкий Ф.Н., Ильяшенко С.В., Буряк Ж.А. 2021. Разработка информационно-поисковой системы для анализа динамики формирования сети населённых пунктов. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 27(4): 202–217. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-202-217.
- Механтьев И.И., Клепиков О.В., Куролап С.А., Масайлова Л.А. 2021. Оценка связи заболеваемости населения Воронежской области с водным фактором. Вестник новых медицинских технологий, 15(3): 40–46. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-3-2-1.
- Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В. 2014. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития. Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 738 с.
- Прохоров Б.Б., Горшкова И.В., Шмаков Д.И., Тарасова Е.В. 2007. Общественное здоровье и экономика. М., ООО «МАКС Пресс», 292 с.
- Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Сеницына О.О., Шашина Т.А. 2015. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования. Анализ риска здоровью, 2: 4–11.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Авалиани С.Л., Рубинштейн К.Г., Емелина С.В., Ширяев М.В., Семутникова Е.Г., Захарова П.В., Кислова О.Ю. 2015. Оценка опасности для здоровья населения Москвы высокой температуры и загрязнения атмосферного воздуха. Гигиена и санитария, 94(1): 36–40.
- Сафонов А.И., Глухов А.З. 2021. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика. Экосистемы, 28: 16–28.
- Седых В.А., Куролап С.А., Кондауров Р.А. 2021. Геоэкологическая оценка аэротехногенного загрязнения воздушной среды города Липецка. Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки, 15(1): 96–103. DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103.
- Станишевская Е.В., Кузмичев М.К., Клепиков О.В., Куролап С.А., Хорпякова Т.В. 2021. Канцерогены в приземном слое атмосферного воздуха на территории промышленно-развитого города Воронежа и риск здоровью населения. Тенденции развития науки и образования, 74–3: 73–78. DOI: 10.18411/lj-06-2021-100.
- Ямашкин А.А., Зарубин О.А., Ямашкин С.А. 2022. Цифровые технологии анализа геопространственных данных для целей устойчивого развития региона: опыт Мордовского университета. Московский экономический журнал, 7(5): 335–352. DOI: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_5\_271.

## References

- Arkhipova O., Yeprintsev S. 2017. Assessment of Natural Framework Dynamics of the Urbanized Territories of the Voronezh Region According to the Materials of Sounding. Information and space, 3: 119–125 (in Russian).
- Gudz T.V., Dubrovskaya N.V. 2018. Evolution of the content of the principle of sustainable development in urban development. Modern technologies in construction. Theory and practice, 1: 444–450 (in Russian).
- Yeprintsev S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V. 2020. Remote Sensing of the Earth as a Method of Assessing Environmental Quality of Urban Areas. Public Health and Life Environment – PH&LE, 4(325): 5–12 (in Russian). DOI: 10.35627/2219-5238/2020-325-4-5-12.
- Yeprintsev S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V., Zhigulina E.V. 2019a. Study of Social and Ecological Conditions to Determine the Sustainable Development of Russian Regions. Ecology. Economy.



- Informatics. Series: System Analysis and Mathematical Modeling of Economic and Ecological Systems, 1(4): 212–216 (in Russian). DOI: 10.23885/2500-395X-2019-1-4-212-216.
- Yeprintsev S.A., Klepikov O.V., Shekoyan S.V., Zhigulina E.V. 2019b. Formation of Environmental Focal Diseases as a Response Criteria for the Quality of the Environment. *Science of the South of Russia*, 15(3): 70–80 (in Russian). DOI: 10.7868/S25000640190308.
- Kasimov N.S., Bitjukova V.R., Malkhazova S.M., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Shartova N.V., Vlasov D.V., Timonin S.A., Krainov V.N. 2014. *Regions and Cities of Russia: the Integrated Assessment of the Environment*. Moscow, Publ. IP Filimonov M.V., 560 p. (in Russian).
- Keller A.A., Kuvakin V.I. 1998. *Meditsinskaya ekologiya [Medical Ecology]*. St. Petersburg, Publ. Petrogradskiy i K, 255 p.
- Klepikov O.V., Kurolap S.A., Sedykh V.A. Monitoring and Assessment of Carcinogenic Risks for the Health of the Population of the City of Lipetsk, Caused by Air Pollution. *Regional Geosystems*, 45(2): 236–245 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-236-245.
- Krupko A.E., Shulgina L.V. 2019. Main Problems and Directions of Sustainable Development of the Central Black Sea Economic District. *FES: Finance. Economy. Strategy*, 10: 31–41 (in Russian).
- Kurolap S.A., Yakovenko N.V., Fedotov V.I., Mikhno V.B., Kostyleva L.N. 2019. Geoecological Diagnostics of the Regions in the Centralblack Soil Region. *South of Russia: ecology, Development*, 14(1): 67–80 (in Russian). DOI: 10.18470/1992-1098-2019-1-67-80.
- Lebedeva M.G., Kornilov A.G., Petina M.A., Vendina T.N. 2021. "Geographical Atlas of the Belgorod Region: Nature, Society, Economy" as an Information Basis for the Implementation of the Sustainable Development Policy of the Region. *InterCarto. InterGIS*, 27(2): 75–88 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-75-88.
- Lisetskii F.N., Ilyashenko S.V., Buryak J.A. 2021. Development of an Information Retrieval System for Analyzing the Dynamics of the Formation of a Network of Settlements. *InterCarto. InterGIS*, 27(4): 202–217 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-202-217.
- Mekhantsev I.I., Klepikov O.V., Kurolap S.A., Masailova L.A. 2021. Health Risk of the Population in Voronezh Region Related to Water Factor. *Journal of New Medical Technologies*, 15(3): 40–46 (in Russian). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-3-2-1.
- Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., May I.V. 2014. *Analiz riska zdorovyu v strategii gosudarstvennogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya [Health Risk Analysis in the Strategy of State Socio-Economic Development]*. Perm, Publ. Permskiy natsionalnyy issledovatel'skiy politekhnicheskii universitet, 738 p.
- Prokhorov B.B., Gorshkova I.V., Shmakov D.I., Tarasova E.V. 2007. *Obshchestvennoye zdorovye i ekonomika [Public Health and Economics]*. Moscow, Publ. OOO "MAKS Press", 292 p.
- Rakhmanin Y.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. 2015. Actual Problems of Environmental Factors Risk Assessment on Human Health and Ways to Improve It. *Health Risk Analysis*, 2: 4–9 (in Russian).
- Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Avaliani S.L., Rubinshteyn K.G., Emelina S.V., Shiryaev M.V., Semutnikova E.G., Zakharova P.V., Kislova O.Yu. 2015. Hazard Assessment of the Impact of High Temperature and Air Pollution on Public Health in Moscow. *Hygiene and sanitation*, 94(1): 36–40 (in Russian).
- Safonov A.I., Glukhov A.Z. 2021. Phytomonitoring in a Technogenically Transformed Environment: Methodology and Practice. *Ecosystems*, 28: 16–28 (in Russian).
- Sedykh V.A., Kurolap S.A., Kondaurov R.A. 2021. Geoecological Assessment of Technogenic Air Pollution of Atmospheric Environment in Lipetsk. *News of Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences*, 15(1): 96–103 (in Russian). DOI: 10.31161/1995-0675-2021-15-1-96-103.
- Stanishevskaya E.V., Kuzmichev M.K., Klepikov O.V., Kurolap S.A., Horpyakova T.V. 2021. *Kantserogeny v prizemnom sloye atmosfernogo vozdukha na territorii promyshlenno-razvitogo goroda Voronezha i risk zdorovyu naseleniya [Carcinogens in the Surface Layer of Atmospheric Air on the Territory of the Industrially Developed City of Voronezh and the Risk to Public Health]*. Trends in the development of science and education, 74–3: 73–78. DOI: 10.18411/lj-06-2021-100.
- Yamashkin A.A., Zarubin O.A., Yamashkin S.A. 2022. Digital Technologies for Analysis of Geospatial Data for the Purposes of Sustainable Development of the Region: Experience of Mordovia University. *Moscow Economic Journal*, 7(5): 335–352 (in Russian). DOI: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_5\_271.



*Поступила в редакцию 15.07.2022;  
поступила после рецензирования 05.08.2022;  
принята к публикации 20.08.2022*

*Received July 15, 2022;  
Revised August 05, 2022;  
Accepted August 20, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Епринцев Сергей Александрович**, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Sergey A. Yeprintsev**, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia





УДК 628.4  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-410-423

## **Система обращения с ТКО в Республике Башкортостан: этапы становления, проблемы и современное состояние**

**Камалова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш., Лешан И.Ю., Нурмухаметова Э.З.**

Башкирский государственный университет,  
Россия, 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32  
E-mail: galim-rita@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается современное состояние системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) в Республике Башкортостан, поскольку она представляет особую экологическую важность в связи с проблемами их накопления, сортировки и утилизации. Анализ проводился на основе систематизированных материалов Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан и Управления Росприроднадзора по Республике Башкортостан. Авторами детально описано становление системы обращения с ТКО в республике, начиная с этапов ее формирования (начало 2000-х гг.). В ходе исследования рассмотрены динамика ежегодной массы накопления отходов, роста числа полигонов для нее, характеристики вместимости (мощности) объектов размещения отходов. Для республики предложена классификация полигонов по вместимости. Выявлены основные проблемы системы обращения с отходами – ежегодно образующаяся масса ТКО около 1 млн т, половина полигонов заполнены на 50 % и более. Отдельно характеризуется «новая» территориальная схема обращения с отходами, принятая в 2019 г. Основными путями решения «мусорной» проблемы в Башкортостане является строительство новых объектов не только размещения отходов, но и их переработки. В связи с этим проанализированы показатели планируемых объектов размещения и сортировки ТКО.

**Ключевые слова:** экологическая напряженность, отходы, свалка, мусоросортировочный комплекс, сортировка, захоронение, утилизация, схема обращения с отходами, полигон ТКО

**Для цитирования:** Камалова Р.Г., Фатхутдинова Р.Ш., Лешан И.Ю., Нурмухаметова Э.З. 2022. Система обращения с ТКО в Республике Башкортостан: этапы становления, проблемы и современное состояние. Региональные геосистемы, 46(3): 410–423. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-410-423

---

## **The System of Solid Municipal Waste Management in the Republic of Bashkortostan: Stages of Formation, Problems and Current State**

**Rita G. Kamalova, Regina Sh. Fatkhutdinova, Irina Yu. Leshan,  
Elmira Z. Nurmukhametova**

Bashkir State University,  
32 Zaki Validi St, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450076, Russia  
E-mail: galim-rita@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses the current state of the municipal solid waste management system in the Republic of Bashkortostan, since it is of particular environmental importance due to the problems of their accumulation, sorting and disposal. The analysis was carried out on the basis of systematized materials of the Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan and the Office of Rosprirodnadzor for the Republic of Bashkortostan. The authors describe in detail the formation of the municipal solid waste management system in the republic, starting from the stages of its formation (early 2000s). In the course of the study, the dynamics of the annual mass of waste accumulation, the increase in

the number of landfills for it, the characteristics of the capacity of waste disposal facilities were considered. For the republic, a classification of landfills by capacity is proposed. The main problems of the waste management system were identified – the mass of municipal solid waste generated annually is about 1 million tons, half of the landfills are filled by 50 % or more. Separately, the «new» territorial scheme for waste management, adopted in 2019, is characterized. The main ways to solve the «garbage» problem in Bashkortostan is the construction of new facilities not only for waste disposal, but also for their processing. In this regard, the indicators of the planned facilities for placement and sorting of municipal solid waste were analyzed.

**Keywords:** environmental tension, waste, landfill, waste sorting complex, sorting, waste disposal, recycling, waste management scheme, municipal solid waste landfill

**For citation:** Kamalova R.G., Fatkhutdinova R.Sh., Leshan I.Yu., Nurmukhametova E.Z. 2022. The System of Solid Municipal Waste Management in the Republic of Bashkortostan: Stages of Formation, Problems and Current State. *Regional Geosystems*, 46(3): 410–423 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-410-423

---

## Введение

В рейтинге Центра экологической политики и права Йельского университета Россия в 2016 г. занимала 32 место из 180 стран, в 2018 г. – спустилась на 52 место, а в 2020 г. – на 58 место [Environmental Performance Index, 2020]. Данная ситуация свидетельствует прежде всего об усилении экологической напряженности в России. Ряд показателей вышеуказанного рейтинга составляют позиции по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО) и с их дальнейшей переработкой или накоплением, поскольку накопление отходов даже на санкционированных свалках или полигонах ТКО наносит огромный экологический, экономический и социальный ущерб природной среде и населению.

В настоящее время проблема накопления отходов является одной из наиболее актуальных, так как каждый год на планете образуется около 2 млрд т ТКО, из них в России – примерно 70 млн т [Кашеев и др., 2020].

С 2019 г. началась реализация так называемой «мусорной» реформы и субъекты России переходят на новую систему обращения с ТКО, сущность которой предполагает прозрачность всех ее этапов [Коробко, Карданская, 2019; Атаманова и др., 2020].

В Республике Башкортостан (РБ) с численностью населения чуть более 4 млн человек образуется ежегодно от 1,0 до 1,5 млн т ТКО. По данным [Управление ..., 2021; Южно-Уральское ..., 2021] по состоянию на 2020 г. Башкортостан находится на 9 месте по объемам образованных ТКО за год и на 19 месте по наличию отходов на начало года. В связи с этим проблема сбора, накопления, сортировки, утилизации, обезвреживания, захоронения ТКО, или в целом система обращения с ТКО, занимает ведущие позиции в экологической политике республики. Тем не менее, несмотря на многочисленность публикаций на тему, связанную с отходами, практически отсутствуют исследования по системному развитию сферы обращения с отходами населения в РБ.

Целями настоящего исследования являются: подробное рассмотрение этапов становления системы обращения с ТКО; количественная и качественная характеристика полигонов, включая запланированные объекты; анализ современного зонирования региональных операторов по обращению с ТКО.

## Объекты и методы исследования

В качестве базы данных использованы фондовые материалы Управления Росприроднадзора по РБ, Южно-Уральского межрегионального управления Росприроднадзора, а также соответствующие опубликованные материалы Министерства природных ресурсов и



экологии Республики Башкортостан (МПР РБ). Авторами систематизирована и обработана информация в сфере обращения с ТКО с 2000 г. следующего характера: масса ТКО; динамика численности, вместимость, заполненность полигонов ТКО; мощности мусоросортировочных комплексов; распределение объектов размещения ТКО по зонам региональных операторов.

### Результаты и их обсуждение

Система обращения с отходами в республике начала формироваться примерно с начала 2000-х годов и продолжается по настоящее время. На основе фондовых материалов МПР РБ авторами изучена история формирования системы обращения с ТКО (до 2018 г. был принят термин «твердые бытовые отходы» – ТБО):

- 2000 г. Кабинетом министров РБ было принято распоряжение «Об упорядочении деятельности в области обращения с отходами»: начинается приведение свалок ТБО в соответствии с природоохранными требованиями. Внедряется в практику паспортизация объектов размещения ТБО. Госкомэкологией внедряется целевая программа «Отходы производства и потребления» согласно одноименному Закону РБ, разработан ряд нормативных правовых документов. В г. Уфе на базе АО «Вторресурсы» ведется сбор ПЕТ-бутылок.

- 2001 г. Организовано строительство 12 современных полигонов ТБО, 4 введены в эксплуатацию (возле г. Стерлитамак, п. Инзер, с. Бураево, с. Месягутово). В г. Белебей внедрена линия сортировки отходов. В городах Уфа и Стерлитамак она входит в комплекс действующих полигонов ТБО.

- 2002 г. Эксплуатируется 12 полигонов ТБО, 4 – на этапе строительства. Активно ведутся работы по сортировке отходов в г. Октябрьский. Проведена инвентаризация объектов размещения отходов.

- 2003 г. С целью обеспечения ведения единой политики по обеспечению рентабельной эксплуатации полигонов ТБО Правительством РБ создано государственное унитарное предприятие «Табигат», на которое возложены функции управления полигонами ТБО, создания и развития эффективно действующей системы обращения с отходами. Начинается внедрение системы раздельного сбора отходов. Разработаны 2 проекта мусороперерабатывающих комплексов (г. Стерлитамак, Уфимский район). Проведена инвентаризация объектов размещения отходов: из 4100 объектов размещения 3500 ТБО.

- 2004 г. Продолжены работы по формированию и ведению государственного кадастра отходов. ГУП «Табигат» приведены технологии захоронения отходов в соответствии с СанПиН; осуществляется усиленный контроль за определением степени воздействия полигонов на определенные компоненты окружающей среды. Успешно действуют 2 установки по переработке отработанных ртутьсодержащих ламп.

- 2005 г. Введено в эксплуатацию 27 полигонов ТБО. В г. Стерлитамак продолжен эксперимент по раздельному (селективному) сбору отходов от населения, а также организован сбор вторичного сырья.

- 2006 г. Отмечен рост объемов сбора вторичного сырья. В Уфе ООО «Чистый город» создано 19 пунктов сбора вторичного сырья. Действует ряд специализированных предприятий, занимающихся сбором и переработкой полиэтиленовой пленки в г. Туймазы, г. Мелеуз, г. Октябрьский, г. Салават, с. Шаран.

- 2007 г. Эксплуатируется 29 полигонов ТБО. В республике постепенно внедряется система раздельного сбора отходов. Остается проблемным вопрос по переработке и вторичному использованию ПЕТ-упаковки. Из-за отсутствия специализированных предприятий данные отходы направляются на переработку и повторное использование в г. Ижевск (Удмуртия).

- 2008 г. Правительством РБ принято Постановление [О концепции ..., 2008]. На территории городского округа г. Уфа на действующем полигоне ТБО в п. Новые Черкассы начинает работать линия сортировки, через которую проходят все отходы, поступающие на утилизацию, в том числе и РЕТ-тара.
- 2009 г. Начинает формироваться сеть стационарных и мобильных пунктов приема вторичного сырья, такого как металлолом, стеклобой и пластмассовые отходы. Ведется работа по развитию системы раздельного сбора и привлечению к этому процессу населения и предпринимателей.
- 2010 г. При содействии целевой программы «Экология и природные ресурсы РБ (2004–2010 гг.)» были введены в эксплуатацию 36 современных полигонов ТБО. Изучение опыта сортировки отходов показало возможность извлечения до 70 % ценных компонентов и существенного снижения нагрузки на полигон.
- 2011 г. Введены в эксплуатацию 42 полигона ТБО. Хотя и приоритетным направлением в области обращения с отходами считается переход от захоронения к их использованию в качестве вторичного сырья, средний уровень использования отходов на протяжении ряда лет составляет около 3 % от общего годового объема.
- 2012 г. Эксплуатируется 4 установки по обезвреживанию ртутных ламп. Построены две линии сортировки ТБО в г. Стерлитамак и одна в г. Октябрьском. НИИБЖД РБ проведены исследования влияния свалок ТБО на загрязнение воздуха, почв, подземных и поверхностных вод (возле 3 населенных пунктов).
- 2013 г. МПР РБ разработаны и предложены органам местного самоуправления типовые площадки для сбора отходов от населения, на которых предусматривается раздельный сбор некоторых отходов и ртутьсодержащих ламп. Предложены два вида контейнеров с различными характеристиками. Средний уровень использования отходов немного увеличился – приблизительно до 5 % от общего годового объема. Доработана база данных АИС «Кадастр отходов» для обеспечения хранения сведений о предприятиях и организациях, осуществляющих сбор, транспортировку и переработку отходов в РБ. Разработан пилотный проект по организации мусоропереработки на базе полигона ТБО г. Стерлитамак. Продолжаются исследования НИИБЖД РБ по влиянию свалок на компоненты окружающей среды (возле 2 населенных пунктов).
- 2014 г. В соответствии с вступившим в силу приказом Минприроды России «О включении объектов размещения отходов в государственный реестр объектов размещения отходов» (ГРОРО) в реестр по РБ включено 19 полигонов ТБО. МПР РБ разработана концепция инвестиционного проекта «Реализация межмуниципальной системы переработки и утилизации (захоронения) твердых бытовых отходов Республики Башкортостан». В качестве помощи республиканским муниципалитетам ГУП «Табигат» организует выезд экомобиля по заявкам администраций.
- 2015 г. В целях обеспечения взаимодействия между государственными органами, организациями, органами местного самоуправления РБ по вопросам реализации положений Федерального закона «Об отходах производства и потребления» распоряжением Правительства республики создана межведомственная рабочая группа по его исполнению. МПР РБ разработан ряд нормативных правовых актов. Проведена конкурсная процедура по выбору исполнителя работ по теме: «Территориальная схема обращения с отходами Республики Башкортостан». Определены ответственные лица по сбору и оповещению населения о правилах сбора отходов I класса опасности. Разработана Муниципальная подпрограмма «Обновление контейнерного парка и спецтехники в городском округе город Уфа РБ на 2014–2018 гг.», в соответствии с которой для столицы закупили более 2500 евроконтейнеров и 9 современных автомобилей-мусоровозов.
- 2016 г. Действует 47 полигонов ТБО, из которых 31 занесен в ГРОРО. Некоторые полигоны ТБО (г. Давлеканово, г. Сибай, п. Николо-Березовка Краснокамского района), заполненные практически на 100 %, подлежат закрытию и рекультивации. На полигонах и



мусоросортировочных комплексах отсортировано 127619,5 т отходов, при этом уровень использования увеличился до 7 %. МПР РБ заключено соглашение с Межрегиональной общественной организацией «Природное наследие нации» о сотрудничестве и совместной реализации Всероссийского природного социального проекта «ЭКОБОКС», на основании которого установлены 651 экобокс в г. Уфа и 62 экобокса в районах республики.

- 2017 г. Из 49 полигонов ТБО, расположенных на территории РБ, в ГРОРО внесено 35. Начала функционировать «Электронная модель территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Республики Башкортостан, утвержденная постановлением Правительства Республики Башкортостан» на сайте МПР РБ. Количество экобоксов увеличено до 1185.

- 2018 г. Правительством РБ утвержден паспорт регионального проекта «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» (утратил силу в 2020 г.). Правительством РБ утверждены нормативы накопления ТКО (для объектов «многоквартирные жилые дома» и «индивидуальное жилье»). В республике действует 14 объектов обработки отходов – мусоросортировочных комплексов, общей мощностью свыше 1300 тыс. т. Извлечено более 40 % от поступивших отходов на обработку. Планово-регулярной системой сбора и вывоза ТКО охвачены лишь города и райцентры (около 62 % населения). Зарегистрировано рекордное количество несанкционированных свалок ТКО – 2932 площадью более 2300 га. С этого года все полигоны республики (35) занесены в ГРОРО. В конце года 1 полигон законсервирован.

- 2019 г. В республике имеется 48 объектов размещения ТКО: 34 полигона и 14 мусоросортировочных комплексов. Действуют 4 региональных оператора по обращению с ТКО: МУП «Спецавтохозяйство по уборке города»; ООО «Дюртилимелиоводстрой»; ООО РО «Эко-сити»; ООО «Экология Т» (срок договоров – 10 лет). Общее количество контейнеров в муниципалитетах республики – 35276. Менее 10 % от поступивших отходов идет на обработку. Реализуются федеральные проекты «Чистая страна». Уфа входит в десятку рейтинга городов-миллионников РФ по отдельному сбору ТКО [Подопригора и др., 2021].

- 2020 г. Для контроля за деятельностью региональных операторов внедрена автоматизированная система мониторинга вывоза отходов «ТКО-Башкортостан», позволяющая в режиме реального времени отслеживать качество и своевременность оказываемой региональными операторами услуги. Охват населения в зонах обслуживания региональных операторов по обращению с ТКО составил 95 %. На территории РБ отдельным сбором ТКО охвачены около 30 муниципальных образований. Доля населения, охваченного системой отдельного сбора отходов, составляет 37 % (запланировано довести до 70 %). Для этого оборудовано 1967 контейнерных площадок, на которых установлено 2693 цветных контейнера. Пункты приема вторсырья организованы в крупных сетевых магазинах г. Уфа. «Центром создания систем обращения с отходами» начаты работы по определению нормативов накопления ТКО, дифференцированных по категориям объектов (до конца 2021 г.).

- 2021 г. Реализуется выполнение показателя «Ликвидация несанкционированных свалок, в том числе выявленных на 1 января 2018 г. в границах городов Республики Башкортостан» в подпрограмме 2011 г. [О республиканской ..., 2011]. Доля обустроенных контейнерных площадок в общей потребности составила 88 %.

Таким образом, на сегодняшний день система обращения с ТКО в Республике Башкортостан базируется на главном принципе – захоронение на полигонах ТКО или на санкционированных свалках. Опираясь на статистические данные [Управление ..., 2021; Южно-Уральское ..., 2021], этот показатель составляет только 63 % от общеобразованного за год объема ТКО. Кроме того, на территории РБ в течение года можно обнаружить более 2300 свалок ТКО. На данных территориях обнаружены нарушения в области природоохранного законодательства. В частности, наблюдается отсутствие документов о земельном отводе, ос-

новых природоохранных сооружений, в том числе противofильтрационных экранов, системы сбора и утилизации фильтрата на полигонах ТКО, предусмотренных при их эксплуатации согласно [Инструкция ..., 2006]. Экологический мониторинг, как правило, в пределах полигонов ТКО, свалок и зон их влияния в республике практически не организован. В Башкортостане около 2,2 тыс. га отводится под свалки. Сельские населенные пункты также испытывают проблему с обращением ТКО. Это связано с отсутствием полной системы сбора, транспортировки и размещения отходов.

Ежегодно формирующаяся масса отходов остается достаточно значительной. Для наглядного представления на рис. 1 показана динамика образованной массы ТКО и количества создаваемых полигонов в Башкортостане. В период 2000–2020 гг. в республике образуется более 1 млн т ТКО. 2010–2012 гг. характеризовались наибольшей массой образованных за год ТКО. В 2011 г. достигнут ее максимум (2,38 тыс. т). Одной из причин является увеличение в составе ТКО доли упаковочных материалов (полимерные отходы и пластик, бумага, картон). Кроме этого, с 2010 г. увеличились объемы отходов от населения (примерно в 3,5 раза), возросло количество отходов от «офисных» организаций, а также от оптовой розничной торговли. Далее объемы сократились, достигая минимального значения в 2019 г. (0,94 тыс. т). При этом по официальным данным МПР РБ [Государственные доклады ..., 2021] в 2020 г. было обезврежено 41,0 % всей массы ТКО, утилизировано – 0,12 %. Большая часть ТКО идет на захоронение на полигонах.

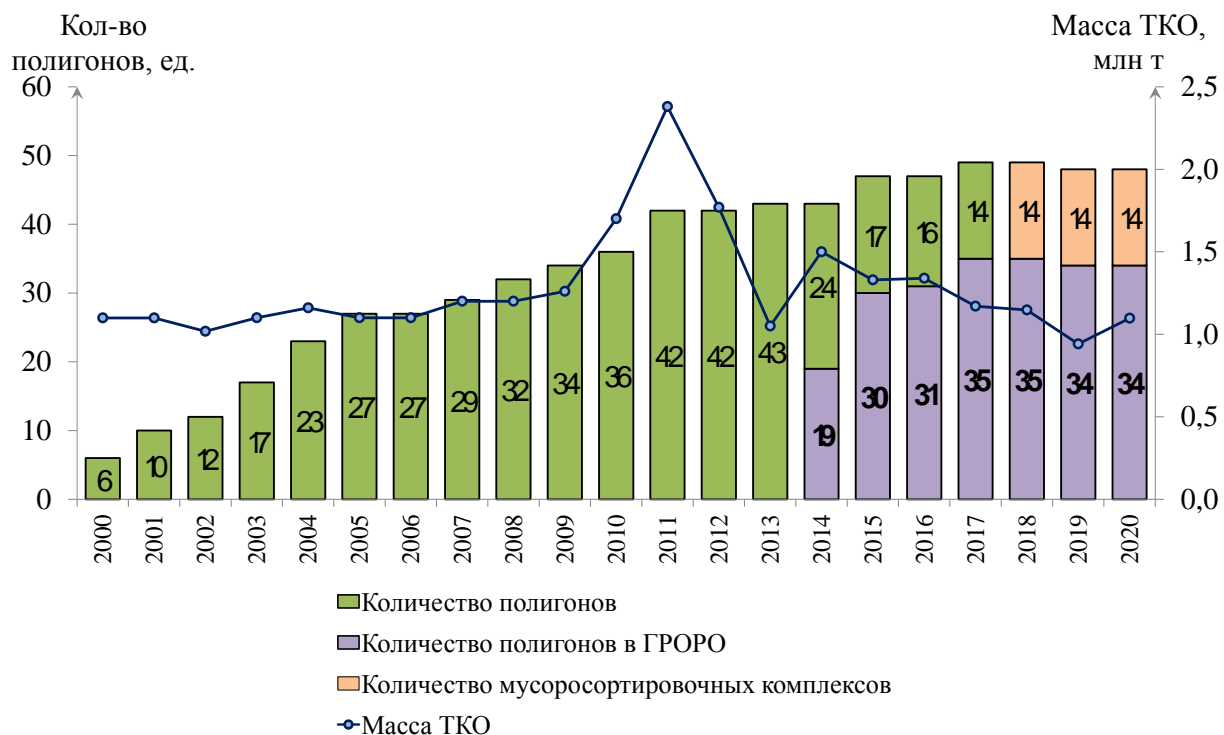


Рис. 1. Динамика массы ТКО и полигонов на территории Республики Башкортостан  
Fig. 1. Dynamics of the mass of solid municipal waste and landfills in the Republic of Bashkortostan

С 2020 года на территории РБ действует 34 полигона ТКО и 14 мусоросортировочных комплексов [Государственный реестр ..., 2021]. Характеристики вместимости и мощности данных объектов представлены на рис. 2 и 3, география размещения – на рис. 4.

Наибольшая доля по вместимости принадлежит всего 4 полигонам ТКО (41,4 %). В РБ имеется полигон с вместимостью более 11 млн м<sup>3</sup> (28,2 %), находящийся в пос. Новые Черкасы (эксплуатирующая организация – МУП «Специализированное автомобильное хозяйство по уборке города» городского округа г. Уфа РБ).

В силу того, что полигоны ТКО четко не систематизированы, авторами предложена их классификация по вместимости для территории РБ (табл. 1).

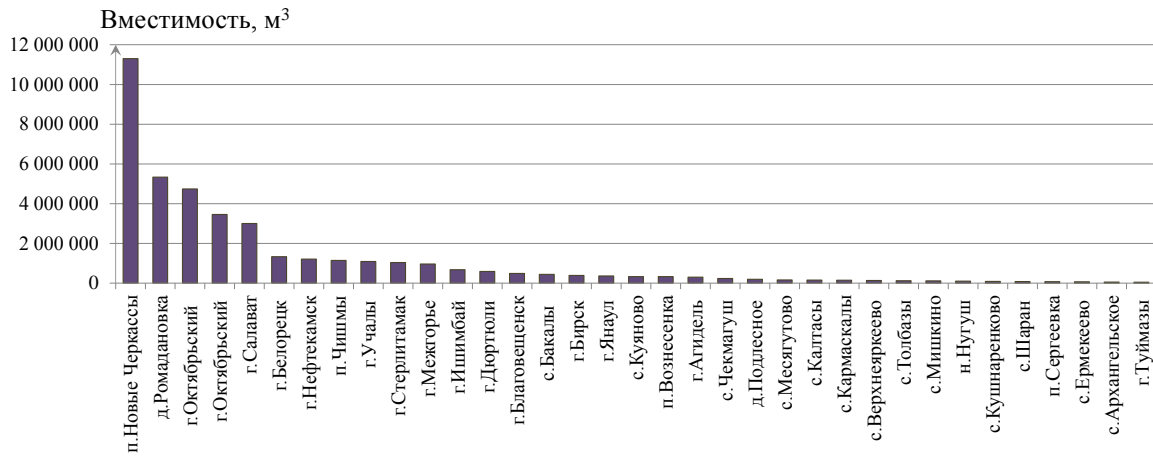


Рис. 2. Объемы вместимости полигонов ТКО в Республике Башкортостан  
Fig. 2. Volumes of capacity of municipal solid waste landfills in the Republic of Bashkortostan

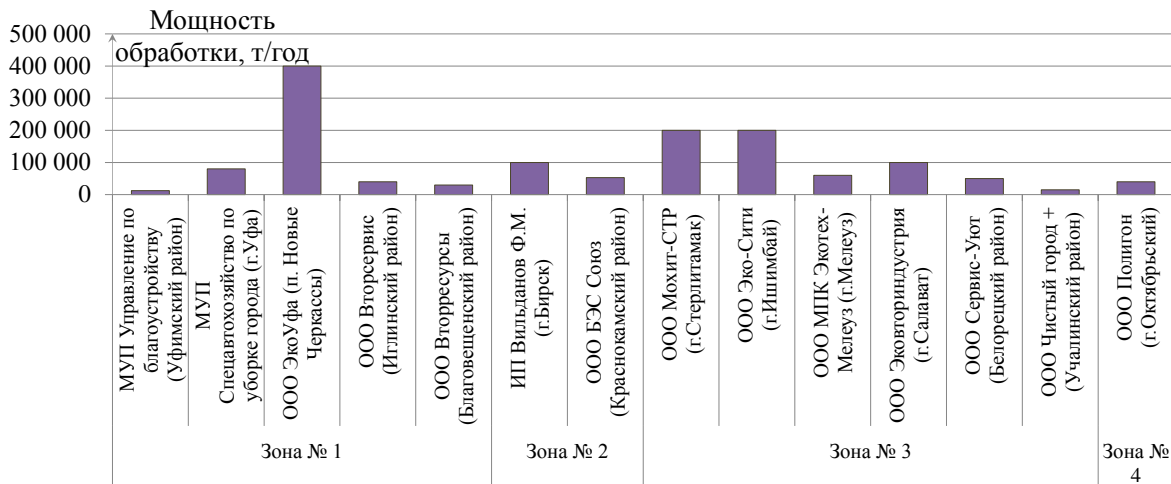


Рис. 3. Мощность обработки мусоросортировочных комплексов в Республике Башкортостан  
Fig. 3. Processing capacity of waste sorting complexes in the Republic of Bashkortostan

Таблица 1  
Table 1

Классификация полигонов ТКО Республики Башкортостан  
Classification of municipal solid waste landfills of the Republic of Bashkortostan

Название группы	Диапазон вместимости	Характеристика полигонов РБ		
		Количество	Общая вместимость (м³)	Доля от всей вместимости в РБ (%)
Сверхкрупные	Более 10 000	1	11 300 000	28,2
Очень крупные	3 000–10 000	4	16 545 815	41,4
Крупные	1 000–3 000	5	5 817 400	14,5
Большие	500–1 000	3	2 228 800	5,6
Средние	100–500	15	3 699 055	9,2
Малые	Меньше 100	6	417 170	1,0

Переработка ТКО преимущественно происходит на мусоросортировочных комплексах, которых в республике насчитывается 14 (см. рис. 3). Самым мощным является мусоросортировочный комплекс пос. Новые Черкассы, расположенного в непосредственной близости от г. Уфа. Он обрабатывает до 38 видов вторсырья. Суточная нагрузка отходов на данный комплекс составляет около 8 тыс. м<sup>3</sup>. Общая мощность обработки всех комплексов республики составляет 1 380 300 т в год.

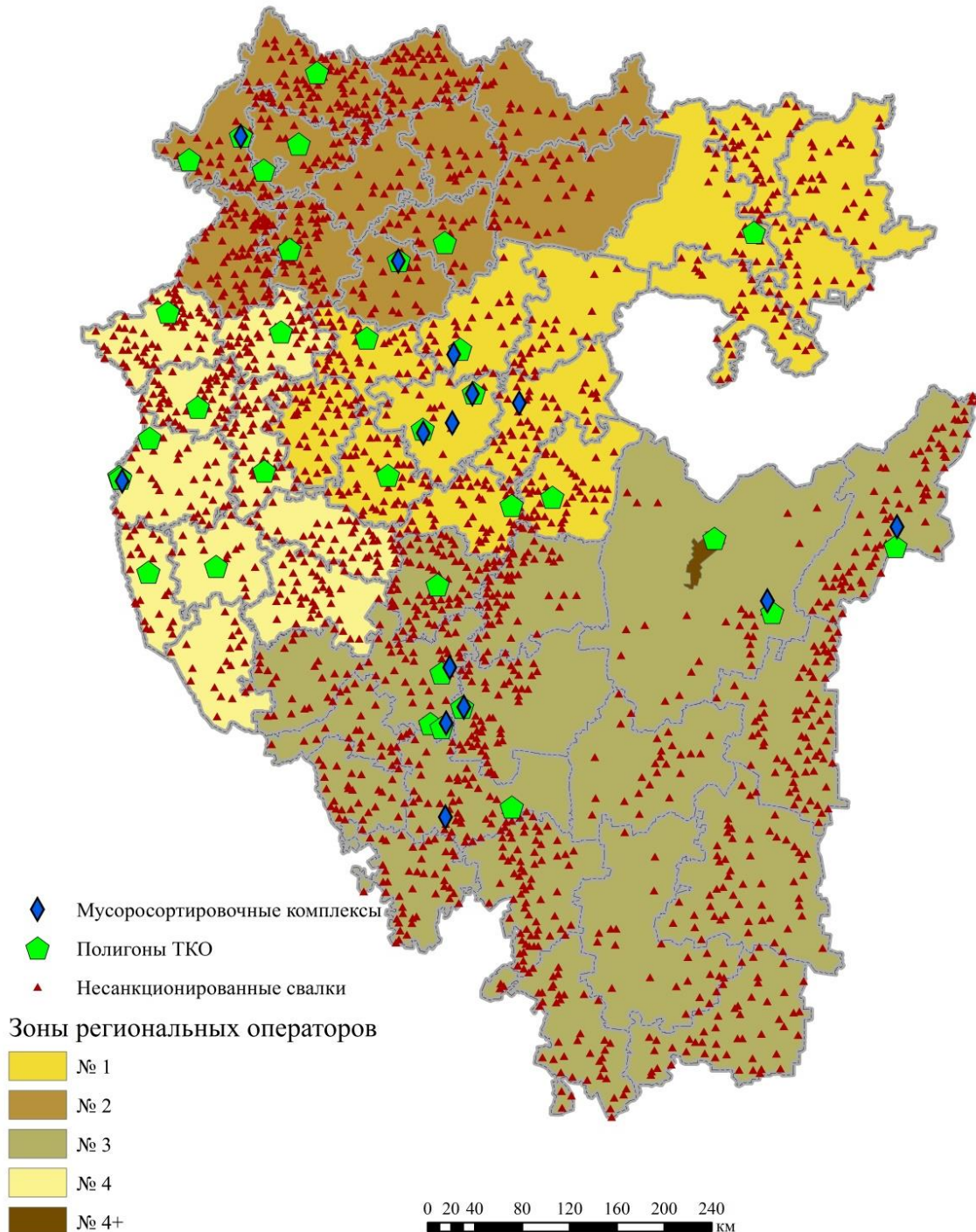


Рис. 4. Схема зонирования региональных операторов по обращению с ТКО в Республике Башкортостан  
Fig. 4. Zoning scheme of regional operators for solid municipal waste management in the Republic of Bashkortostan



Сбор, транспортировка, складирование, захоронение, обезвреживания, утилизация, переработка ТКО реализовывается согласно постановлению Правительства РБ [Об утверждении порядка..., 2018], который был утвержден в январе 2018 г. Однако существует острая проблема скопившихся ТКО и заполнения ими полигонов уже сейчас.

В настоящее время в РБ отрегулирована система обращения с ТКО, которая представлена в новой схеме [Территориальная схема ..., 2019], разработанной и утвержденной Министерством природопользования и экологии РБ в конце 2019 г. До этого три года действовала предыдущая схема [Об утверждении территориальной ..., 2016].

Общая концепция схемы обращения с ТКО следующая: для снижения затрат на вывоз, захоронение или переработку ТКО, а также из-за невозможности их доставки за пределы республики в регионы, которые специализируются на этом, территория Башкортостана поделена между 4 региональными операторами по обращению с ТКО и отдельной зоной деятельности по обслуживанию закрытого административно-территориального образования г. Межгорье. Схема общего зонирования республики по операторам представлена на рис. 4, схемы направления потоков по зонам – на рис. 5.

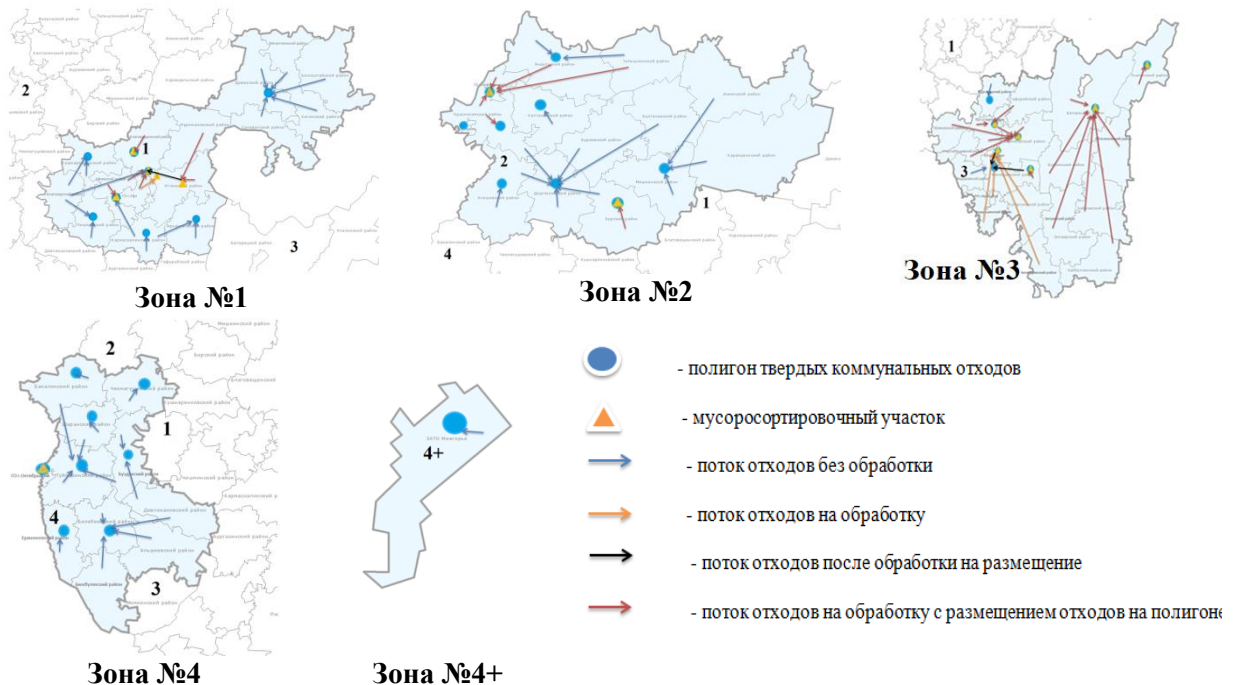


Рис. 5. Схемы направления потоков ТКО в зонах деятельности операторов в Республике Башкортостан [Территориальная схема ..., 2019]

Fig. 5. Schemes of the direction of solid municipal waste flows in the zones of operator's activity in the Republic of Bashkortostan [The territorial scheme ..., 2019]

Наибольшая нагрузка по образованию ТКО приходится на зону № 1, которая является наибольшей по площади и самой густонаселенной. Значительная часть ТКО обусловливается наличием в данной зоне городов Уфа (численность населения 1 125 933 чел.) и Благовещенск (численность населения 34 771 чел.). Если количество полигонов в каждой зоне примерно одинаковое, то характеристики по вместимости сильно различаются. Некоторые малые и средние по вместимости полигоны практически заполнены. Заполняемость полигонов ТКО зависит от нескольких факторов: различные вместимости (размеры), плотность населения зоны регионального оператора, наличие мусоросортировочных линий. В соответствии с рис. 6, наибольшая доля полигонов ТКО по заполняемости приходится на зону № 2, которая имеет уже два заполненных объекта на начало 2021 г. Наименьший процент данной нагрузки имеет зона № 3.

Как отмечает Азнагулов Д.Р. [2016], заполнение некоторых полигонов ТКО в РБ связано с нежеланием населения сортировать отходы. Однако, с другой стороны, к 2020 г. только 37 % населения республики охвачено системой раздельного сбора отходов. При этом небольшая доля обработки и утилизации ТКО приводит к увеличению числа объектов их размещения, образуя вторичную проблему – расширение площади, занимаемой свалками и полигонами [Степанов и др., 2017]. Лычагина и Борисова [2020] отмечают, что каждый год увеличивается дальность вывоза ТКО в среднем на 1,5 км, поэтому возрастает себестоимость затрат на их транспортировку на 15–20 %. Последнее приводит к вынужденному переходу на двухэтапную систему вывоза отходов (мусороперегрузочные / сортировочные станции и большегрузные мусоровозы).

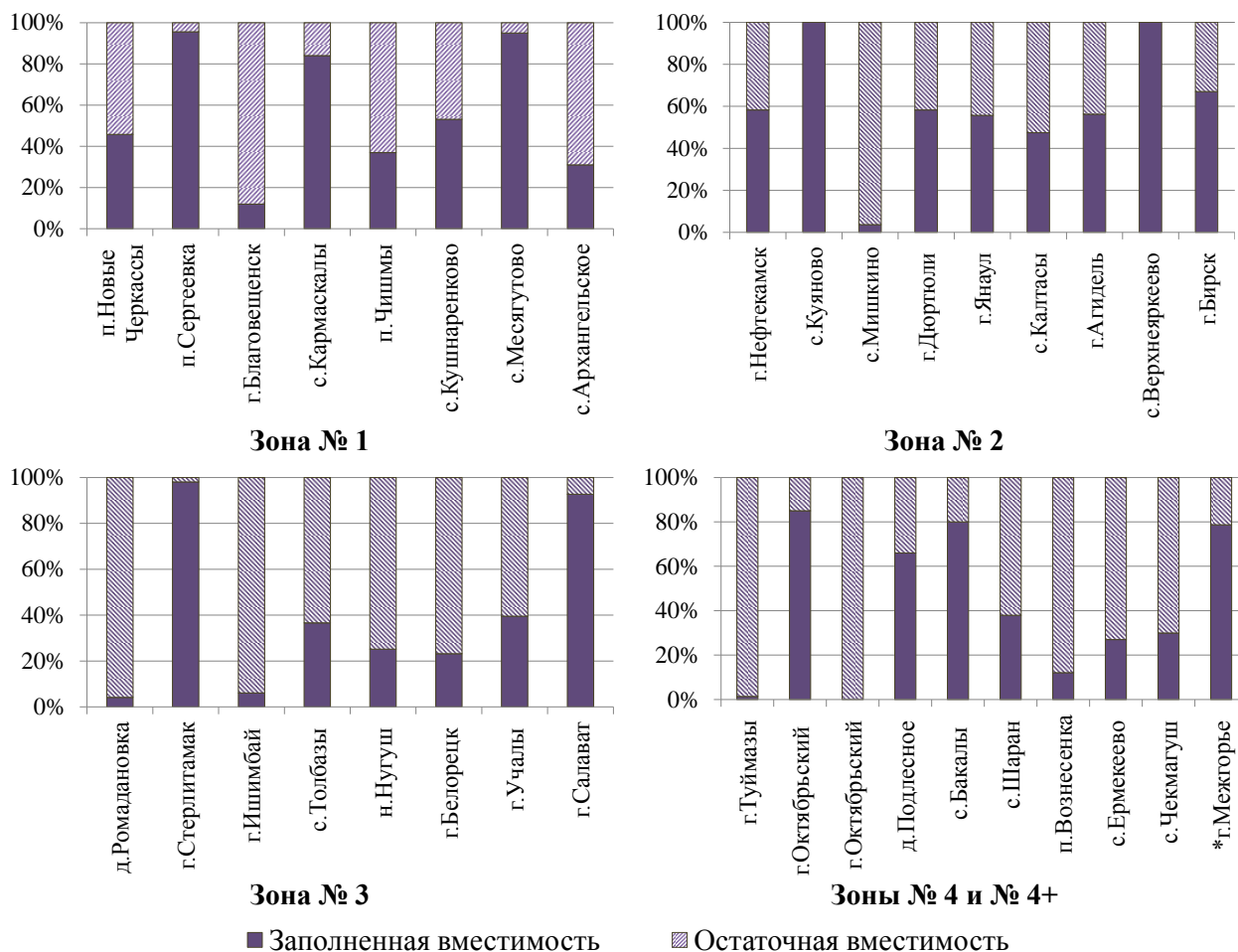


Рис. 6. Доли заполненной и остаточной вместимости полигонов ТКО в Республике Башкортостан  
Fig. 6. The proportion of filled and residual capacity of municipal solid waste landfills in Bashkortostan

Таким образом, следующей актуальной проблемой, вытекающей из вышеизложенного, являются несанкционированные свалки. Они представляют собой объекты повышенной экологической напряженности и опасности [Бахонина, Савоськина, 2014; Danthurebandara et al., 2019]. В республике в начале 2000-х гг. выявляли порядка 440–600 свалок в год, из которых ликвидировалось от 44 до 83 %. Максимальное их количество, по данным МПР РБ, было зарегистрировано в 2018 г. и насчитывало 2932 свалки. На последний анализируемый год выявлено 2118 свалок, из них ликвидировано всего 22 %. На рис. 4 можно заметить, что их распределение на территории республики закономерно: наибольшее количество выявлено в районах с наибольшей плотностью населения.

В сложившейся ситуации Правительством РБ запланировано строительство новых полигонов ТКО и мусороперерабатывающих объектов. Первые представлены по зонам деятельности операторов на рис. 7, вторые – на рис. 8.

Наибольшее количество полигонов ТКО запланировано построить в зоне № 3, общий объем (мощность) которых должен составить более 730 000 т/год. Наибольший объем вместимости полигонов ТКО запланирован для строительства в зоне № 1 (мощность около 1 млн т/год). Также в зоне № 1 предполагается строительство объектов переработки наибольших объемов, что, судя по всему, связано с большой численностью и плотностью населения этой зоны. Данные объекты, в первую очередь, представляют собой мусороперерабатывающие или сортировочные пункты ТКО (рис. 8).

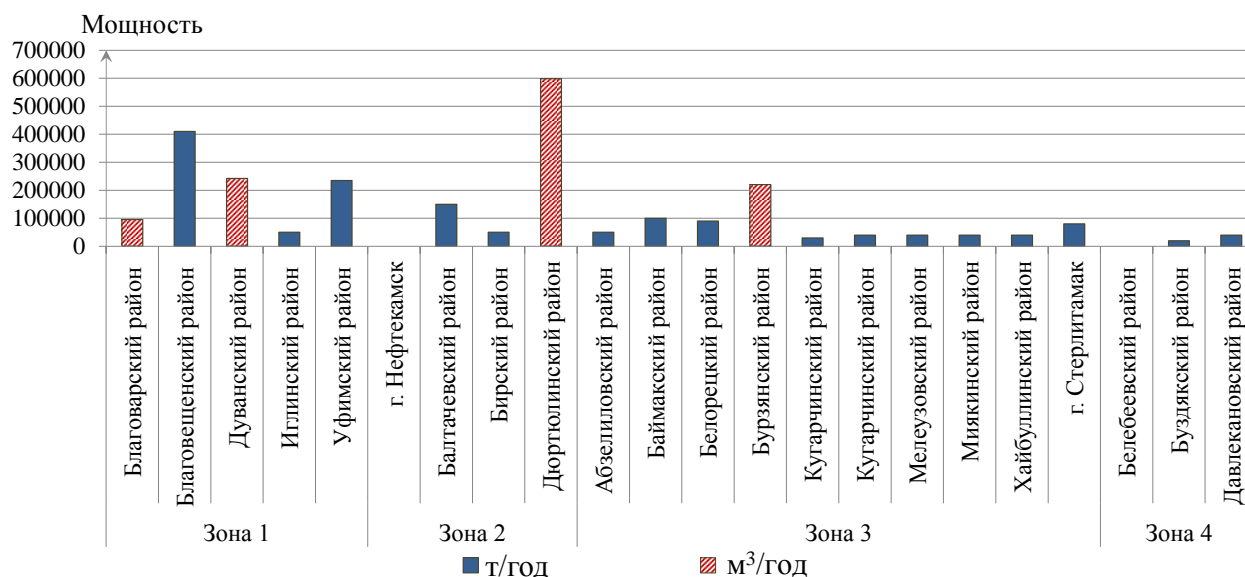


Рис. 7. Планируемое строительство объектов размещения ТКО по зонам деятельности операторов в Республике Башкортостан  
Fig. 7. Planned construction of solid municipal waste disposal facilities by operator activity zones in the Republic of Bashkortostan

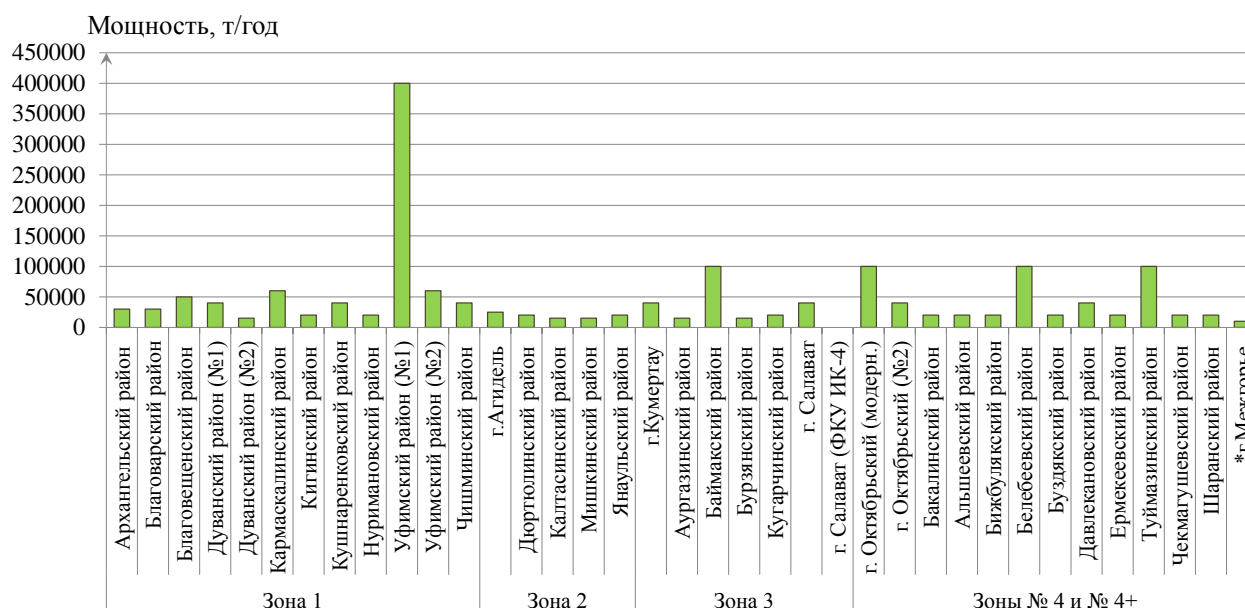


Рис. 8. Планируемое строительство объектов переработки ТКО по зонам деятельности операторов в Республике Башкортостан  
Fig. 8. Planned construction of municipal solid waste processing facilities by operator activity zones in the Republic of Bashkortostan

Согласно «Территориальной схеме» [2019], строительство полигонов ТКО и мусороперерабатывающих объектов запланировано на период с 2021 по 2023 гг. Однако период самоизоляции, скорее всего, повлияет на смещение сроков введения в эксплуатацию указанных объектов.

### Заключение

По результатам данного исследования можно сделать следующие основные выводы.

Основа современной системы обращения с ТКО формируется с начала 2000-х гг. В настоящее время она сводится к действующему законодательству, регламентирующим документам (постановления, кадастры, формы отчетности и т. д.) по функционированию схемы «сбор, транспортировка, складирование, захоронение, обезвреживание, утилизация, переработка ТКО». Новая «Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Республики Башкортостан» (2019) делит территорию республики на 5 зон деятельности региональных операторов по обращению с ТКО.

Объектами размещения ТКО в республике в основном являются полигоны, а также мусоросортировочные комплексы. Существующая в республике система обращения с ТКО основана преимущественно на захоронении их на полигонах. В период с 2000 по 2020 гг. количество полигонов ТКО увеличилось с 6 до 34. Около 5 полигонов ТКО практически заполнены полностью. В Башкортостане имеется полигон (п. Новые Черкассы), вместимость которого составляет чуть менее 30 % от общей республиканской (более 11 млн м<sup>3</sup>). Мусоросортировочных комплексов насчитывается 14. Наибольшее их количество (6) расположено в зоне № 3. Самый крупный мусоросортировочный комплекс расположен также в п. Новые Черкассы (мощность 400 т/год).

Одной из основных экологических проблем является накопление ТКО из-за низкой доли обработки и утилизации отходов. Это, в свою очередь, приводит к росту количества объектов размещения и расширения их площадей, в частности это касается несанкционированных свалок. По состоянию на 2020 г. их было выявлено 2118. Ежегодно ликвидируется только пятая часть свалок.

Основным решением данного вопроса Правительство РБ видит строительство новых объектов размещения ТКО – полигонов и мусороперерабатывающих комплексов. Запланировано строительство объектов с наибольшими общими объемами вместимости полигонов ТКО и объемами переработки мусороперерабатывающих комплексов в зоне № 1, в которой находится столица республики.

В последние годы в городах и некоторых населенных пунктах республики активно внедряется система сортировки отходов потребления. При планомерной работе региональных операторов и сознательном обращении с ТКО самим населением система обращения с отходами должна работать в республике на хорошем уровне.

### Список источников

- Государственные доклады о состоянии окружающей среды Республики Башкортостан за 2000–2020 гг. Электронный ресурс. URL: <https://gosdoklad-ecology.ru/2017/subjects/pfo/respublika-bashkortostan/> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Государственный реестр объектов размещения отходов: Республика Башкортостан. Электронный ресурс. URL: <http://clevereco.ru/groro/respublika-bashkortostan> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО. 2006. Твердые бытовые отходы: 52–60.
- О концепции обращения с отходами производства и потребления в Республике Башкортостан на период до 2012 года: Постановление Правительства Республики Башкортостан от 21 апреля 2008 г. № 120. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/935109947> (дата обращения: 20 ноября 2021).



- Об утверждении Порядка накопления твердых коммунальных отходов (в том числе их отдельного накопления) на территории Республики Башкортостан: Постановление Правительства Республики Башкортостан от 22 января 2018 г. № 25. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/446619024> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Об утверждении территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, Республики Башкортостан: Постановление Правительства Республики Башкортостан от 3 ноября 2016 г. № 480 (утратило силу). Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/444960603> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- О республиканской целевой программе «Совершенствование системы управления твердыми бытовыми отходами в Республике Башкортостан»: Постановление Правительства Республики Башкортостан от 18 ноября 2011 г. № 412 (утратило силу). Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/463515117> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами Республики Башкортостан: Приказ Минэкологии РБ от 30 декабря 2019 года № 1198п. Электронный ресурс. URL: <https://ecology.bashkortostan.ru/documents/active/265829/> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Управление Росприроднадзора по Республике Башкортостан. Электронный ресурс. URL: <http://02.rpn.gov.ru/> (дата обращения: 20 ноября 2021).
- Южно-Уральское межрегиональное управление Росприроднадзора. Электронный ресурс. URL: <https://r02.rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/> (дата обращения: 20 ноября 2021)
- Environmental Performance Index. Electronic resource. URL: <https://epi.yale.edu/epi-results/2020/component/epi> (accessed: 20 November 2021).

### Список литературы

- Азнагулов Д.Р. 2016. Развитие системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Республике Башкортостан и других регионах Российской Федерации. Уральский экологический вестник, 2: 12–18.
- Атаманова А.С., Прокошин А.А., Глебова И.А. 2020. Эффективность экологических проектов в регионах. Дельта науки, 1: 13–16.
- Бахонина Е.И., Савоськина Р.Р. 2014. Ситуация с твердыми бытовыми отходами в Республике Башкортостан. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 16(1–6): 1689–1694.
- Кашеев Р.Л., Зенкевич М.Ю., Новиков Р.С., Прокофьев В.Е., Саркисов С.В., Янович К.В. 2020. Исследование воздействия полигонов и свалок твердых коммунальных отходов на окружающую среду. Санкт-Петербург, ООО «Р-КОПИ», 163 с.
- Коробко В.И., Карданская Н.Л. 2019. Противоречия в реформе по обращению с отходами в России. В кн.: Актуальные проблемы развития экономики и управления в современных условиях. Материалы II Международной научно-практической конференции, 28 октября 2019, Москва, Издательско-торговая корпорация «Дашков и К»: 313–320.
- Лычагина А.А., Борисова О.Н. 2020. Анализ существующих проблем в сфере обращения с отходами в РФ. Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса, 14(2–2): 175–181.
- Подопригора Ю.В., Захарова Т.В., Уфимцева Е.В., Колесова О.В. 2021. Решение вопросов отдельного сбора твердых коммунальных отходов в университетских городах Сибири. Муниципалитет: экономика и управление, 1(34): 23–34. DOI: 10.22394/2304-3385-2021-1-23-34.
- Степанов Е.Г., Туктарова И.О., Маликова Т.Ш. 2017. Проблемы размещения промышленных отходов на полигонах в индустриальном городе. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал, 9(2): 103–118. DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-2-103-118.
- Danthurebandara M., Van Passel S., Nelen D., Tielemans Y., Van Acker K., 2019. Environmental and socio-economic impacts of landfills. ECO-TECH. Kalmar, Sweden: 40–52.

### References

- Aznagulov D.R. Development of the System of Municipal Solid Waste (MSW) Management in the Bashkortostan Republic and Other Regions of Russian Federation. Ural Ecological Bulletin, 2: 12–18 (in Russian).
- Atamanova A.S., Prokoshin A.A., Glebova I.A. 2020. Effektivnost ekologicheskikh proyektov v regionakh [The effectiveness of environmental projects in the regions]. Delta nauki, 1: 13–16.



- Bakhonina E.I., Savoskina R.R. 2014. Situation with Solid Domestic Waste in the Republic of Bashkortostan. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 16(1–6): 1689–1694 (in Russian).
- Kashcheev R.L., Zenkevich M.Yu., Novikov R.S., Prokofiev V.E., Sarkisov S.V., Yanovich K.V. 2020. *Issledovaniye vozdeystviya poligonov i svalok tverdykh kommunalnykh otkhodov na okruzhayushchuyu sredu* [Study of the impact of landfills and municipal solid waste dumps on the environment]. Saint-Petersburg, Publ. OOO «R-COPI», 163 p.
- Korobko V.I., Kardanskaya N.L. 2019. *Protivorechiya v reforme po obrashcheniyu s otkhodami v Rossii* [Contradictions in the waste management reform in Russia]. In: *Aktualnyye problemy razvitiya ekonomiki i upravleniya v sovremennykh usloviyakh* [Actual problems of development of economy and management in modern conditions]. Materials of the II International Scientific and Practical Conference, 28 October 2019, Moscow, Publ. "Dashkov and K": 313–320.
- Lychagina A.A., Borisova O.N. 2020. *Analiz sushchestvuyushchikh problem v sfere obrashcheniya s otkhodami v RF* [Analysis of existing problems in the field of waste management in the Russian Federation]. *Vestnik Assotsiatsii vuzov turizma i servisa*, 14(2–2): 175–181.
- Podoprigora Yu.V., Zakharova T.V., Ufimtseva E.V., Kolesova O.V. 2021. Addressing the Issues of Separate Collection of Municipal Solid Waste in the University Cities of Siberia. *Municipality: Economics and Management*, 1(34): 23–34 (in Russian). DOI: 10.22394/2304-3385-2021-1-23-34.
- Stepanov E.G., Tuktarova I.O., Malikova T.Sh. 2017. Problems of Placement of Industrial Waste in Landfills in the Industrial City. *Nanobuild*, 9(2): 103–118 (in Russian). DOI: 10.15828/2075-8545-2017-9-2-103-118.
- Danthurebandara M., Van Passel S., Nelen D., Tielemans Y., Van Acker K., 2019. Environmental and socio-economic impacts of landfills. *ECO-TECH*. Kalmar, Sweden: 40–52.

*Поступила в редакцию 04.04.2022;  
поступила после рецензирования 21.04.2022;  
принята к публикации 30.05.2022*

*Received April 04, 2022;  
Revised April 21, 2022;  
Accepted May 30, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Камалова Рита Галимьяновна**, старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

**Rita G. Kamalova**, Senior Lecturer, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Bashkir State University, Ufa, Russia

**Фатхутдинова Регина Шамилевна**, старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

**Regina Sh. Fatkhutdinova**, Senior Lecturer, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Bashkir State University, Ufa, Russia

**Лешан Ирина Юрьевна**, старший преподаватель кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

**Irina Yu. Leshan**, Senior Lecturer, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Bashkir State University, Ufa, Russia

**Нурмухаметова Эльмира Зульфировна**, студентка 3 курса направления «Гидрометеорология», Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

**Elmira Z. Nurmukhametova**, 3th-year student of the direction «Hydrometeorology» of the Bashkir State University, Ufa, Russia



УДК 556.535  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

## Экологический сток в речных потоках

**Дмитриева В.А.**

Воронежский государственный университет  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1  
E-mail: verba47@list.ru

**Аннотация.** Экологический сток в водных потоках рассмотрен как гарант равновесного состояния водного объекта с сохранением его исходных природных функций. Обращается внимание на незавершенность теоретического смысла понятия «экологический сток», но одновременно необходимость его количественного определения. Цель исследования заключается в разработке методического подхода к оценке экологического стока и расчетов допустимого изъятия воды из водного объекта. Для реки Дон и ее 16 притоков разных размеров определены объемы допустимого (безвозвратного) изъятия стока и объемы экологического стока в кубических километрах. Продолжительность расчетных рядов речного стока варьирует от 60 до 124 лет. Алгоритм расчета включает поэтапное определение базового, исторического и критического объемов речного стока и на их основе объемов допустимого изъятия и экологического стока 95%-ной обеспеченности. Выполнено картографическое моделирование пространственной изменчивости объемов допустимого изъятия и экологического стока 95%-ной обеспеченности. Результаты расчетов показали, что объем экологического стока после безвозвратного изъятия вод составляет для средних и больших рек 65–86 %, а для малых – 100 % от объема водных ресурсов 50%-ной обеспеченности. Практическая значимость исследования заключается в возможности экстраполяции полученных результатов на неизученные в гидроэкологическом аспекте реки, но представляющие хозяйственный интерес в сферах водопользования.

**Ключевые слова:** река, расход воды, объем стока, водные ресурсы, Верхний Дон, водопользование

**Для цитирования:** Дмитриева В.А. 2022. Экологический сток в речных потоках. Региональные геосистемы, 46(3): 424–433. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

---

## Ecological Runoff in the River Streams

**Vera A. Dmitrieva**

Voronezh State University,  
1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia  
E-mail: verba47@list.ru

**Abstract.** The river water resources constitute an important factor in the socio-economic progress of the society. The ecological runoff volume is an indicator of the current hydro-ecological status of a water body as well as its economic potential. The purpose of this study is the evaluation of such runoff, that has both theoretical and practical applications. The database includes multi-year average water runoff observations obtained by 27 hydrological stations in the Upper Don River basin. The span of observations varies between 60 and 124 years. The ecological runoff values have been calculated targeting the 95 % probability of hydrological values, especially important for low water level periods. Our calculations show that ecological runoff after non-replenished water withdrawal is 65–86 % for big and medium rivers, and 100 % for the small rivers to achieve 50 % probability of hydrological values. The small and mid-size rivers, especially the ones with smaller water flux at the headwaters, provide the lowest acceptable withdrawal values. Such examples would be rivers like Sosna, Krasivaya Mecha, Devitsa, Lesnoy Voronezh. The use of cartography presents the variability of the acceptable (non-replenished)

water withdrawal, and the ecological runoff values, expressed in cubic kilometers. The practical adherence to those values should preserve the functionality of the natural hydro-ecosystem of the Upper Don River tributaries.

**Keywords:** river, flow rate, flow volume, water resources, Upper Don, using of water

**For citation:** Dmitrieva V.A. 2022. Ecological Runoff in the River Streams. Regional Geosystems, 46(3): 424–433 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-424-433

## Введение

Устойчивость регионального развития находится в большой зависимости от водного фактора. Поверхностные, подземные и атмосферные воды представляют взаимосвязанную водную сферу, которая в триединстве играет важную роль в обеспечении жизнеутверждающих потребностей человека. Территориальный водный потенциал предопределяет развитие различных сфер экономики, функционирование водоемких отраслей и комфортность жизнедеятельности человека. Важными сторонами водообеспеченности являются объем и качество водных ресурсов. Количественные запасы водных ресурсов изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов. Динамика объемов речного стока сопровождается реакцией качественного состояния, которое может завершиться его сохранением с выполнением первоначальных функций, либо деградацией. Равновесное состояние водного объекта гарантируется некоторым оптимумом объема водных ресурсов, называемым «экологическим стоком».

Экологический сток, несмотря на незавершенность интерпретации его теоретического смысла и практического расчета, все увереннее входит в обиход наук о воде и отраслей водопользования. В научную терминологию понятие было введено Б.В. Фащевским [1989; 1996], а продолжение теоретического осмысления и количественной оценки экологического стока получило в отечественных и зарубежных исследованиях [Владимиров, Иманов, 1994; Poff, 1997; Tharme, 2003; Брисбенская декларация..., 2007; Методические подходы..., 2009; O’Keefe, Quesne, 2009; Linnansaari et al., 2012; Маркин и др., 2015; Иманов и др., 2017; Бурлибаев, Бурлибаева, 2020; Lisetskii, 2021]. В настоящее время имеются примеры расчетов количественных характеристик экологического стока для ряда рек и речных систем России, в частности, р. Дон [Схема..., 2013; Бучик, 2021], р. Амур [Никитина, 2015], р. Белая и ее притоков [Елизарьев и др., 2013], средних и малых рек Енисейского бассейнового округа [Колесникова, Синельникова, 2020] и др.

В настоящем исследовании под «экологическим стоком» понимается объем русловых запасов вод, характеризующий определенный оптимум, сохраняющий существование гидроэкосистемы после безвозвратного изъятия водных ресурсов при хозяйственном водопользовании. Объем экологического стока является важным показателем текущего гидроэкологического состояния водного объекта и одновременно его потенциального использования в сферах экономики. Его определение предельно актуально в периоды маловодья при крайне неблагоприятных условиях, например, при водности 95%-ной обеспеченности.

## Объекты и методы исследования

Исходная информация для последовательного поэтапного определения расходов и объемов воды расчетной 95%-ной обеспеченности, объемов допустимого изъятия стока и экологического стока включает среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды за период многолетних стационарных наблюдений на постах Верхнего Дона. Материалы наблюдений на гидрологических пунктах рассматриваемой верхней части Донского бассейна охватывают преимущественно средние реки (рис. 1).



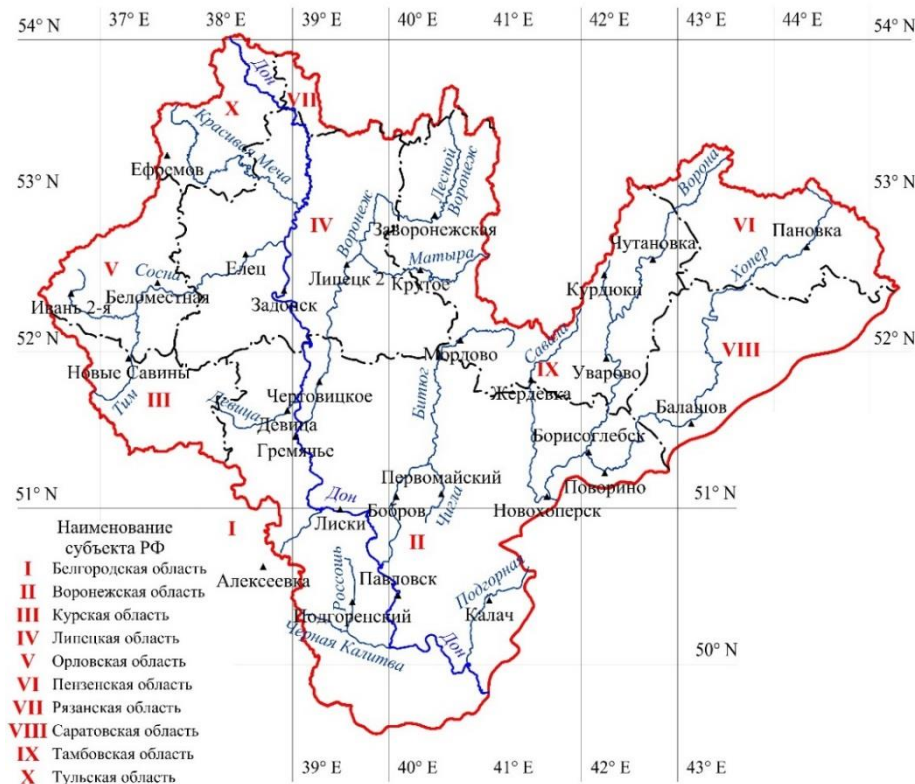


Рис. 1. Размещение гидрологических постов в бассейне Верхнего Дона  
 Fig. 1. Location of hydrological posts in the Upper Don basin

В настоящее время непрерывные ряды наблюдений имеют 27 гидрологических постов, расположенных на главной реке Дон и ее притоках: Воронеж, Битюг, Хопер, Ворона, Сосна и других водотоках, территориально относящихся к 10 административным субъектам Российской Федерации (см. рис. 1). Всего использованы данные по 27 гидрологическим пунктам, из них 20 пунктов с продолжительностью наблюдений от 60 до 90 лет, 4 пункта – свыше 90 лет, 3 пункта – менее 60 лет.

Для выявления динамики в рядах годового стока выполнены графические построения хронологических рядов среднегодовых расходов воды, рассмотрены и проанализированы колебания относительно среднего значения. Направленность изменений выявлялась методом линейного тренда.

Определение расходов и объемов воды заданной вероятности превышения выполнено по эмпирическим кривым обеспеченности Пирсона III порядка в сопряжении с аналитическими кривыми обеспеченности.

Различные принципы, методы и методики расчета экологического стока не дают единого, агрегированного алгоритма. В связи с этим нами приняты во внимание Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2006 г. № 881 «О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты», Приказ МПР РФ от 12 декабря 2007 г. № 328 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты» и методика расчета, предложенная авторским коллективом под руководством В.Г. Дубининой [Методические подходы..., 2009] с соответствующей корректировкой и адаптацией к задачам исследования.

## Результаты и обсуждение

Реки малых, средних и больших размеров играют важную роль в жизнедеятельности человека. Как элементы природной среды, они выполняют различные функции: «водохозяйственную, рекреационную, ландшафтную, эстетическую, социально-экономическую, экологическую» [Фролова, 2012]. Полнота востребованности конкретного водного объекта зависит от объема речного стока и его распределения в течение года, качества водных ресурсов, доступности и перспективности использования в сферах деятельности человека. В густонаселенной европейской части России речные бассейны значительно урбанизированы, а водные ресурсы рек активно эксплуатируются для удовлетворения различных потребностей населения. Водопользование включает изъятие вод, использование вод без их забора, а также сброс сточных вод обратно в водный объект. Поступление сточных вод в водные объекты, особенно загрязненных, нарушает природный гидрохимический состав, степень изменения которого зависит от соотношения объема сточных вод и объема водных ресурсов, способных принять и разбавить до безопасной для человека и гидробионтов концентрации.

Запасы воды в водных объектах не остаются постоянными. Их формируют природно-климатические (атмосферные осадки, потенциальное испарение, рельеф, морфометрия речного бассейна и реки, разнообразная подстилающая поверхность) и антропогенные факторы. Природно-климатические факторы определяют количественные показатели водных ресурсов, а антропогенные – и количественные, и качественные.

В текущем столетии на европейской части России в бассейнах рек отмечаются как повышение водности, так и ее снижение, в связи с чем тенденции в водных ресурсах Дона характеризуются неоднозначно [Шикломанов и др., 2008; Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2020; Научно-прикладной..., 2020; Научно-прикладной..., 2021; Кумани и др., 2021]. В верхнем течении Дона значительного снижения годовых водных ресурсов не наблюдается, что подтверждается графиком изменений средних годовых расходов воды по гидропосту Задонск на р. Дон в Липецкой области (рис. 2).

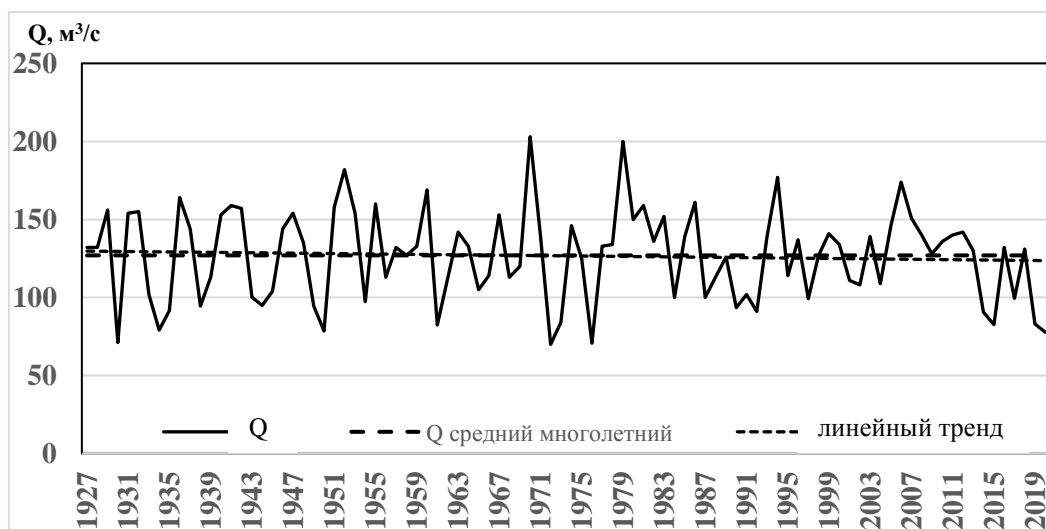


Рис. 2. Среднегодовые расходы воды р. Дон – г. Задонск за период мониторинга, г. Задонск  
Fig. 2. The average annual water flow river Don – city Sadonsk for the monitoring period

Анализируя график многолетних изменений среднегодовых расходов воды, определяющих годовые водные ресурсы, отмечаем, что линия тренда фактически совпадает со среднемноголетней величиной годового стока (нормой). Отсюда следует, что значительные и направленные изменения в водных ресурсах в верхнем течении Дона отсутствуют.



В то же время прослеживается затяжное маловодье, со средними годовыми расходами воды ниже нормы. Оно начинается в Донском бассейне с 2007 г. Все среднегодовые расходы воды снижаются до минимального значения в 2020 г., равного 77,8 м<sup>3</sup>/с при норме 127 м<sup>3</sup>/с, т.е. достигнув лишь 61 % от нормы. Сравнение речного стока 2020 г. и 2006 г., последнего многоводного года-предшественника в череде маловодных лет, показало, что средний годовой сток 2020 г. составил всего 45 % от годового расхода сопоставляемого года. Аналогичная ситуация с водностью сформировалась по всей длине Дона. Отклонение от нормы в низовье Дона в указанном году достигло 57,6 % [О состоянии..., 2021]. Дальнейшее длительное сохранение фазы низкой водности в стоке может привести к снижению компенсационного эффекта от разнонаправленных тенденций в объемах ресурсов половодья и межени и привести к сокращению водных ресурсов Верхнего Дона.

Уменьшение склонового стока [Кашутина и др., 2020], снижение руслового стока, сокращение стока половодья ведут к деградации малых поверхностных водотоков, превращению их во временные водотоки или сухие русла. Преобразования речной сети малых водотоков в бассейне Верхнего Дона значительно активизировались в 2010–2020 гг. Они происходят под воздействием как природно-климатических, так и антропогенных факторов. Только в бассейне р. Сосна на территории Липецкой области за эти годы речная сеть сократилась на 8,2 %. Деградация водотоков – потенциальный признак изменения состояния рек, прежде всего истощения водных запасов, а далее – угнетение гидроэкологических функций.

Одновременно с уменьшением водности рек может возникать гидроэкологическая напряженность, которая сопровождается снижением качества воды при сохранении прежней нагрузки на водотоки. В большинстве гидроэкологических створов наблюдений в верхнем течении р. Дон фиксируется загрязненность воды органическими веществами (по БПК<sub>5</sub> и ХПК), соединениями меди, в отдельных створах к ним добавляется нитритный азот. Среднегодовые концентрации в 2020 г. колебались в пределах 1–3 ПДК, органических веществ (по БПК<sub>5</sub> и ХПК) – 2,02–4,06 и 18,7–29,4 мг/л [О состоянии..., 2021]. Качество воды характеризуется от «условно чистой» и «слабо загрязненной» до «загрязненной» и не удовлетворяет международным стандартам [WWAP, 2015]. Указанными компонентами перечень загрязнителей не ограничивается. Спектр их весьма широк и отражает всю палитру химических загрязняющих веществ, поступающих с бытовыми и производственными сточными водами непосредственно в речную сеть и с водосборной площади. Таким образом, речные потоки, независимо от уровня их востребованности в экономических секторах, несут прямую или косвенную антропогенную нагрузку, связанную с деятельностью человека на водосборе и непосредственно в русле реки, приводящую к разного уровня нарушениям гидроэкологического равновесия гидросистем. Снижение качества воды – самая распространенная реакция на внешние вызовы экологической направленности.

Поскольку речные потоки рассматриваются как фактические и потенциальные емкости для приема сточных вод, то для рационального природопользования, в том числе эффективного водопользования, следует предвидеть и рассчитать объемы водных ресурсов, необходимые и достаточные для разбавления загрязненных вод. Особенно сложные ситуации, водный «стресс» [Стоящева, 2018], могут возникнуть в периоды низкой водности, которые в бассейне Верхнего Дона вполне вероятны в летне-осеннюю межень вследствие высокой востребованности водных ресурсов. Для ресурсной оценки водного объекта с позиции водопользования рассчитывается коэффициент использования в процентах [Шикломанов и др., 2008]. Коэффициент использования водных ресурсов в бассейне Дона велик, в 2018 г. он составлял 35,4 % и являлся одним из самых высоких по бассейнам рек России [Демин, 2020]. Для территориальных оценок удельной водообеспеченности нередко применяется балльная система, позволяющая выделить регионы, бассейны или зоны с высокой, средней или низкой водообеспеченностью [Дмитриева, Нефедова, 2018] с вытекающими отсюда условиями водопользования и развития водоемких отраслей.

В контексте сказанного возникает необходимость определения некоторого оптимального объема, минимального запаса в водном объекте, способного поддерживать качество воды, природный уровень геосистемы и одновременно обеспечивать надежное водоснабжение. Для оценки состояния водных ресурсов с позиции качества и достаточности объема для водопользования применяются различные критерии и показатели. Качество воды характеризуется величиной индекса загрязнения воды (ИЗВ) или удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ).

Ассимилирующая способность потока оценивается коэффициентом кратности разбавления, связывающего отношение объема водных ресурсов с объемом сточных вод, сбрасываемых в водный объект [Румянцев, Коронкевич, 2014; Стоящева, 2018].

Экологический сток является важным инструментом управления водными ресурсами. Наряду с ним критерием рационального водопользования и одним из видов оценки антропогенного влияния на гидроэкологическое состояние водных объектов являются объемы допустимого изъятия вод из водного объекта. В современных расчетах для зарегулированных рек используются «Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска)» [2009], разработанные авторским коллективом в составе: В.Г. Дубининой, А.Е. Косолапова, Е.А. Скачедуба, Н.И. Коронкевича, М.С. Чебанова.

Величина объема экологического стока непостоянна внутри года, поэтому рассчитывается индивидуально для каждого календарного месяца. Внутригодовое распределение экологического стока осуществляется в соответствии с внутригодовым распределением речного стока конкретного года или многолетним его распределением.

В водопользовании наибольший интерес представляют расчетные объемы экологического стока для лет с низкой водностью высокой обеспеченности. Наиболее жесткие условия водообеспечения возникают в очень маловодные годы, например, с вероятностью превышения 95 %, поскольку при этом, предположительно, в значительной мере деформируются водохозяйственная, экологическая, рекреационная, социально-экономическая функции водного объекта.

Алгоритм расчета экологического стока последовательно включает следующие этапы: формирование ранжированного ряда среднегодовых расходов воды; построение, увязка и анализ эмпирической и аналитической кривых обеспеченности; снятие с кривой обеспеченности расхода заданной вероятности превышения; определение критического расхода воды, соответствующего переломной точке в области минимальных значений; снятие с кривой обеспеченности исторически минимального расхода воды, соответствующего 99%-ной обеспеченности; перевод расходов воды в объемы стока; сопоставление критического объема с минимальным объемом за многолетний период; определение разницы между критическим объемом и минимальным объемом, приравниваемой к объему ежегодного допустимого (безвозвратного) изъятия воды из водного объекта. Рассчитанные по указанной схеме объемы допустимого (безвозвратного) изъятия воды и объемы экологического стока имеют важное значение для принятия решений о целесообразности практического использования водного объекта.

Пространственная изменчивость расчетных характеристик объемов допустимого (безвозвратного) изъятия воды и экологического стока обеспеченностью 95 % рек Верхнего Дона представлена на картах (рис. 3, 4).

Объемы допустимого (безвозвратного) изъятия из водного объекта составляют от 0 % (р. Сосна – п. Ивань 2-я) до 17 % (р. Дон – г. Лиски) от базового (среднего) стока. Объем экологического стока на рассматриваемой территории Верхнедонского бассейна варьирует в значительном диапазоне в зависимости от водоносности объекта. Его величина после безвозвратного изъятия вод из водного объекта составляет для средних и больших рек 65–86 %, а для малых 100 % от объема водных ресурсов 50%-ной обеспеченности. Наименьшие абсолютные значения присущи преимущественно малым водотокам, но также и средним по раз-

мерам рекам, если они в истоке представляют собой малый водоток, например, р. Сосна, Красивая Меча, Девица, Лесной Воронеж. В верховьях этих рек функционируют гидрологические посты, сведения по которым позволяют выполнить расчеты экологического стока.

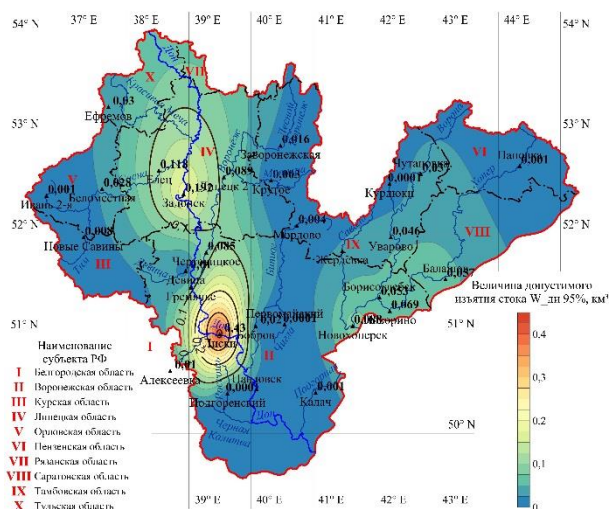


Рис. 3. Пространственная изменчивость допустимого (безвозвратного) изъятия воды  
 Fig. 3. Spatial variability of acceptable (non-refundable) water withdrawals

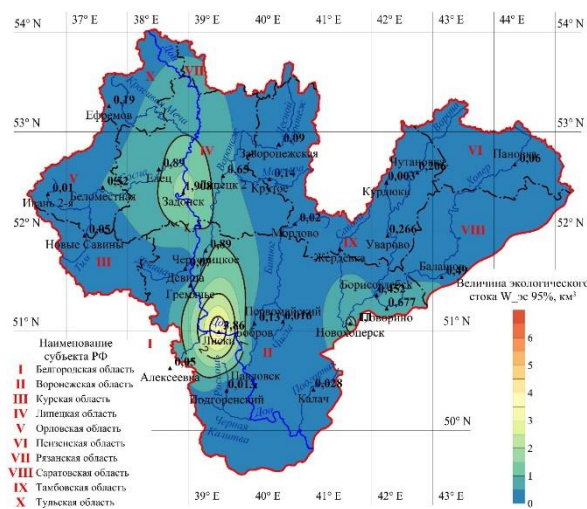


Рис. 4. Пространственная изменчивость объемов экологического стока  
 Fig. 4. Spatial variability of environmental flow volumes

### Заключение

Оценка величины экологического стока по основным притокам бассейна Верхнего Дона позволяет корректировать использование водных ресурсов с учетом водности реального года или для года заданной расчетной обеспеченности. Соблюдение установленных величин, в свою очередь, исключает возникновение дефицита водных ресурсов, связанного со значительными объемами безвозвратного изъятия стока выше расчетных значений. Представленная картографическая схема объемов пространственного распределения экологического стока рек бассейна Верхнего Дона дает возможность оценить расчетный параметр для неизученных рек и использовать в управлении водными ресурсами. Объемы экологического стока могут служить критерием рационального водопользования и одним из видов оценки антропогенного влияния на гидроэкологическое состояние водных объектов.

### Список источников

- Брисбенская декларация. 2007. Международная конференция по экологическому стоку, 6 сентября 2007, Брисбен, 7 с.
- Маркин В.Н. Раткович Л.Д., Соколов С.А. 2015. Внутригодовое распределение экологического стока малых рек. М., Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 77 с.
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон. 2020. Под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб., Свое издательство, 262 с.
- Научно-прикладной справочник: Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации 2021. Под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб., ООО "РИАЛ", 190 с.
- Никитина О.И. 2015. Экологический сток и его значение для пресноводных экосистем. Экологический сток в бассейне Амура. Всемирный фонд дикой природы (WWF) России. М., WWF России, 97 с.

- О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. 2021. Минприроды, МГУ им. М.В. Ломоносова, 864 с.
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. 2013. Ст. 50. Электронный ресурс. URL: [http://www.donbv.ru/activities/use\\_and\\_protection\\_don/](http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/) (дата обращения: 09.02.2022).

### Список литературы

- Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. 2020. Концептуальные основы нормирования экологического стока рек Казахстана. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 52–73. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-5-4
- Бучик С.В. 2021. Современные гидроэкологические трансформации и оценка экологического стока в бассейне Верхнего Дона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 28 с.
- Владимиров А.М., Иманов Ф.А. 1994. Принципы оценки экологического стока рек. В кн.: Вопросы экологии и гидрологические расчеты: сборник научных трудов. Выпуск 116. Отв. ред. А.М. Владимиров. Санкт-Петербург, Российский государственный гидрометеорологический университет (Санкт-Петербург): 4–7.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. 2017. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологические состояние. М., ГЕОС, 205 с.
- Демин А.П. 2020. Водообеспечение населения и объектов экономики в бассейне реки Дон: современное состояние и проблемы. Водные ресурсы, 47(6): 767–778. DOI: 10.31857/S0321059620060048.
- Дмитриева В.А. 2020. Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна. Известия Российской академии наук, Серия географическая, 1: 103–113. DOI: 10.31857/S2587556620010070.
- Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. 2018. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона. Вопросы географии, 145: 285–297.
- Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Скачедуб Е.А., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С. 2009. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска). Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 3: 26–60.
- Елизарьев А.Н., Фашевская Т.Б., Афанасьев И.А., Кияшко И.Ю. 2013. Оценка водного потенциала территории республики Башкортостан с использованием ГИС-технологий. Современные проблемы науки и образования, 2: 475.
- Иманов Ф.А., Раджабов Р.Ф., Нуриев А.А. 2017. Метод определения экологического стока рек Азербайджана. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 90–101.
- Кашутина Е.А., Ясинский С.В., Коронкевич Н.И. 2020. Весенний поверхностный склоновый сток на Русской равнине в годы различной водности. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 1: 37–46. DOI: 10.31857/S2587556620010100.
- Колесникова Е.В., Синельникова Н.А. 2020. Геоэкологические проблемы рационального использования водных ресурсов средних и малых рек Енисейского бассейнового округа. В кн.: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Международная научная конференция памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, 23–31 октября 2020, Санкт-Петербург. СПб., Издательство ВВМ: 900–905.
- Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. 2021. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья. Региональные геосистемы, 45(4): 617–631. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631.
- Румянцев В.А., Коронкевич Н.И. 2014. Стратегические ресурсы природных вод России. В кн.: Стратегические ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов. Под ред. В.М. Котлякова, А.А. Тишкова. М., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук: 62–70.
- Стоящева Н.В. 2018. Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты бассейна Верхней Оби в разные по водности периоды. Известия Алтайского отделения Русского Географического Общества, 4(51): 17–26.



- Фашевский Б.В. 1989. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск, БелНИИТИ, 51 с.
- Фашевский Б.В. 1996. Основы экологической гидрологии. Минск, Экоинвест, 240 с.
- Фролова Н.Л. 2012. Гидрологические ограничения природопользования. В кн.: Географо-гидрологические исследования. Под ред. В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М., Кодекс: 456–478.
- Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Никифорова И.А. 2008. Водные ресурсы России и их использование = Water resources of Russia and their use. Санкт-Петербург, Государственный гидрологический институт, 596 с.
- Lisetskii F. 2021. Rivers in the Focus of Natural-Anthropogenic Situations at Catchments. Geosciences. [Switzerland], 11(2): 63. DOI: 10.3390/geosciences11020063.
- O'Keeffe J., Quesne T.L. 2009. Keeping Rivers Alive: a Primer on Environmental Flows. Washington, World Wildlife Fund, 39.
- Linnansaari T., Monk W.A., Baird D.J., Curry R.A. 2012. Review of Approaches and Methods to Assess Environmental Flows Across Canada and Internationally. Canadian Science Advisory Secretariat, 039: 1–74.
- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications, 19(5–6): 397–441. DOI: 10.1002/rra.736.
- Poff N.L. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. Bioscience, 47(11): 769–784.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. Paris, The United Nations World Water Development Report, 122 p.

## References

- Burlibaev M.Zh., Burlibaeva D.M. 2020. Conceptual Basics of Standardization of Ecological and Free Flow for Rivers in Kazakhstan. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 52–73 (in Russian). DOI: 10.35567/1999-4508-2020-5-4.
- Buchik S.V. 2021. Sovremennye gidroekologicheskie transformatsii i otsenka ekologicheskogo stoka v bassejne Verkhnego Dona [Modern hydroecological transformations and assessment of ecological flow in the Upper Don basin]. Abstract. diss. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 28 p.
- Vladimirov A.M., Imanov F.A. 1994. Principy ocenki ekologicheskogo stoka rek [Principles of assessing the ecological flow of rivers]. In: Voprosy` e`kologii i gidrologicheskie raschety`: sbornik nauchny`x trudov [Questions of ecology and hydrological calculations: a collection of scientific papers]. Issue 116. Ed. by A.M. Vladimirov. Saint Petersburg, Publ. RGGMI: 4–7.
- Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. 2017. Vodny`e resursy` bassejna Dona i ix e`kologicheskie sostoyanie [Water resources of the Don basin and their ecological state]. Moscow, Publ. GEOS, 205 p.
- Demin A.P. 2020. Water Supply to the Population and Economic Facilities in the Don River Basin: the Current State and Problems. Water Resources, 47(6): 1077–1087 (in Russian). DOI: 10.1134/S0097807820060044.
- Dmitrieva V.A. 2020. Modern Changes in the Water Regime and the Morphometry of Rivers in the Upper Don Basin. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 1: 103–113 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556620010070.
- Dmitrieva V.A., Nefedova Ye.G. 2018. Hydrological Response to Conditions of Changing Climate and Human Activities in Upper Don Catchment Area. Voprosy geografii, 145: 285–298 (in Russian).
- Dubinina V.G., Kosolapov A.Y., Skachedub Y.A., Koronkevich N.I., Chebanov M.S. 2009. Methodical Approaches to Ecological Standardization of Water Flow Irreversible Withdrawal and Ecological Discharge (Release) Setting. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 3: 26–60 (in Russian).
- Elizarev A.N., Fashevskaya T.B., Afanasev I.A., Kiyashko I.Yu. 2013 Estimation of Bashkortostan Republic Water Potential Via GIS-Technologies. Modern Problems of Science and Education, 2: 475 (in Russian).
- Imanov F.A., Radzhabov R.F., Nuriyev A.A. 2017. A Method for the Azerbaijan Rivers' Ecological Runoff Determination. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management, 5: 90–101 (in Russian).



- Kashutina E.A., Yasinskii S.V., Koronkevich N.I. 2020. Spring Slope Runoff on the Russian Plain in Years of Different Water Content. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 1: 37–46 (in Russian). DOI: 10.31857/S2587556620010100.
- Kolesnikova E.V., Sinelnikova N.A. 2020. Geoenvironmental Issues in Sustainable Use of Water from the Minor and Medium Rivers in the Yenisei Basin District. In: IV Vinogradov Conference Hydrology: from Learning to Worldview. International scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Borisovich Vinogradov, 23–31 October 2020. St. Petersburg, Publ. VVM: 900–905 (in Russian).
- Kumani M.V., Shulgina D.V., Kiselev V.V. 2021. Long-term Dynamics of the Main Elements of River Flow Within the Central Chernozem Region. *Regional Geosystems*, 45(4): 617–631 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631.
- Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I. 2014. Strategic natural water resources in Russia. In: Strategic Resources and Conditions for Sustainable Development of the Russian Federation and Its Regions. Ed. V.M. Kotlyakov, A.A. Tishkov. M., Publ. Federalnoye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye nauki Institut geografii Rossiyskoy akademii nauk: 62–70 (in Russian).
- Stoyashcheva N.V. 2018. Assessment of Anthropogenic Load on Water Bodies of the Upper Ob Basin in Different Water Content Periods. *Bulletin of the Altay Branch of the Russiangeographical Society*, 4(51): 17–26 (in Russian).
- Fashhevskij B.V. 1989. *Ekologicheskoye obosnovaniye dopustimoy stepeni regulirovaniya rechnogo stoka* [Ecological substantiation of the permissible degree of river flow regulation]. Minsk, Publ. BelNIINTI, 51 p.
- Fashhevskij B.V. 1996. *Osnovy ekologicheskoy gidrologii* [Fundamentals of Ecological Hydrology]. Minsk, Publ. Ekoinvest, 240 p.
- Frolova N.L. 2012. *Gidrologicheskie ogranicheniya prirodopol'zovaniya* [Hydrological restrictions on nature use]. In: *Geografo-gidrologicheskie issledovaniya* [Geographic and hydrological research]. Ed. by V.M. Kotlyakov, N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova. Moscow, Publ. Kodeks: 456–478.
- Shiklomanov I.A., Babkin V.I., Nikiforova I.A. 2008. *Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie = Water resources of Russia and their use* [Water resources of Russia and their use = Water resources of Russia and their use]. Saint-Petersburg, Publ. Gosudarstvennyj gidrologicheskij institut, 596 p.
- Lisetskii F. 2021. Rivers in the Focus of Natural-Anthropogenic Situations at Catchments. *Geosciences*. [Switzerland], 11(2): 63. DOI: 10.3390/geosciences11020063.
- O'Keeffe J., Quesne T.L. 2009. *Keeping Rivers Alive: a Primer on Environmental Flows*. Washington, World Wildlife Fund, 39.
- Linnansaari T., Monk W.A., Baird D.J., Curry R.A. 2012. Review of Approaches and Methods to Assess Environmental Flows Across Canada and Internationally. *Canadian Science Advisory Secretariat*, 039: 1–74.
- Tharme R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5–6): 397–441. DOI: 10.1002/rra.736.
- Poff N.L. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, 47(11): 769–784.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. Paris, The United Nations World Water Development Report, 122 p.

*Поступила в редакцию 14.03.2022;  
поступила после рецензирования 29.03.2022;  
принята к публикации 05.04.2022*

*Received March 14, 2022;  
Revised March 29, 2022;  
Accepted April 05, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Дмитриева Вера Александровна**, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры природопользования, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

**Vera A. Dmitrieva**, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Management, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation





УДК 911.3; 631.481  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-434-447

## Комплексная характеристика постаграрных ландшафтов среднего течения р. Селенги (Республика Бурятия)

<sup>1</sup> Екимовская О.А., <sup>2</sup> Белозерцева И.А.

<sup>1</sup> Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской Академии наук  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой 8,

<sup>2</sup> Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской Академии наук  
Россия, 670033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская 1  
E-mail: oafe@mail.ru

**Аннотация.** Проведены комплексные эколого-экономические исследования постаграрных ландшафтов среднего течения р. Селенги (Республика Бурятия). Дана характеристика растительности, агрохимических и агрофизических свойств пахотных горизонтов почв. Выявлено фитоценоотическое разнообразие и особенности пространственно-временной организации растительных сообществ бывших пахотных, а в настоящее время естественных кормовых угодий. Исследовано состояние древесно-кустарниковой растительности. Для выявления потенциальной прибыли от возвращения в оборот заброшенных сельскохозяйственных угодий была выполнена рентная оценка пахотных и естественных кормовых угодий. Рентная оценка показала отсутствие потенциальной прибыли при выращивании основных сельскохозяйственных зерновых культур – пшеницы и ржи. Небольшая прибыль возможна при выращивании ячменя. Более эффективно использование залежных земель в качестве пастбищ. Пахотные угодья заменяются на пастбища и сенокосы, используемые с разной степенью интенсивности. Пастбищные и сенокосные угодья из сельскохозяйственного оборота не выводятся.

**Ключевые слова:** постаграрные ландшафты, эффективность возвращения в сельскохозяйственный оборот, экологическое состояние, альтернативное землепользование

**Благодарность:** Статья подготовлена в рамках бюджетных научно-исследовательских работ № АААА-А21-121012190055-7, ААА-А21-121011990023-1.

**Для цитирования:** Екимовская О.А., Белозерцева И.А. 2022. Комплексная характеристика постаграрных ландшафтов среднего течения р. Селенги (Республика Бурятия). Региональные геосистемы, 46(3): 434–447. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-434-447

---

## The Study Agricultural Land Use in Middle Selenga River of the Basin (a Case Study of the Republic of Buryatia)

<sup>1</sup> Olga A. Yekimovskaya, <sup>2</sup> Irina A. Belosertseva

<sup>1</sup> Baikal Institute of Nature Management of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences  
6 Sakhyanovoy St, Ulan-Ude, 670047, Russia

<sup>2</sup> Sochava Institute of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences  
1 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk, 670033, Russia  
E-mail: oafe@mail.ru

**Abstract.** This study seeks to identify the distinctive features in agricultural land use in middle Selenga River of the basin. The recultivation of some abandoned farmlands could unlock the untapped agricultural potential. For the most part, the studies differ in their sectoral approach, consider individual processes of casting or putting fallow lands into agricultural circulation. We attempted a comprehensive study of the abandoned farmlands of the within the middle Selenga River bassin (Republic of Buryatia) and the effectiveness of their reinvention. The study of vegetation, agrochemical and agrophysical of the main

indicators of arable soil horizons of key areas of abandoned arable land are given. Phytocenotic diversity and features of space-time organization of plant communities of former arable and currently natural forage areas have been identified. To assess the effectiveness of alternative use of abandoned farmlands and assess the ecological functions performed by them, the state of tree-shrub vegetation has been studied. In arid climates, when it takes decades to form woody-shrub vegetation, the soils of abandoned farmlands can become an alternative source of carbon deposition. The state of most forest belts (drying) does not allow them to effectively store carbon. Geobotanical studies have shown a negligible number of Red Book plants in the study areas. Hunting and fishing resources were not formed on abandoned farmlands, due to the young age of woody vegetation and its small area, located mainly along the outskirts of former arable land. Therefore, the main ecological function of abandoned farmlands is the function of recycling organic carbon and storing it in the upper layers of the soil. We consider it expedient not to involve fallow lands in arable circulation, but to leave abandoned farmlands to fulfill their environmental functions of carbon deposition.

**Keywords:** abandoned farmlands, efficiency of return to agricultural turnover, ecological state, alternative possibilities of using abandoned farmlands

**Acknowledgment:** This work was funded by budget research work of Baikal institute of Natural Management No. AAAA-A21-121012190055-7, AAA-A21-121011990023-1

**For citation:** Yekimovskaya O.A., Belosertseva I.A. 2022. The Study Agricultural Land Use in Middle Selenga River of the Basin (a Case Study of the Republic of Buryatia). *Regional Geosystems*, 46(3): 434–447. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-434-447

---

## Введение

Вопросы продовольственной безопасности России были актуальны на всех этапах аграрных преобразований. В условиях противороссийских экономических санкций задачи обеспечения населения собственной аграрной продукцией могут быть решены за счёт возвращения заброшенных сельскохозяйственных угодий в землеоборот.

При принятии решения о вводе заброшенных угодий в землеоборот необходим комплексный подход. Наряду с экономическим эффектом (увеличение производства сельскохозяйственной продукции, снижение риска возникновения пожаров, ликвидация очагов биологического загрязнения окультуренных угодий) необходимо учитывать экологическую, средообразующую и рекреационные функции постаграрных ландшафтов. Задернованная почва, древесно-кустарниковая растительность постаграрных ландшафтов депонируют углерод [Kurganova, et al., 2021; Wang et al., 2021]. Постаграрные ландшафты являются средой обитания редких видов флоры и фауны, местом сбора дикоросов.

В Республике Бурятия доля заброшенных пахотных угодий достигает 93 % площади пашни в пригородных и 67 % в основных сельскохозяйственных районах [Yekimovskaya, Beshentsev 2012; Екимовская, 2016]. Использование постаграрных ландшафтов позволит ослабить зависимость республики от импортного продовольствия. В 2020–2022 гг. в республику импортировали овощи из Египта, Израиля, Китая, корма для животноводства из Монголии.

Проведенная в республике в 70-х годах XX в. интенсивная распашка каменистых сенокосов и залежей оказалась неэффективной. Урожаи были низкими. Из-за больших затрат на мелиоративные мероприятия, удобрения и горючее выращивание зерновых на этих участках было возможным при интенсивной поддержке государства. В настоящее время заброшенные пашни используются в качестве естественных кормовых угодий.

В середине 90-х годов система сельскохозяйственного землепользования республики изменилась. Хозяйства населения, ставшие основными производителями аграрной продукции, развивали отрасли животноводства, более адаптированные к природно-климатическим условиям республики.

Увеличение поголовья крупного и мелкого рогатого скота (КРС и МРС) в хозяйствах населения обусловили нехватку пастбищ и сенокосов. Залежные пашни стали использоваться в качестве естественных кормовых угодий.

О высокой востребованности естественных кормовых угодий и их дефиците свидетельствуют социологические опросы, проведённые в хозяйствах населения, в фермерских хозяйствах, в районных отделениях Министерства сельского хозяйства Республики Бурятия в 2019–2019 гг. Из интервью с фермером: «Мы готовы больше скота держать. Сенокосов и пастбищ не хватает. Всё уже распределено». Фермерские хозяйства за свой счёт ремонтируют оросительные системы, расчищают каналы, сохранившиеся с советских времен.

Актуальность исследования постаграрных ландшафтов республики обусловлена также их расположением вблизи объекта Всемирного природного наследия – оз. Байкал.

### Объекты и методы исследований

Комплексные социально-экономические и экологические исследования проводились в районах республики, больше всего сокративших сельскохозяйственные площади. На рис. 1 обозначены залежные земли среднего течения р. Селенги (Юго-Западное Забайкалье). Чёрными пунсонами отмечены точки описаний растительности и почв.

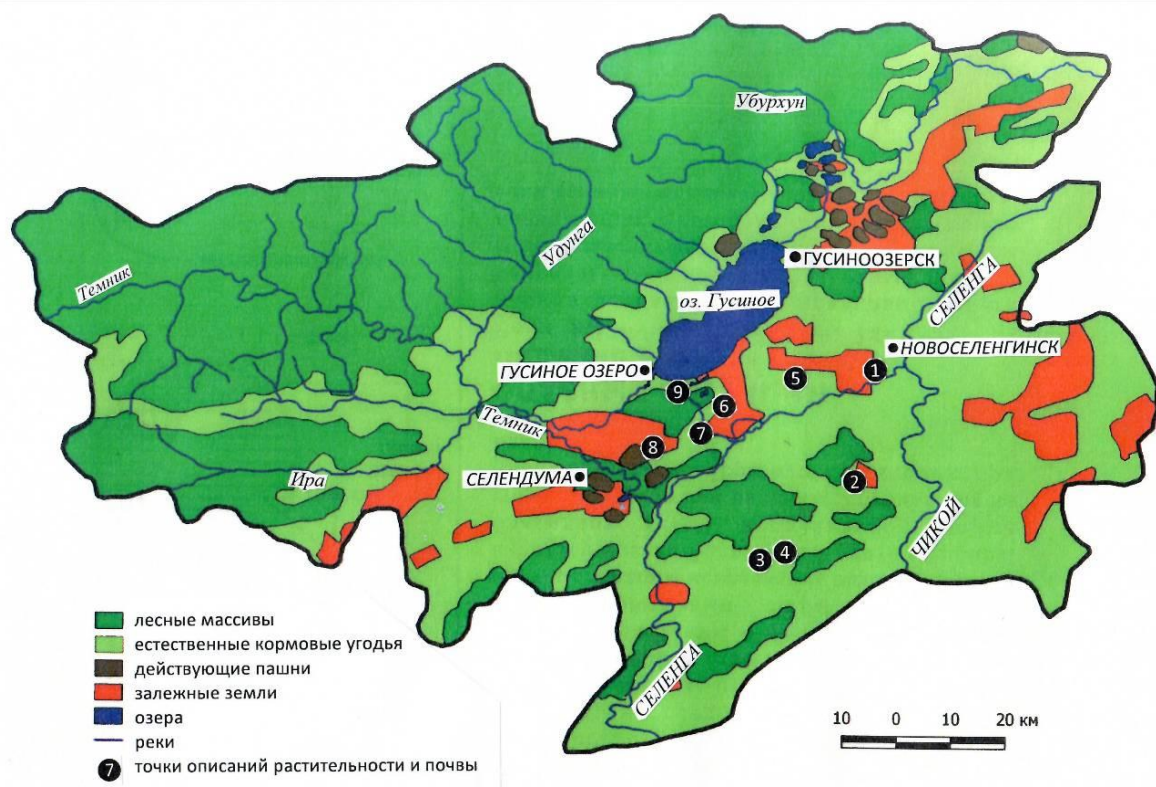


Рис. 1. Залежные земли среднего течения р. Селенги (Юго-Западное Забайкалье)

Fig. 1. The of Abandoned Farmland of the middle Selenga River basin (South-Western Transbaikalia)

Пойменно-долинные комплексы активно использовались до начала 90-х годов XX в. в качестве пахотных угодий. На момент исследования бывшие пашни находились в залежном состоянии и на них нерегулярно выпасался скот. Ключевые участки отражают наибольшее разнообразие форм рельефа (днища, склоны, шлейфы склонов, речные террасы) и почв, расположены в неоднородных ландшафтных условиях, находятся на различных стадиях зарастания древесно-кустарниковой растительностью. При выборе

участков учитывалась степень современной дигрессии растительности, а также виды-доминанты. Это позволило выявить разницу между фоновыми и ключевыми участками растительных сообществ, дать оценку их современного состояния и прогнозировать основные направления развития растительности при различных видах сельскохозяйственного землепользования.

Территория исследования по ботанико-географическому районированию относится к Центральноазиатской (Дауро-Монгольской) подобласти степной области Евразии [Фадеева, 1963]. Растительность района исследований относится к Хангайско-Даурской горнолесостепной провинции подпровинции Орхоно-Нижнеселенгинской лесостепи [Рещиков, 1958; 1961]. По провинциальному разделению к Центральноазиатской подобласти степной области Евразии [Лавренко и др., 1991; Пешкова, 1974; 1985; 2001; Дамбиев, 2000] и по ботанико-географическому районированию степей Центральной Азии к зоне контакта степи и лесостепи [Бойков и др., 1995; Молчанов и др., 2015]. По физико-географическому районированию район исследований относится к провинциям Южно-Сибирской горной области, Селенгинско-Хилокской провинции, Худунскому остепненно-котловинному округу лесостепных ландшафтов<sup>1</sup>.

Выявление и датировка залежей проводилась на основе анализа разновозрастного картографического материала, опроса местного населения, а также экспертов Министерства сельского хозяйства Республики Бурятия. Также для установления времени пребывания пашни в залежном состоянии использованы методики, разработанные в институте почвоведения и агрохимии СО РАН. Изучение растительности проводилось в соответствии с руководством по геоботаническим съёмкам [Викторов и др., 1959], анализ площади проективного покрытия и видовая насыщенность фитоценозов определялись на площадках площадью 1 м<sup>2</sup> в трёхкратной повторности.

Плотность зарастания и состояние древесно-кустарниковой растительности оценивалось методами таксации, глазомерно-измерительным способом по шкале категорий и лесоустроительной инструкции, утверждённых Постановлением Правительства РФ № 607 от 20.05.2017 г.<sup>2</sup>

Аналитические работы по исследованию агрофизических и агрохимических свойств почв проводились в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН в лабораторных условиях по стандартизованным методикам [Аринушкина, 1970; Звягинцев, 1978].

### Результаты и их обсуждение

Впервые для Республики Бурятия проведены комплексные эколого-экономические исследования постаграрных ландшафтов, включающие детальное описание растительности, агрохимические и агрофизические характеристики почв (табл. 1, 2), оценку процессов лесовосстановления, рентную оценку.

Стадии восстановительной сукцессии ключевых участков исследования характеризуются восстановлением травостоя, появлением многоярусности, повышением проективного покрытия, увеличением видового разнообразия. Ранее распаханная земля, примыкающая к стене леса, представляют собой потенциальные сосняки с сухими и злаково-разнотравными типами леса.

Содержание гумуса в почвах залежей, сенокосов и пастбищ среднее и высокое, за исключением одной площадки с аллювиальными агрогумусовыми почвами с низким содержанием гумуса. Реакция среды пахотного горизонта, которая благоприятна для

<sup>1</sup> Ландшафты юга Восточной Сибири: карты. 1977. В.С. Михеев, В.А. Ряшин. М., ГУГК, 4 с.

<sup>2</sup> Об утверждении государственной программы «Развитие агропромышленного комплекса и сельских территорий в Республике Бурятия»: Постановление г. Улан-Удэ № 102 от 28.02.2013 (ред. 27.12.2018). Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/473800372> (дата обращения 03.06.2022).

растений, в основном близка к нейтральной и слабощелочной под степной растительностью залежей, а также слабокислой в почвах под луговой растительностью пастбищ и сенокосов.

Таблица 1  
Table 1

Агрохимические и агрофизические свойства пахотных горизонтов почв  
ключевых участков сельскохозяйственных земель в средней части бассейна р. Селенги  
Agrochemical and agrophysical indicators of arable soil horizons  
of key agricultural land plots in the middle Selenga River basin

№ площад- ки	Местоположение	Почва	рН водн.	Г <sup>1</sup> , %	Основные элементы питания растений				ФГ <sup>2</sup>	А <sup>3</sup> %	Р <sup>4</sup> , г/см <sup>3</sup>
					NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
1 (P59)	Надпойменная терраса р. Селенги, залежь ≈ 25–30 лет	Атс	7,4	4,6	10,9	3,7	253	290	27,5	45,2	0,9
2 (058)	Нижняя часть шлейфа склона юго-западной экспозиции, залежь ≈ 30 лет	А <sub>Алд</sub>	7,4	3,1	4,6	1,7	429	132	20,0	53,0	1,1
3 (059)	Шлейф склона, залежь ≈ 25 лет	А <sub>Гут</sub>	7,6	7,0	10,2	15,0	578	249	27,6	43,1	1,2
4 (062)	Днище межгорного распадка, залежь ≈ 30 лет	А <sub>чтк</sub>	7,1	9,4	11,9	3,1	572	290	26,4	65,7	1,2
5 (063)	Днище межгорного распадка, залежь ≈ 39 лет	Ач	7,3	11,0	12,0	7,1	574	270	29,0	45,1	1,2
6 (064)	Днище межгорного распадка, залежь ≈ 50 лет	А <sub>чтк</sub>	7,3	8,6	9,0	12,25	891	945	21,8	68,2	1,0
7 (065)	Надпойменная терраса р. Темник, сенокосы, ранее распаханные земли	А <sub>Алт</sub>	6,4	6,1	13,2	2,9	131	164	26,2	52,0	1,3
8 (066)	Надпойменная терраса р. Темник, сенокосные угодья, распаханные и зброшенные	А <sub>Алт</sub>	6,4	7,0	9,3	23,1	265	331	27,0	54,2	1,3
9 (067)	Низина около оз. Гусиное, пастбище и сенокос, залежь ≈ 35 лет	А <sub>Алд</sub>	7,6	5,6	12,6	3,1	136	143	29,8	31,0	1,4

Примечание: Г<sup>\*</sup> – содержание гумуса; ФГ<sup>2</sup> – содержание физической глины (< 0,01); А<sup>3</sup> – количество агрономически ценных агрегатов 10–0,25 мм; Р<sup>4</sup> – плотность почв; Почвы: Атс – агротемно-серая, А<sub>Алд</sub> – аллювиальная агрогумусовая, А<sub>Гут</sub> – агротемно-гумусовая, А<sub>чтк</sub> – агрочернозем текстурно-карбонатный, Ач – агрочернозем, А<sub>Алт</sub> – аллювиальная агротемно-гумусовая. Согласно шкале ФГБУ центра Агрохимической Службы «Иркутский»: 1) содержание калия (мг/кг) характеризуется как: очень низкое – < 100, низкое – 101–200, среднее – 201–300, выше среднего – 301–400, высокое – 401–600, очень высокое – > 600; 2) содержание подвижного фосфора (мг/кг) в почвах характеризуется как: очень низкое – < 25, низкое – 26–50, среднее – 51–100, выше среднего – 101–150, высокое – 151–250, очень высокое – > 250; 3) содержание нитратного азота (мг/кг) характеризуется как: очень низкое – < 4, низкое – 4–8, среднее – 8–15, выше среднего – 15–20, высокое – 20–25, очень высокое – > 250. Оценка структуры на основании количества агрономически ценных агрегатов 10–0,25 мм: больше 60 % – отличное агрегатное состояние, 60–40 – хорошее, меньше 40 % – неудовлетворительное.

Содержание основных элементов питания растений в почвах в основном достаточное, выше среднего. Исключение составили ключевые участки исследования с аллювиальными агрогумусовыми почвами с исходным природным низким содержанием гумуса, нитратного азота и калия (площадки: №№ 2(058), 7(065) и 9(067)), а также ключевой участок с интенсивной пастбищной нагрузкой. Здесь зафиксировано низкое содержание калия, неудовлетворительное количество агрономически ценных агрегатов и высокая плотность почв (№ 9 (067)). По гранулометрическому составу эти почвы в основном среднесуглинистые. Количество агрономически ценных агрегатов достаточное, за исключением площадки 065, используемой в данное время как сенокос и пастбище (см. табл. 1).

Таблица 2  
Table 2Растительность ключевых участков сельскохозяйственных земель  
в средней части бассейна р. Селенги  
Vegetation agricultural land plots in the middle Selenga River basin

Номера и координаты точек исследования	Краткая характеристика растительных сообществ	Виды растений
1 (P59) WGS 84 N 51°02'19"8 E 106°35'69"3	Разнотравно-злаковая ассоциация с присутствием ильма приземистого и ив	Подмаренник настоящий ( <i>Galium verum</i> L.), полынь метельчатая ( <i>Artemisia scoparia</i> ), лапчатка вильчатая ( <i>Potentilla bifurca</i> L.), полынь холодная ( <i>Artemisia frigida</i> ), осока стоповидная ( <i>Carex pediformis</i> ), горошек мышиный ( <i>Vicia cracca</i> L.), василистник простой ( <i>Thalictrum simplex</i> ), лук душистый ( <i>Allium ramosum</i> ), лук тончайший ( <i>Allium subtilissimum</i> ), донтостемон цельнолистный ( <i>Dontostemon integrifolius</i> ), мак голостебельный ( <i>Papaver nudicaule</i> ), гетеропапус алтайский ( <i>Heteropappus altaicus</i> ), лен сибирский ( <i>Linum perenne</i> L.), хвощ полевой ( <i>Equisetum arvense</i> ), полынь обыкновенная ( <i>Artemisia vulgaris</i> ), чина низкая ( <i>Lathyrus humilis</i> ), пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> ), ковыль Крылова ( <i>Stipa krylovii</i> Roshev), житняк гребенчатый ( <i>Agropyron cristatum</i> )
2 (058) WGS 84 N 50°58'46"2 E 106°37'87"2	Разнотравная ассоциация с доминированием полыни холодной и лапчатки пижмолистной с редким присутствием злаков	Хамеродос прямостоячий ( <i>Chamaerhodos erecta</i> ), лапчатка бесстебельная ( <i>Potentilla acaulis</i> ), скабиоза растопыренная ( <i>Lomelosia divaricata</i> ), зопник клубненосный ( <i>Phlomis tuberosa</i> ), полынь метельчатая ( <i>Artemisia scoparia</i> ), кермек ( <i>Limonium</i> ), вероника седая ( <i>Veronica incana</i> ), лук тончайший ( <i>Allium subtilissimum</i> ), цымбария даурская ( <i>Cymbaria dahurica</i> L.), осока твердоватая ( <i>Carex duriuscula</i> ), овсяница ленская ( <i>Festuca lenensis</i> ), ковыль Крылова ( <i>Stipa krylovii</i> ), житняк гребенчатый ( <i>Agropyron cristatum</i> )



Окончание табл. 2

Номера и координаты точек исследования	Краткая характеристика растительных сообществ	Виды растений
4 (062) WGS 84 N 50°50'37"1 E 106°33'22"0	Разнотравная ассоциация с доминированием лапчатки пижмолистной и полыни холодной с единичными растениями ковыля Крылова с редкими кустами ильма приземистого	Тимьян ползучий ( <i>Thymus serpyllum</i> ), хамеродос прямостоячий ( <i>Chamaerhodos erecta</i> ), лапчатка рассеченная ( <i>Species Plantarum</i> ), кермек ( <i>Limonium</i> ), вероника седая ( <i>Veronica incana</i> )
5 (063) WGS 84 N 51°04'98"1 E 106°28'04"2	Разнотравная ассоциация с доминированием лапчатки пижмолистной и редким присутствием ильма приземистого	Володушка козелецелистная ( <i>Bupleiurum scorzonerifolium</i> ), полынь метельчатая ( <i>Artemisia scoparia</i> ), полынь холодная ( <i>Artemisia frigida</i> ), хамеродос прямостоячий ( <i>Chamaerhodos erecta</i> ), лапчатка рассеченная ( <i>Species Plantarum</i> ), кермек ( <i>Limonium</i> ), вероника седая ( <i>Veronica incana</i> ), пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> ), лен сибирский ( <i>Linum perenne</i> L.)
6 (064) WGS 84 N 51°01'08"1 E 106°21,06"9	Деградированное редкотравное сообщество, состоящее из нескольких угнетенных видов растений с отсутствием какого-либо проективного покрытия	Лапчатка бесстебельная ( <i>Potentilla acaulis</i> ), тимьян ползучий ( <i>Thymus serpyllum</i> ), ирис низкий ( <i>Iris humilis</i> ), хамеродос прямостоячий ( <i>Chamaerhodos erecta</i> ), ковыль Крылова ( <i>Stipa krylovii</i> )
7 (065) WGS 84 N 50°59'11"6 E 106°16'50"4	Разнотравное сообщество с присутствием луговых и степных видов растений, с учётом того, что окружение – степные сообщества. Присутствуют ивы	Кровохлебка лекарственная ( <i>Sanguisorba officinalis</i> ), лапчатка гусиная ( <i>Potentilla anserina</i> ), горец птичий ( <i>Polygonum aviculare</i> ), полевица Триниуса ( <i>Agrostis trinii Turcz</i> ), житняк гребенчатый ( <i>Agropyron cristatum</i> ), желтушник раскидистый ( <i>Erysimum diffusum</i> ), лапчатка пижмолистная ( <i>Potentilla filipendula</i> ), тмин ( <i>Carum carvi</i> ), ирис низкий ( <i>Iris humilis</i> ), подорожник ( <i>Plantago</i> ), хвощ полевой ( <i>Equisetum arvense</i> ), пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> ), горошек мышиный ( <i>Vicia cracca</i> ), мятлик луговой ( <i>Poa pratensis</i> ) лапчатка рассеченная
8 (066) WGS 84 N 51°02'81"6 E 106°22'19"3	В настоящее время происходит начальная стадия восстановления сообществ с увеличением их видового разнообразия	Лапчатка гусиная, горец, полевица Триниуса ( <i>Agrostis trinii Turcz</i> ), житняк гребенчатый ( <i>Agropyron cristatum</i> ), желтушник раскидистый ( <i>Erysimum diffusum</i> ), лапчатка пижмолистная ( <i>Potentilla filipendula</i> ), тмин ( <i>Carum carvi</i> ), ирис низкий ( <i>Iris humilis</i> ), подорожник ( <i>Plantago major</i> L.), хвощ полевой ( <i>Equisetum arvense</i> ), пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> ), горошек мышиный ( <i>Vicia cracca</i> ), мятлик луговой ( <i>Poa pratensis</i> )
9(067) WGS 84 N 51°05'38"2 E 106°19'10"6	Луговое сообщество с доминированием злаков	Пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> ), мятлик луговой ( <i>Poa pratensis</i> ), овсяница ленская ( <i>Festuca lenensis</i> ), ковыль Крылова ( <i>Stipa krylovii</i> ), житняк гребенчатый ( <i>Agropyron cristatum</i> )

В переходной зоне от леса к степи развиты серые, встречаются дерново-подзолистые почвы [Убугунов и др., 1998; 2018]. В долинах рек сформировались аллювиальные гумусовые и темногумусовые, аллювиальные перегнойно-глеевые и торфяно-глеевые почвы, встречаются солонцы и солончаки [Цыбжитов и др., 1998].

По почвенным исследованиям сельскохозяйственных земель ключевых участков Юго-Западного Забайкалья выделены среднемощные агроземы, агрочерноземы, агрочерноземы текстурно-карбонатные, агросерые, аллювиальные агрогумусовые, аллювиальные агротемногумусовые, характерные для лесостепной и степной зон.

Агрочерноземы текстурно-карбонатные по классификации 2004 г. (агротемнокаштановые почвы по классификации 1977 г.) являются наиболее распространенным типом почв на обследованной территории заброшенных сельскохозяйственных угодий. Формируются данные почвы под сухостепной растительностью, характеризующейся низкорослым, изреженным и засухоустойчивым травостоем. Зброшенне сельскохозяйственне угодья с агротемно-серыми почвами на делювиальных песках, супесях и эллювиально-делювиальных щебнисто-каменистых суглинках зарастают подростом сосны. Используемые сельскохозяйственные угодья представлены в основном пастбищами и сенокосами на аллювиальных агрогумусовых и аллювиальных агротемногумусовых почвах.

Для оценки эффективности альтернативного использования постаграрных ландшафтов и оценки выполняемых ими экологических функций было исследовано состояние древесно-кустарниковой растительности. Молодые сосняки сформировались, в основном, в лесостепных, увлажнённых районах. Процессу лесовосстановления способствует более высокое количество осадков.

Древесно-кустарниковая растительность южных степных районов республики (Селенгинский, Кяхтинский) представлена сохранившимися мелиоративными лесополосами, возраст которых достигает 40–50 лет. Большинство мелиоративных лесополос, созданных на бывших пахотных угодьях черенками рода *Populus*, усыхает. Выпадают отдельные деревья и целые полосы, прекращая выполнять свои противозерозионные, влагозадерживающие и санитарно-гигиенические функции (рис. 1, 2).



Рис. 2. Крайняя стадия деградации растительных сообществ до оголения почвенного субстрата с развалом и засыханием защитных полос, состоящих из тополя  
Fig. 2. The extreme stage of degradation of plant communities before the gluing of the soil substrate with the collapse and drying of protective strips consisting of poplar



Частично сохранившиеся полезащитные лесные полосы интродуцентов рода *Populus* по шкале категории состояния деревьев относятся к 3–5 категории, т. е. от сильно ослабленных до свежего сухостоя. Предполагаемые причины усыхания: насаждения вегетативного происхождения (посадочный материал – черенки), абиотические факторы лесостепной и степной природных зон. Угнетённое состояние большинства лесополос (усыхание) не позволяет им эффективно накапливать углерод.



Рис. 3. Формирование сообществ на месте ранее распаханых лугов с организацией полезащитных полос, состоящих из тополя

Fig. 3. Formation of communities on the site of previously plowed meadows with the organization of protective strips consisting of poplar

Для заброшенных пахотных угодий в лесостепной зоне республики (Хоринский, Кижингинский) характерен процесс самозаращения главными лесообразующими породами – *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roth. На залежных землях главные лесообразующие породы в процессе лесовосстановления присутствуют в незначительном количестве. На залежных и бывших пахотных угодьях присутствуют кустарники рода *Caragana pumila* (L.) DC., *Ulmus pumila* L., *Lespedeza juncea* (L. fil.) Pers. При этом *Caragana pumila* (L.) DC доминирует на залежных землях. На пашнях она присутствует единично в старших возрастных поколениях древесно-кустарниковой растительности. Средний возраст условнооднолетних насаждений, примыкающих к семенникам (стене леса), составляет 30 лет. Насаждения представлены главной лесообразующей породой – *Pinus sylvestris* L. В большинстве случаев это высокополнотные, высокопродуктивные молодняки хвойных пород. Дальнейшее самозаращение пахотных угодий идет в основном за счет возобновившихся молодняков, семеношение которых наступило в возрасте 10–15 лет (рис. 4.)

Не все постаграрные ландшафты могут быть возвращены в оборот без их реабилитации. В публикациях [Екимовская 2016, Екимовская и др., 2019] описаны методика, результаты расчёта чистого операционного дохода с пастбищных и пахотных угодий, итоговая величина рентного дохода с сельскохозяйственных угодий. Чистый операционный доход рассчитывался отдельно для пахотных и пастбищных угодий. Величина чистого операционного дохода рассчитывалась по следующей формуле:

$$Чод = Bд - 3 \times Hн,$$

где  $Чод$  – чистый операционный доход;  $Вд$  – валовой доход;  $З$  – затраты на выращивание определенной сельскохозяйственной культуры;  $Нп$  – норма прибыли. Валовой доход рассчитывался по формуле:

$$Вд = Цп \times У,$$

где  $Цп$  – цена продажи;  $У$  – урожайность.



Рис. 4. Формирование древесно-кустарниковой растительности на бывших пашнях  
Fig. 4. *Pinus sylvestris* L. of the abandoned farmlands

При оценке пастбищ чистый операционный доход определяется по формуле:

$$Чод = Ц \text{ ед.п.} \times Q - З \text{ ед.п.} \times Q,$$

где  $Чод$  – чистый операционный доход;  $Ц \text{ ед.п.}$  – цена единицы продукции;  $З \text{ ед.п.}$  – затраты;  $Q$  – объем продукции.

Итоговая величина рентной оценки сельскохозяйственных угодий приведена в табл. 3.

Таблица 3  
Table 3

Рентный и совокупный доход с пахотных и пастбищных угодий, тыс. руб.  
Total income and Rental income from grain-sown areas and natural fodder lands, thousand rubles

Районы	Рентный доход		Совокупный доход
	пашня	пастбища	
Бичурский	54 522,54	30 425,64	84 948,18
Джидинский	22871,69	2208,40	25 080,09
Еравнинский	6319,59	24 858,50	31 178,09
Заиграевский	5041,97	4411,71	9453,68
Закаменский	–	13 200,80	13 200,80
Иволгинский	–	10 455,20	10 455,20
Кабанский	19 824,01	2508,48	22 332,49
Кяхтинский	7087,81	30 469,46	37 557,27
Мухоршибирский	37 468,34	12 716,82	50 185,16
Прибайкальский	4376,31	276,76	4653,07
Селенгинский	8679,95	18 534,57	27 214,52
Тарбагатайский	29297,43	31 217,99	60 515,42
Хоринский	236,69	31 290,16	31 526,85

Прочерк – явление отсутствует



Отсутствие ренты при выращивании пшеницы и овса свидетельствует о нецелесообразности возделывания этих культур [Екимовская, 2016; Екимовская и др., 2019]. Экономически более выгодным является увеличение посевных площадей ячменя, приносящего рентный доход, или перевод пахотного земельного участка в более низкую категорию пригодности, например, под сенокос. При расчете рентного дохода с пастбищных угодий конечной продукцией было принято мясо КРС. Это обусловлено специализацией животноводства, абсолютным преобладанием в структуре стада КРС мясного направления, а также значительной долей мяса КРС на убой в структуре продукции животноводства. Рентный доход с пастбищных угодий имеют все районы исследуемой территории (см. табл. 3). Наибольшие показатели абсолютного рентного дохода имеют скотоводческие районы, специализирующиеся на выращивании КРС мясного направления. Это Селенгинский, Кяхтинский и Хоринский районы. Рентная оценка пахотных угодий, геоботанические и агрохимические исследования показали, что использование заброшенных пашен в качестве естественных кормовых угодий следует признать экономически эффективным в сложившихся социально-экономических условиях республики.

### Заключение

Несмотря на хорошее и удовлетворительное плодородие почв, необходимо исключить использование постаграрных ландшафтов на аллювиальных агрогумусовых почвах в качестве пашни. Рекомендуются снижение пастбищной нагрузки и вывод на время (до 10–15 лет) участков из интенсивного пастбищного оборота. Необходим регулируемый пастбищный режим, возможно с искусственным подсевом семян видов растений по экологии (и районированию) близких к природным условиям региона исследования. Для растительности ландшафтов надпойменных террас, используемых под сенокосы, необходимо учитывать сроки плодоношения основной части (доминантов-злаков) видового состава растений в целях сохранения потенциала стабильной продуктивности пастбищных и сенокосных угодий. Установлено:

- постаграрные ландшафты имеют низкий восстановительный потенциал растительности (длительный этап восстановительных сукцессий) на фоне специфики физико-географических условий района исследований и региона в целом.
- агрохимические и агрофизические свойства почв находятся в удовлетворительном и хорошем состоянии.

Необходим регулируемый режим использования естественных кормовых угодий, с подсевом семян растений, близких по видовому составу, экологии и районированию к природным условиям Юго-Западного Забайкалья.

На участках надпойменных речных террас с повышенным увлажнением, используемых под сенокосы, рекомендуется учитывать сроки плодоношения основной части видового состава растений, формирующих фитоценозы. Распашка данных участков не рекомендуется.

При необходимости сельскохозяйственного использования почв некоторых площадок рекомендуется провести комплекс агрономических мероприятий: рыхление, внесение извести в случае слабокислых почв, внесение калийных или комплексных минеральных удобрений. Почвы с низким уровнем плодородия и легким гранулометрическим составом не рекомендуется распахать.

Для продуктивности стойлово-пастбищного животноводства необходимо усиление полевого и лугопастбищного кормопроизводства. Это требует восстановления системы мелиорации и удобрения сенокосов, создания новых многолетних культурных пастбищ. Учитывая незначительные площади естественных сенокосов, оптимально частичное использование пашни для производства сена однолетних и многолетних трав.

Как показали ранее проведённые исследования, малая доходность при выращивании пшеницы и овса свидетельствует о нецелесообразности выращивания этих зерновых культур. Более выгодным представляется выращивание ячменя для нужд отраслей животноводства.

### Список литературы

- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М., Изд-во Московского университета, 487 с.
- Бойков Т.Г., Убугунов Л.Л., Харитонов Ю.Д., Петрович П.И., Пыхалова Т.Д., Сэкулич И.Р. 1995. Продуктивность, структура и качественный состав травостоя деградированных пойменных остепнённых лугов бассейна р. Селенга в зависимости от агромелиоративного воздействия. *Агрехимия*, 1: 30–42.
- Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д. 1959. Краткое руководство по геоботаническим съёмкам. М., Изд-во Московского университета, 166 с.
- Дамбиев Э.Ц. 2000. Степные ландшафты Бурятии. Улан-Удэ, Изд-во БГУ, 198 с.
- Екимовская О.А. 2016. Агрогеографический анализ использования сельскохозяйственных угодий в бассейне реки Селенги. *Известия Русского географического общества*, 148 (4): 53–64.
- Екимовская О.А., Белозерцева И.А., Гриценюк А.П. 2019. Экономико-географические аспекты формирования системы сельскохозяйственного землепользования Республики Бурятия. *География и природные ресурсы*, 55(159): 139–146. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-5(139-146).
- Звягинцев Д.Г. 1978. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. *Почвоведение*, 6: 48–54.
- Лавренко Е.М., Карамышева З.В., Никулина Р.И. 1991. Степи Евразии. Л., Наука, 146 с.
- Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Яковлев А.С., Булгаков Д.С., Макаров О.А. 2015. Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель. *Почвоведение*, 11: 1394–1406. DOI: 10.7868/S0032180X15110118.
- Пешкова Г.А. 1974. Степи юго-западного и юго-восточного Забайкалья, их сходство и различия. *Известия СО АН СССР*, 1: 15–19.
- Пешкова Г.А. 1985. Растительность Сибири. Предбайкалье и Забайкалье. Новосибирск, Наука, 145 с.
- Пешкова Г.А. 2001. Флорогенетический анализ степной флоры гор Южной Сибири. Новосибирск, Наука, 192 с.
- Решиков М.А. 1958. Краткий очерк растительности Бурят-Монгольской АССР. Улан-Удэ, Бурятское книжное издательство, 94 с.
- Решиков М.А. 1961. Степи Западного Забайкалья. М., Наука, 174 с.
- Фадеева Н.А. 1963. Селенгинское среднегорье. Природные условия и районирование. Улан-Удэ, Бурятское книжное издательство, 170 с.
- Убугунов Л.Л., Гынинова А.Б., Белозерцева И.А., Доржготов Д.Д., Убугунова В.И., Сороковой А.А., Убугунов В.Л., Бадмаев Н.Б., Балсанова Л.Д., Гончиков Б.Н. 2018. Географические закономерности распределения почв на водосборной территории оз. Байкал. *Природа Внутренней Азии*, 2(7): 7–26. DOI: 10.18101/2542-0623-2018-2-7-26.
- Убугунова В.И., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М., Балабко П.Н. 1998. Аллювиальные почвы речных долин бассейна Селенги. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 254 с.
- Цыбжитов Ц.Х., Цибиждоржиев Ц.Ц., Цыбжитов А.Ц. 1999. Почвы бассейна озера Байкал. Новосибирск, Наука, 128 с.
- Ekimovskaya O.A., Beshentsev A.N. 2012. Economic Geographical Characteristics the Development of Economic Entities Owned by the Population of the Republic of Buryatia. *Geography and Natural Resources*, 33(2): 149–157. DOI: 10.1134/S1875372812020084.
- Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.I., Karavanova E.I. 2021. The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga during the Postagrogenic Evolution. *Eurasian Soil Science*, 54: 337–351. DOI: 10.1134/S1064229321030108.



Wang Y., Xue D., Kuzyakov Y., Wang Z.-L., Hu N., Lou Y., Zhang Q., Zhang L., Zhu P., Gao H., Zhang S., Zhang H., Li D., Song Z., Kurganova I. 2021. Post-Agricultural Restoration Of Soil Organic Carbon Pools Across a Climate Gradient. *Catena*, 200: 105138. DOI: 10.1016/j.catena.2020.105138.

### Reference

- Arinushkina E.V. 1970. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv [Soil Chemical Analysis Guide]. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta, 487 p.
- Bojkov T.G., Ubugunov L.L., Haritonov Ju.D., Petrovich P.I., Pyhalova T.D., Sjekulich I.R. 1995. Produktivnost', struktura i kachestvennyj sostav travostoja degradi-rovannyh pojmennyh ostepnennyh lugov bassejna r. Selenga v zavisimosti ot ag-romeliorativnogo vozdejstvija [Productivity, structure and qualitative composition of the herbage of degraded floodplain steppe meadows of the river basin. Selenga River Depending on Agroreclamation Impact]. *Agrohimiya*, 1: 30–42.
- Viktorov S.V., Vostokova E.A., Vyshivkin D.D. 1959. Kratkoe rukovodstvo po geobo-tanicheskim shemkam [Quick Guide to Geobotanical Surveys]. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta, 166 p.
- Dambiev Je.C. 2000. Stepnye landshafty Burjatii [Steppe landscapes of Buryatia]. Ulan-Udje, Publ. BGU, 198 p.
- Ekimovskaya O.A. 2016. Agro-Geographical Analysis of Agricultural Land Use in Selenga River Basin. *Izvestija Russkogo geograficheskogo ob-shhestva*, 148 (4): 53–64 (in Russian).
- Ekimovskaya O.A., Belozertseva I.A., Gricenyuk A.P. 2019. Economic-Geographical Aspects of Agricultural Land Use within the Republic of Buryatia. *Geography and Natural Resources*, 55(159): 139–146 (in Russian). DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-5(139-146).
- Zvjagincev D.G. 1978. Biologicheskaja aktivnost' pochv i shkaly dlja ocenki nekotoryh ee pokazatelej [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators]. *Pochvovedenie*, 6: 48–54.
- Lavrenko E.M., Karamysheva Z.V., Nikulina R.I. 1991. Stepi Evrazii [Steppes of Eurasia]. Leningrad, Publ. Nauka, 146 p.
- Molchanov E.N., Savin I.Y., Yakovlev A.S., Bulgakov D.S., Makarov O.A. 2015. National Approaches to Evaluation of the Degree of Soil Degradation. *Eurasian Soil Science*, 48(11): 1268–1277. DOI: 10.1134/S1064229315110113.
- Peshkova G.A. 1974. Stepi jugo-zapadnogo i jugo-vostochnogo Zabajkal'ja, ih shodstvo i raz-lichija [Steppes of southwestern and southeastern Transbaikalia, their similarities and differences]. *Izvestiya SO AN SSSR*, 1: 15–19.
- Peshkova G.A. 1985. Rastitel'nost' Sibiri. Predbajkal'e i Zabajkal'e [Vegetation of Siberia. Cisbaikalia and Transbaikalia]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 145 p.
- Peshkova G.A. 2001. Florogeneticheskij analiz stepnoj flory gor Juzhnoj Sibiri [Florogenetic analysis of the steppe flora of the mountains of Southern Siberia]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 192 p.
- Reshnikov M.A. 1958. Kratkij ocherk rastitel'nosti Burjat-Mongol'skoj ASSR [A brief outline of the vegetation of the Buryat-Mongolian ASSR]. Ulan-Udje, Publ. Burjatskoe knizhnoe izdatelstvo, 94 p.
- Reshnikov M.A. 1961. Stepi Zapadnogo Zabajkal'ja [Steppes of Western Transbaikalia]. Moscow, Publ. Nauka, 174 p.
- Fadeeva N.A. 1963. Selenginskoe srednegor'e. Prirodnye uslovija i rajonirovanie [Selenginsky middle mountains. Natural conditions and zoning]. Ulan-Udje, Burjatskoe knizhnoe izdatelstvo, 170 p.
- Ubugunov L.L., Gyninova A.B., Belozertseva I.A., Dorzhgotov D.D., Ubugunova V.I., Sorokovoj A.A., Ubugunov V.L., Badmaev N.B., Balsanova L.D., Gonchikov B.N. 2018. Geographical Patterns of Soil Distribution within the Watersheds of Baikal (as Applied to the Map "The Soils of Baikal Basin"). *Nature of Inner Asia*, 2(7): 7–26 (in Russian). DOI: 10.18101/2542-0623-2018-2-7-26.
- Ubugunova V.I., Ubugunov L.L., Korsunov V.M., Balabko P.N. 1998. Alljuvial'nye pochvy rechnyh dolin bassejna Selengi [Alluvial soils of the river valleys of the Selenga basin]. Ulan-Ude, Publ. BNC SO RAN, 254 p.
- Cybzhitov C.H., Cibikdorzhiev C.C., Cybzhitov A.C. 1999. Pochvy bassejna ozera Bajkal [Soils of the Baikal Basin]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 128 p.



- Ekimovskaya O.A., Beshentsev A.N. 2012. Economic Geographical Characteristics the Development of Economic Entities Owned by the Population of the Republic of Buryatia. *Geography and Natural Resources*, 33(2): 149–157. DOI: 10.1134/S1875372812020084.
- Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.I., Karavanova E.I. 2021. The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga during the Postagrogenic Evolution. *Eurasian Soil Science*, 54: 337–351. DOI: 10.1134/S1064229321030108.
- Wang Y., Xue D., Kuzyakov Y., Wang Z.-L., Hu N., Lou Y., Zhang Q., Zhang L., Zhu P., Gao H., Zhang S., Zhang H., Li D., Song Z., Kurganova I. 2021. Post-Agricultural Restoration Of Soil Organic Carbon Pools Across a Climate Gradient. *Catena*, 200: 105138. DOI: 10.1016/j.catena.2020.105138.

*Поступила в редакцию 12.04.2022;  
поступила после рецензирования 04.05.2022;  
принята к публикации 03.06.2022*

*Received April 12, 2022;  
Revised May 04, 2022;  
Accepted June 03, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.  
**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Екимовская Ольга Афанасьевна**, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геоэкологии, Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

**Белозерцева Ирина Александровна**, кандидат географических наук, заведующая лабораторией геохимии ландшафтов и географии почв, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Olga A. Yekimovskaya**, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, Laboratory of Geoecology, Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia

**Irina A. Belosertseva**, candidate of geographical sciences, head. Laboratory of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils of the Institute of Geography. V.B. Sochavy SB RAS, Irkutsk, Russia



УДК 504.53.054  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-448-462

## Интегральная оценка загрязнения почв при реконструкции аэродрома

<sup>1</sup> Лазарев И.С., <sup>1</sup> Кочетова Ж.Ю., <sup>2</sup> Маслова Н.В., <sup>1</sup> Терентьев В.В.

<sup>1</sup> ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,  
Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Россия, 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19

E-mail: lazarev-ilya@list.ru, zk\_vva@mail.ru, maslovanatvl@mail.ru

**Аннотация.** Воздействие авиационных комплексов на загрязнение объектов окружающей среды изучено достаточно хорошо. Однако в литературе отсутствуют сведения о влиянии реконструкции аэродромов и аэропортов на загрязнение депонирующих сред прилегающих к ним территорий. Расширение и удлинение взлетно-посадочных полос, перестройка складов горюче-смазочных материалов, топлиохранилищ связаны с перемещением огромных масс десятилетиями загрязняющегося грунта, мелкие частицы которого атмосферным воздухом переносятся на несколько километров и оседают на территориях селитебных, рекреационных зон, сельскохозяйственных угодий. Цель работы – исследование динамики интегрального загрязнения почв в период реконструкции аэродрома. В работе также затрагивается аспект объективности оценки химического загрязнения почв по стандартным показателям, рассчитанным с учетом коэффициентов опасности и концентрации индивидуальных загрязнителей. Установлено, что в период реконструкции аэродрома экологическая ситуация на прилегающих к аэродрому территориях на расстоянии 4 км ухудшилась от допустимого до высоко опасного ранга. За время трехлетнего периода релаксации природной системы этот показатель снизился до умеренно опасного. Даны краткие рекомендации по использованию земель, прилегающих к авиационным комплексам в период их реконструкции. Опыт исследования влияния реконструкции типового аэродрома в г. Воронеж на загрязнение почв прилегающих территорий может быть полезен при проведении подобных мероприятий во всей стране.

**Ключевые слова:** суммарный показатель загрязнения, условно-естественный фон, реконструкция аэродрома, нефтепродукты, формальдегид, нитраты, тяжелые металлы, Воронеж

**Для цитирования:** Лазарев И.С., Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Терентьев В.В. 2022. Интегральная оценка загрязнения почв при реконструкции аэродрома. Региональные геосистемы, 46(3): 448–462. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-448-462

---

## Integral Assessment of Soil Pollution During Airfield Reconstruction

<sup>1</sup> Ilya S. Lazarev, <sup>1</sup> Zhanna Yu. Kochetova, <sup>2</sup> Natal'ya V. Maslova, <sup>1</sup> Vladislav V. Terent'yev

<sup>1</sup> Military Educational and Scientific Center Air Force  
«N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»,  
54A Starykh Bol'shevikov St, Voronezh 494064, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies,  
19 Prospekt Revolyutsii, Voronezh 394036, Russia

E-mail: lazarev-ilya@list.ru, zk\_vva@mail.ru, maslovanatvl@mail.ru

**Abstract.** The impact of aviation complexes on the pollution of environmental objects has been studied quite well. However, there is no information in the literature about the impact of the reconstruction of airfields and airports on the pollution of the depositing media of the territories adjacent to them. The

expansion and lengthening of runways, the restructuring of fuel and lubricants warehouses, fuel storage facilities are associated with the movement of huge masses of polluted soil for decades, small particles of which are transported by atmospheric air for several kilometers and settle on the territories of residential, recreational zones, agricultural lands. The purpose of the work is to study the dynamics of integral soil pollution during the reconstruction of the airfield. The paper also touches upon the aspect of the objectivity of the assessment of chemical contamination of soils according to standard indicators calculated taking into account the hazard coefficients and the concentration of individual pollutants. It was found that during the reconstruction of the airfield, the environmental situation in the territories adjacent to the airfield at a distance of 4 km deteriorated from an acceptable to a highly dangerous rank. During the three-year period of relaxation of the natural system, this indicator has decreased to moderately dangerous. Brief recommendations are given on the use of the lands adjacent to the aviation complexes during their reconstruction. The experience of studying the impact of the reconstruction of a typical airfield in Voronezh on soil pollution of adjacent territories can be useful when conducting similar events throughout the country.

**Keywords:** total pollution index, conditionally natural background, airfield reconstruction, petroleum products, formaldehyde, nitrates, heavy metals, Voronezh

**For citation:** Lazarev I.S., Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Terent'yev V.V. 2022. Integral Assessment of Soil Pollution During Airfield Reconstruction. *Regional geosystems*, 46(3): 448–462 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-448-462

## Введение

В соответствии с законодательством РФ, с целью рационального использования природных ресурсов, обеспечения безопасности полетов и экологической безопасности производственной деятельности «вновь строящиеся аэродромы (вертолетодромы) необходимо размещать за пределами городов и населенных пунктов» [СНиП 32-03-96, 1996; Воздушный кодекс..., 1997]. Большинство аэродромов было построено в военные и послевоенные годы, а к настоящему времени неизбежная урбанизация привела к слиянию аэродромных комплексов и городов [Кочетова и др., 2022].

Негативное воздействие эксплуатируемых в штатном режиме объектов авиационной деятельности на экологическую ситуацию в близлежащих населенных пунктах хорошо изучено: установлены приоритетные загрязнители, построены модели их распространения в объектах окружающей среды, выделены эколого-обусловленные заболевания [Клепиков и др., 2019; Лазарев и др., 2019; Кочетова и др., 2020]. Однако в литературе отсутствуют сведения об экспериментальных исследованиях воздействия реконструкции и строительства аэродромов на загрязнение окружающей среды. Вместе с тем, этот вопрос приобретает особую актуальность, так как возникла необходимость модернизации существующих и строительства новых аэродромных комплексов. До 2035 года запланированы реконструкция 179 аэродромных комплексов государственной и гражданской авиации; строительство новых аэропортов на полуострове Гыдан в Ямало-Ненецком АО, в Омске, Сыктывкаре, на островах Парамушир и Шикотан [Транспортная стратегия..., 2021]. При реконструкции аэродромных комплексов, расширении и удлинении взлетно-посадочных полос (ВПП), перестройке складов горюче-смазочных материалов (ГСМ), топливозохранилищ перемещают тонны загрязненных десятилетиями грунтов. Адсорбированные на частицах пыли загрязняющие вещества и пары нефтепродуктов переносятся атмосферным воздухом на несколько километров и накапливаются в поверхностном слое почв [Романов, 2006].

Цель работы – исследование результатов многолетнего мониторинга почв приаэродромной территории в периоды штатного режима эксплуатации аэродрома государственной авиации, его реконструкции и некоторого времени релаксации экологической системы. В работе также затрагивается аспект объективности оценки экологической ситуации по суммарному показателю загрязнения почв.



### Объекты и методы исследования

Примером влияния реконструкции аэродрома государственной авиации на экологическую ситуацию прилегающих территорий является динамика загрязнения почв в Советском районе г. Воронеж, где расположен аэродром «Балтимор». Аэродром функционирует с 1956 года. До этого он действовал в качестве базы «подскока» с грунтовой ВПП. Наибольшее относительное превышение местности на территории аэродрома (+ 120 м) находится в районе Нижнедевицка. На южной и юго-западной окраинах аэродрома в 300 м от ВПП расположен лес с превышением рельефа до 30 м. Севернее, северо-восточнее и восточнее аэродрома находятся дачные поселки «Сады», сельскохозяйственные угодья, жилые и офисные здания, предприятия. Ориентация полосы, построенной с учетом городской застройки, соответствует преобладающему направлению ветра по месяцам и сезонам года, что существенно облегчает взлет и посадку летательных аппаратов [Кочетова и др., 2022]. Полк, дислоцирующийся на аэродроме, стал первым линейным полком ВКС России, перевооруженным на фронтальные бомбардировщики Су-34, получив в 2011–2013 гг. 24 самолета этого типа [Балтимор, 2022].

С 2013 года на территории аэродрома началась реконструкция, связанная с перемещением колоссальных объемов грунта при расширении и удлинении ВПП, замене 60-тонной подземной цистерны для хранения топлива, при этом было задействовано большое количество специальной техники, что не могло не сказаться на экологической ситуации прилегающих территорий.

Исследование загрязнения почв на приаэродромных территориях проводили в период с 2007 по 2019 гг., который охватывает время штатного режима работы аэродрома, активной полетной деятельности и его реконструкции, а также некоторое время после окончания основных строительных работ. Для определения условно-естественного геохимического фона проводили отбор проб почв в точке 1, расположенной в санатории им. Горького на расстоянии 13,6 км от контрольной точки аэродрома (КТА – геометрический центр взлетно-посадочной полосы). В соответствии с преобладающими ветрами выбраны следующие точки пробоотбора в юго-восточном направлении от КТА: 2 – территория дачного пос. «Сады» (2,7 км); 3 – земли сельскохозяйственного назначения (3,5 км); 4 – пос. Малышево (8,4 км). Точка пробоотбора 5 находится в пос. Тепличный, который расположен под глиссadou западнее КТА на 4,4 км. Карта-схема точек пробоотбора почв и среднегодовая роза ветров для исследуемого района представлены на рис. 1.



1–5 – точки отбора проб

Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб почв и среднегодовая роза ветров  
Fig. 1. Map diagram of soil sampling points and the average annual wind rose

Классификация территории по сельскохозяйственному, рекреационному и селитебному назначению требует комплексного подхода для оценки качества почв. Исследуемый район г. Воронеж характеризуется высоким разнообразием почвенного покрова. Его основной фон создает чернозем выщелоченный малогумусный суглинистый, чередующийся с крупными массивами темно-серых и светло-серых лесостепных почв суглинистого, супесчаного и песчаного гранулометрического состава. Отдельными небольшими участками встречается чернозем типичный [Адерихин, 1963]. Прямое и косвенное влияние деятельности человека на все почвенные процессы урбанизированных территорий города указано в работах, проведенных на базе Воронежского государственного университета [Ахтырцев, 2006; Косинова и др., 2007].

Разнообразие природных почв и различное их антропогенное преобразование диктует необходимость изучения свойств почв в каждой точке отбора проб. На территории поселков Тепличный и Малышево почвы классифицированы как суглинки; в дачном поселке Сады и на территории сельскохозяйственных угодий – чернозем типичный. Гранулометрический состав исследуемых почв существенно отличается. Для селитебной территории (точки пробоотбора 4, 5) характерно неравномерное распределение среднезернистого песка, встречаются осколки битого кирпича и гравий. Приповерхностный исследуемый слой глубиной до 20 см на 76 % состоит из частиц размером 0,25–0,05 мм. В черноземе (точки пробоотбора 2, 3) наблюдаются близкие значения содержания разных фракций до глубины 20 см; незначительно преобладают частицы, называемые по классификации Н.А. Качинского мелкой пылью (35,1 % частиц с размером 0,01–0,005 мм) [Вадюнина, Корчагина, 1986].

Показатель кислотности ( $pH_{KCl}$ ) исследуемых почв на протяжении многолетнего мониторинга изменялся от слабо кислого до слабо щелочного [Кочетова, Внукова и др., 2019]. Максимальное повышение  $pH_{KCl}$  почв наблюдалось в пос. Сады с 2013 года, что связано с началом интенсивных строительных работ на аэродроме. Щелочной сдвиг реакции среды чернозема ( $pH_{KClmax} = 7,6$ ) обусловлен распространением строительной пыли, содержащей карбонаты кальция и магния; повышением концентрации солей тяжелых металлов и их оксидов при усиленной работе грузового автотранспорта и строительного оборудования.

В сертифицированной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области» получено содержание в почвах приоритетных загрязнителей объектов авиационной деятельности – свинца (Pb), цинка (Zn), никеля (Ni), марганца (Mn), меди (Cu), кадмия (Cd), нефтепродуктов (НП), нитратов и нитритов суммарно ( $NO_3^-$  и  $NO_2^-$ ), формальдегида (ФА). Приоритетность загрязнителей почв, находящихся под негативным экологическим воздействием аэродромов, установлена ранее на основании литературных данных и собственных многолетних исследований [Кочетова и др., 2022].

Металлы в почвах определены на атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-Z-ЭТА-1» в соответствии с методикой, приведенной в [М-МВИ-80-2008, 2008]. Метод атомно-абсорбционной спектрометрии является арбитражным при определении металлов в почвах; он позволяет с высокой точностью определять в растворах до 80 элементов в малых концентрациях.

Анализ нитратов и нитритов в объектах окружающей среды выполнен на спектрофотометре «Юнико 1201» в соответствии с [ГОСТ 53219-2008, 2008]. Соединения азота извлечены из анализируемых проб почв раствором хлорида кальция; после двухчасовой экстракции раствор был центрифугирован для извлечения различных фракций азота. Обычно в грунтах количество нитритов пренебрежительно мало, поэтому сумма нитратов и нитритов считается соответствующей содержанию в грунтах нитратов.

Формальдегид в почвах установлен с помощью фотометрического метода в соответствии с методикой [ПНД Ф 16.1:2.3:3.45.05, 2005], которая основана на извлечении формальдегида из образца перегонкой с водяным паром в сильноокислой среде и



определении при содержании в отгоне фотометрическим методом по цветной реакции с хромотроповой кислотой при длине волны 570 нм.

Нефтепродукты в почвах определялись арбитражным методом гравиметрии [ПНД Ф 16.1.41-04, 2004]. Нефтеуглеводороды экстрагировали из воздушно-сухой пробы почв хлороформом, отделяли от полярных соединений на хроматографической колонке после замены растворителя на гексан. В последние годы нефтепродукты в почвах определяли ИК-спектрометрическим методом с использованием концентратомера АН-2 [ПНД Ф 16.1:2.2.22-98, 2005].

По результатам исследований была проведена гигиеническая оценка загрязнения почв по каждому химическому веществу в соответствии с санитарными правилами [СанПиН 1.2.3685-21, 2021]. При этом приняты во внимание класс опасности и предельно/ориентировочно допустимые концентрации (ПДК/ОДК) загрязнителей; кратность превышения фактической концентрации вещества в почве  $C_i$  предельно допустимой концентрации (коэффициент опасности  $K_{oi} = C_i / \text{ПДК}_i$  или  $K_{oi} = C_i / \text{ОДК}_i$ ); кратность превышения  $C_i$  фоновой концентрации  $C_{\text{фон}i}$  (коэффициент концентрации  $K_{ki} = C_i / C_{\text{фон}i}$ ), максимальное значение допустимого уровня содержания элемента ( $K_{\text{max}}$ ) по одному из четырех показателей вредности (при наличии для валовых форм загрязнителей почв). Критерии степени загрязнения почв индивидуальными органическими и неорганическими веществами представлены в табл. 1. Оценку уровня загрязнения почв в данном случае проводят по наиболее токсичному элементу с максимальным содержанием в почве.

Таблица 1  
Table 1

Ранги уровня загрязнения почв индивидуальными веществами  
Grades of the degree of soil contamination by individual substances

Неорганические вещества	Органические вещества	Класс опасности		
		1	2	3
$> K_{\text{max}}$	$> 5\text{ПДК}$	Очень сильный		Сильный
$\text{ПДК} - K_{\text{max}}$	$2\text{ПДК} - 5\text{ПДК}$	Очень сильный	Сильный	Средний
$2C_{\text{фон}} - \text{ПДК}$	$\text{ПДК} - 2\text{ПДК}$	Слабый		

Суммарный показатель загрязнения почв  $Z$  рассчитывается с учетом коэффициентов концентрации загрязняющих веществ и числа загрязнителей  $n$ , концентрации которых превышают  $C_{\text{фон}i}$  по формуле (1) [СанПиН 1.2.3685-21, 2021]:

$$Z = \left( \sum_{i=1}^n C_i / C_{\text{фон}i} \right) - (n - 1). \quad (1)$$

В зависимости от величины  $Z$  устанавливаются следующие ранги загрязнения почв: допустимый ( $Z \leq 16$ ); умеренно опасный ( $Z = 16-32$ ); опасный ( $Z = 32-128$ ); чрезвычайно опасный ( $Z \geq 128$ ).

Условно-естественная фоновая концентрация исследуемых веществ рассчитывается по данным мониторинга почв в точке пробоотбора 1 в соответствии с общей формулой (2) [Об утверждении..., 2007]:

$$C_{\text{ф}i} = C_{\text{ср}i} + (\sigma_i \cdot t_{st}) / \sqrt{n}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{ср}i}$  – средняя концентрация  $i$ -того вещества в точке отбора проб 1, мг/кг;  $\sigma_i$  – среднее квадратичное отклонение концентрации;  $t_{st}$  – коэффициент Стьюдента при  $P = 0,95$ ;  $n$  – число измерений концентрации  $i$ -того вещества.

Предельно или ориентировочно допустимые значения концентраций исследуемых веществ и классы их опасности представлены в табл. 2 [СанПиН 1.2.3685-21, 2021]. В новых санитарных правилах и нормах указаны ориентировочно допустимые концентрации загрязнителей в валовой форме не для всех типов почв. Для оценки динамики загрязнения почв по лимитирующему показателю были использованы значения ПДК/ОДК для валовых форм загрязнителей почв, близких к нейтральным (суглинистые и глинистые) с  $pH_{KCl} > 5,5$ .

Таблица 2  
Table 2Гигиенические характеристики исследуемых загрязнителей почвы  
Maximum permissible concentrations of the studied soil pollutants

Загрязнитель	Pb	Zn	Ni	Mn	Cu	Cd	НП*	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ФА
ПДК/ОДК, мг/кг	130	220	80	1500	132	2,0	50; 100	130	7,0
Класс опасности	2	1	2	3	2	1	3	3	2

\* ПДК для почв сельскохозяйственного назначения; дачных поселков и селитебных зон соответственно

В указанных нормативных документах приведено значение ПДК только для бензина, использование которого при оценке загрязнения почв приаэродромных территорий некорректно. Головным нефтеуглеводородным загрязнителем почв здесь является керосин, в значительном количестве выбрасываемый при работе авиационных двигателей в форсажном режиме (при взлете-посадке самолетов); переносимый воздушным путем от топливозаправочных станций, мест перекачки и заправки при несоблюдении правил хранения и авариях; десятилетиями фильтрующийся в грунтах, концентрирующийся на геохимических барьерах, образующий топливные линзы огромных масштабов [Лазарев и др., 2019; Кочетова и др., 2022]. В то же время нельзя не учитывать загрязнение селитебной и рекреационной зон бензином – наиболее распространенным нефтепродуктом, содержащимся в почвах урбанизированных территорий. Для объективной оценки загрязнения почв нефтепродуктами необходимо учитывать содержание бензина и керосина совместно. Однако допустимая концентрация НП в почве на биологически безопасном уровне не установлена «из-за сложного и непостоянного состава нефти и вряд ли будет установлена однозначно» [Околелова и др., 2019]. В различных почвенно-климатических условиях концентрация нефтепродуктов в почвах, при которых их можно считать загрязненными, различна. Она зависит от природных условий, способности типа почв к самоочищению, от вида и скорости распада нефтепродуктов, типа землепользования, растительности. Предлагаемые ОДК для НП в различных российских и зарубежных источниках варьируются от нескольких единиц до 10 тыс. мг/кг, причем данные часто противоречат друг другу, что отмечено в обзорах [Другов, Родин, 2000; Околелова и др., 2019]. В диссертационной работе Джамбетовой П.М. доказано, что содержание нефтепродуктов в почвах уже на уровне  $45 \cdot 10^{-3}$  мг/кг оказывает токсичное и мутагенное воздействие на растения и организм человека [Джамбетова, 2014].

В данной работе использовали значение ПДК нефтепродуктов в почвах, установленное белорусскими учеными экспериментальным путем по наиболее значимым критериям вредности для земель различного целевого назначения [Рубин и др., 2013].



### Результаты и их обсуждение

Уровень загрязнения почв в точке пробоотбора 1 на протяжении всего периода исследований незначительно повышался, в большей степени из-за роста концентрации нитратного азота и нефтепродуктов. Поэтому для расчета условно-естественных фоновых концентраций загрязняющих веществ использовали результаты анализа почв с 2007 по 2015 гг., исключая аномально высокие или низкие значения. Среднеквадратичное отклонение от рассчитанных значений  $C_{фон}$  не превышает 30 %, что свидетельствует об удовлетворительной достоверности результатов (табл. 3).

Таблица 3  
Table 3

Условно-естественные фоновые концентрации исследуемых загрязнителей почв ( $P = 0,95; t_{st} = 2$ )  
Conditionally natural background concentrations of the studied soil pollutants ( $P = 0,95; t_{st} = 2$ )

Загрязняющие вещества	Среднее значение концентрации $C_{ср}$ , мг/кг	Средне-квадратичное отклонение, $\sigma$	Длина выборки, $n$	Условно-естественный фон $C_{фон}$ , мг/кг
Pb	5,12	1,60	30	5,70
Zn	15,3	2,8	34	16,3
Ni	5,58	1,43	34	6,10
Mn	71,1	13,5	32	76,4
Cu	6,19	1,93	33	6,84
Cd	0,220	0,071	30	0,240
НП	46,5	9,3	32	49,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,12	0,44	31	3,28
ФА	0,250	0,0060	30	0,250

Известны случаи, когда фоновые концентрации металлов превышают установленные нормативы. Примером может служить содержание меди в почвах Ростовской области [Назаренко, Минкина, 1994]; ванадия, кадмия, хрома – на большей части южных территорий России [Дабахов и др., 2005]. Полученные значения условно-естественных фоновых концентраций загрязняющих веществ на исследуемой территории меньше установленных нормативов, в том числе, в ~ 2 раза – для нефтепродуктов (земли сельскохозяйственного назначения), ~ 8 раз – кадмия; ~ 13 раз – цинка и никеля, ~ 19 раз – марганца и меди, ~ 28 раз – формальдегида, ~ 40 раз – нитратов.

Анализ загрязнения почв индивидуальными веществами показал, что на протяжении всего периода исследований ни в одной из контрольных точек концентрации исследуемых загрязнителей не превышали установленных нормативов, за исключением нефтепродуктов. Максимальный  $K_{онп} = 10,8$  зафиксирован в дачном поселке сады в 2014 г. На территории сельскохозяйственных угодий коэффициент опасности загрязнения почв составлял  $K_{онп} = 10$ .

Нефтепродукты – лимитирующий загрязнитель почв на приаэродромной территории. Они являются смесью органических соединений, относящейся к веществам 3 класса опасности. В соответствии с таблицей 1, уровень загрязнения почв во всех контрольных точках до 2014 г. можно классифицировать как «слабый»; в период реконструкции аэродрома уровень загрязнения почв ухудшился до «среднего», а на территориях дачного поселка Сады и сельскохозяйственных угодий – до «сильного».

С 2013 г. экологическая ситуация ухудшилась в контрольных точках 2–4. Зафиксировано превышение ПДК большинства исследуемых веществ, кроме Mn, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. На территории пос. Малышево (Т5), расположенного в 8,4 км от КТА, уровень загрязнения почв изменялся незначительно и разнонаправлено. Это свидетельствует об отсутствии воздей-

ствия реконструкции аэродрома на экологическую ситуацию территорий, расположенных от источника загрязнения на таком расстоянии. Максимальное превышение предельно допустимых концентраций металлов 1 класса опасности (Zn и Cd) установлено в 2014–2015 гг. на территориях пос. Тепличный и сельскохозяйственных угодий (в 1,5 и 2,3 раза соответственно). По лимитирующему загрязняющему веществу (Cd) уровень загрязнения почв соответствует рангу «очень сильный». В пос. Сады концентрации Zn и Cd не превышали ПДК, но уровень загрязнения почв соответствует рангу «очень сильный». К 2019 г. концентрации лимитирующих загрязнителей в почвах снизились более, чем в 2 раза, и на сегодняшний день экологическая ситуация соответствует норме («слабый» уровень загрязнения почв). К 2019 г. концентрации лимитирующего загрязнителя в почвах снизились в 1,5–3 раза, и на сегодняшний день экологическая ситуация соответствует норме («слабый» и «средний» уровень загрязнения почв). В качестве примера на рис. 2 представлены результаты расчета коэффициентов опасности исследуемых загрязнителей почв селитебной зоны (точка пробоотбора 5) для наиболее показательных годов мониторинга.

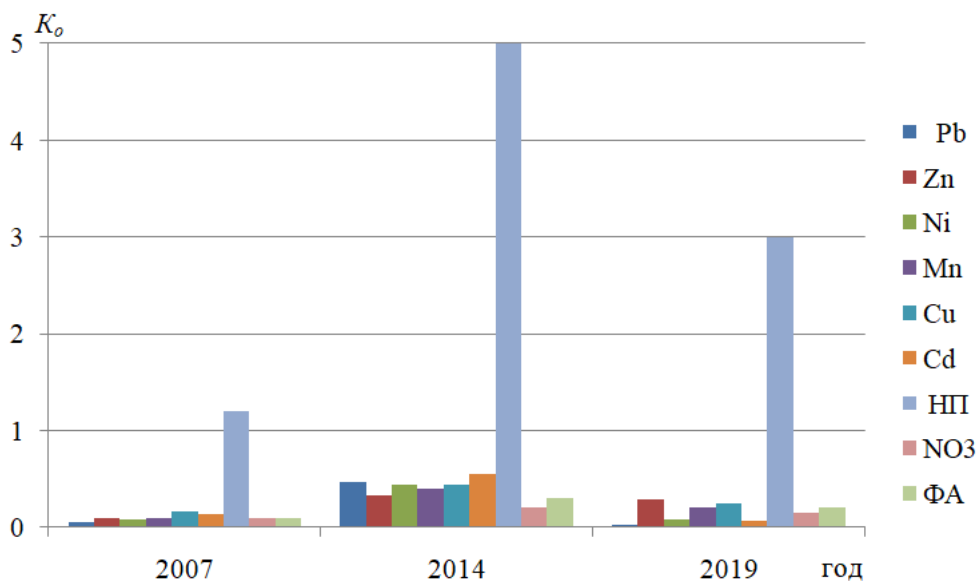


Рис. 2. Динамика коэффициентов опасности загрязнения почв индивидуальными веществами  
Fig. 2. Dynamics of soil contamination hazard coefficients by individual substances

Интересно, что в период реконструкции аэродрома концентрации загрязняющих веществ в почвах прилегающей территории увеличились в разы, но содержание ни одного загрязнителя не превысило ОДК / ПДК, утвержденных в новых нормативах [СанПиН 1.2.3685-21, 2021]. Так, содержание металлов I класса опасности Zn и Cd – увеличилось в 3,3 и 8,3 раза соответственно; II класса опасности Pb, Ni, Cu – в 9,2; 5,9; 2,8 раза.

Подход к оценке уровня загрязнения почв по лимитирующему показателю загрязнения справедливо критикуется во многих работах [Рисник, 2012; Экологическая геология..., 2015; Кочетова и др., 2018]. Основными его недостатками являются неаддитивность показателя; отсутствие в нормативных документах значений  $K_{max}$  для превалирующего числа загрязнителей; номинальность оценочной шкалы уровня загрязнения почв, что не позволяет точно исследовать динамику загрязнения, проводить сравнительный анализ уровня загрязнения почв в отдельных точках. Кроме того, химические вещества, как правило, характеризуются высокой реакционной способностью и, в зависимости от разнообразных условий окружающей среды, могут образовывать продукты взаимодействия с большей или меньшей опасностью, чем первичные загрязнители. Поэтому при оценке химического загрязнения почв, как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения, расчет коэффициентов опасности для индивидуального вещества не имеет смысла.

Результаты расчета суммарного показателя загрязнения почв  $Z$  с учетом фактических и фоновых концентраций загрязнителей представлены на рис. 3.

В штатном режиме эксплуатации аэродрома до 2013 г. уровень загрязнения почв на приаэродромной территории в основном соответствовал рангу «допустимый». При таком уровне загрязнения почв возможно выращивание любых видов культур, для снижения риска загрязнения растений достаточно известкования почв и внесения органических удобрений.

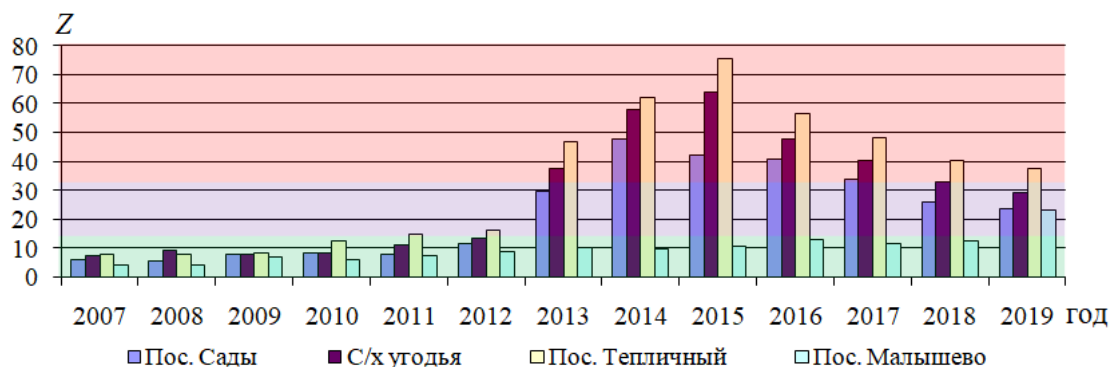


Рис. 3. Динамика суммарного показателя загрязнения почв приаэродромной территории  
Fig. 3. Dynamics of the total indicator of soil pollution in the aerodrome territory

С начала реконструкции аэродрома экологическая ситуация резко ухудшилась, максимальный суммарный показатель  $Z$  установлен на удалении от КТА в пос. Тепличный и на территории сельскохозяйственных угодий, он соответствовал «высоко опасному» рангу загрязнения почв. Земли при такой экологической ситуации рекомендуется использовать только под технические культуры, при этом необходим обязательный контроль приоритетных загрязнителей в растениях. Для восстановления почв рекомендуется выращивание растений-концентраторов (бобовые, подсолнухи, ячмень, люцерна и др.).

До 2019 г. уровень загрязнения почв в контрольных точках 2–4 постепенно снижался; в пос. Сады и на территории сельскохозяйственных угодий – до ранга «умеренно опасный». Это означает возможность использования чернозема через 3 года после основной реконструкции аэродрома для выращивания любых культур, но при условии обязательного контроля токсикантов в растениях.

Максимальное превышение фоновых концентраций характерно для керосина. В 2015 г., когда проводились основные работы по реконструкции склада ГСМ, на территориях пос. Тепличный и сельскохозяйственных угодий коэффициент концентрации нефтепродуктов составлял 28,4 и 20,1 соответственно. Ближе к аэродрому, в пос. Сады, этот же показатель был равен 10,2, что объясняется известной закономерностью переноса частиц грунта с адсорбированными загрязнителями атмосферным воздухом [Петелин и др., 2019; Yamashkin, Zhulina, 2019]. Аналогичное пространственное распределение характерно и для других загрязнителей, причем в пос. Тепличный уровень загрязнения по отдельным компонентам всегда был несколько выше, чем в других контрольных точках, что объясняется геометрией розы ветров, как показано на рис. 1.

Фактические концентрации тяжелых металлов в почвах пос. Тепличный и на территории сельскохозяйственных угодий превышали  $C_{фонi}$  в  $\sim 5$ –12 раз. Убывающий ряд коэффициентов концентрации тяжелых металлов на приаэродромной территории во время реконструкции аэродрома имеет вид:  $Pb_{12,1} > Cu_{8,8} > Ni_{6,8} > Mn_{6,4} > Zn_{5,3} > Cd_{5,2}$ .

Суммарное содержание нитратного и нитритного азота в почвах превышало  $C_{фон}$  в  $\sim 6$ –9 раз; формальдегида – в  $\sim 7$ –9,5 раз.

Надо отметить, что суммарный показатель загрязнения почв не учитывает класс опасности загрязнителей и, по сути, отражает только кратность превышения концентраций загрязняющих веществ условно-естественного геохимического фона, характерного для исследуемой территории. При этом одно и то же значение  $Z$  можно получить при превалирующем содержании малоопасных нефтепродуктов и марганца в почвах или из-за значительного загрязнения почв элементами 1 класса опасности – кадмием и цинком, что несопоставимо по уровню вреда, наносимому живым организмам. Кроме того, в стандартной методике не учитывается тот факт, что высокие фоновые концентрации элементов в почвах для отдельных регионов уже сами по себе представляют опасность для здоровья населения и могут вызывать экологически зависимые заболевания [Назаренко, Минкина, 1994; Дабахов и др., 2005; Мячина и др., 2016]. Таким образом, вопрос разработки объективного показателя суммарного загрязнения депонирующих сред, учитывающего условно-естественный геохимический фон, климатические особенности исследуемой территории, типы загрязненных почв и классы опасности загрязнителей, на сегодняшний день остается открытым.

Во время реконструкции аэродрома требуется проводить возможные мероприятия по снижению разлета частиц [Миличева, Саблина, 2018; Strizhenok, Korelskiy, 2019; Ivanov, Strizhenova 2021], перепланировать ведение сельскохозяйственной деятельности на приаэродромных территориях, усилить мониторинг за загрязнением почв и растений, информировать население о необходимости выращивания растений на приусадебных участках в закрытых системах.

### Заключение

Исследование многолетней динамики химического загрязнения почв приаэродромной территории показало, что штатный режим работы аэродрома практически не оказывает влияния на экологическую ситуацию в близлежащих населенных пунктах и на территориях сельскохозяйственных угодий. Масштабная реконструкция аэродрома привела к резкому ухудшению экологической ситуации в радиусе 4 и более км от контрольной точки аэродрома. Наибольшую опасность при этом представляет превышение норматива по нефтепродуктам в почвах. Они относятся к малоопасным органическим смесям веществ, при этом их концентрация относительно фоновой увеличилась в 10–28 раз в зависимости от расстояния от контрольной точки аэродрома.

Время самоочищения почв зависит от климатических особенностей типов почв. Суммарный показатель загрязнения чернозема в Центральном федеральном округе РФ после масштабной реконструкции аэродрома за три года снизился ~ в 2 раза от опасного до умеренно опасного уровня. Однако и к настоящему времени он продолжает оставаться значительно выше уровня загрязнения почв, характерного до 2013 г.

Для обеспечения экологической безопасности территорий и снижения неблагоприятного воздействия реконструкции аэродромов и аэропортов на здоровье людей необходимо учитывать перенос атмосферным воздухом частиц грунта с адсорбированными токсикантами на основе знаний об особенностях распространения и осаждения пылевых облаков.

Опыт исследования сложившейся экологической ситуации при масштабной реконструкции аэродрома в г. Воронеж может быть полезен при проведении подобных работ во всей стране.





### Список источников

- Балтимор (аэродром). Википедия. Свободная энциклопедия. Электронный ресурс. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Балтимор \(аэродром\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Балтимор_(аэродром)) (дата обращения: 19 мая 2022).
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. 1986. Методы исследования физических свойств почв. М., Агропромиздат, 416 с.
- Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997. № 60-ФЗ. (ред. от 14.03.2022, с изм. и доп., вступ. в силу с 05.06.2022). Электронный ресурс. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_13744/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_13744/) (дата обращения: 11 июня 2022).
- ГОСТ 53219-2008. 2009. Качество почвы. Определение содержания нитратного азота, аммонийного азота и общего азота в воздушно-сухих почвах с помощью хлорида кальция в качестве экстрагирующего вещества. Москва, Стандартинформ, 14 с.
- М-МВИ-80-2008. 2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. Санкт-Петербург, ООО Мониторинг, 36 с.
- Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты: Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 328 от 12.12.2007. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902083847> (дата обращения 17.03.2022).
- ПНД Ф 16.1:2.3:3.45.05. 2005. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли формальдегида в пробах почв, осадках сточных вод и отходов фотометрическим методом с хромотроповой кислотой. М., ФГУ «ФЦАО», 18 с.
- ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. 2005. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. Москва, НТС ФГУ «ФЦАО», 21 с.
- ПНД Ф 16.1.41-04. 2004. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом. Москва, ФГУ «ФЦАО», 18 с.
- Романов В.И. 2006. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу. Электронный ресурс. URL: <https://ours-nature.ru/lib/b/book/3728042958/> (дата обращения: 19 мая 2022).
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Дата введения 28.01.2021. Электронный ресурс. URL: [http://umka-nadym.ru/media/sub/962/documents/СанПин\\_1.2.3685-21\\_от\\_28.01.2021\\_2.pdf](http://umka-nadym.ru/media/sub/962/documents/СанПин_1.2.3685-21_от_28.01.2021_2.pdf) (дата обращения 17.03.2022).
- СНиП 32-03-96. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Аэродромы. Дата введения 28.04.1996. № 18-28. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001044> (дата обращения 17.03.2022).
- Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. Дата введения 27.11.2021. № 3363-р. Электронный ресурс. URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 19 мая 2022).

### Список литературы

- Адерихин П.Г. 1963. Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика. Воронеж, Изд-во ВГУ, 263 с.
- Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б., Яблонских Л.А. 2006. Почвы Воронежской области. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация, 1: 85–95.
- Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. 2005. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. Н. Новгород, Нижегород. ГСХА, 164 с.
- Джамбетова П.М. 2014. Генетические последствия загрязнения окружающей среды нефтепродуктами в Чеченской республике. Автореф. дис. ... док. биол. наук. Уфа, 47 с.
- Другов Ю.С., Родин А.А. 2000. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. СПб, Анатолия, 250 с.

- Клепиков О.В., Филимонова О.Н., Енютина М.В., Назаренко И.Н. 2019. Обзор исследований по оценке неблагоприятного влияния военных аэродромов на окружающую среду. Воздушно-космические силы. Теория и практика, 11: 93–103.
- Косинова И.И., Крутских Н.В., Кустова Н.Р. 2007. Техногенное преобразование природной среды территории г. Воронежа и его экологические последствия. М., РГОТУПС, 172 с.
- Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Бакланов И.О., Маслова Н.В. 2020. Влияние загрязнения почв объектов авиационной и космической деятельности на здоровье человека. Экология промышленного производства, 4(112): 39–44.
- Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Маслова Н.В. 2018. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными контаминантами. Вестник Кузбасского государственного технического университета, 1(125): 28–37. DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-28-36.
- Кочетова Ж.Ю., Внукова С.В., Андриевский И.А., Калинин Н.С., Маслова Н.В. 2019. Влияние авиационной деятельности на показатель кислотности депонирующих сред приаэродромной территории. В кн.: Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства. Материалы Юбилейной национальной научно-практической конференции, 20–21 февраля 2019, Рязань. Рязань, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева: 158–162.
- Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Базарский О.В. 2022. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. М., Инфра-М, 266 с.
- Лазарев И.С., Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Бакланов И.О. 2019. Мониторинг и прогнозирование загрязнения приаэродромных территорий (на примере г. Энгельс). Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 56: 126–132. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-56-126-132.
- Миличева Н.Н., Саблина А.М. 2018. Наилучшие доступные технологии снижения выбросов пыли в атмосферный воздух, применимые в различных отраслях промышленности. Инженерный вестник Дона, 4(51): 31–42.
- Мячина О.В., Клепиков О.В., Борисов Н.А., Пичужкина Н.М. 2016. Окружающая среда города: организация мониторинга и анализ состояния. Воронеж, ИПФ «ЛИО», 180 с.
- Назаренко О.Г., Минкина Т.М. 1994. Содержание тяжелых металлов в почвах Ростовской области. Тезисы докладов региональной научно-практической конференции «Биотехнология и производство экологически чистой продукции сельского хозяйства», 26–27.
- Околелова А.А., Капля В.Н., Лапченков А.Г. 2019. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах. Научные Ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 76–86. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-76-86.
- Петелин А.Л., Орелкина Д.И., Новикова Е.А. 2019. Аэрозольный перенос газовых выбросов промышленных предприятий на дальние расстояния. Вопросы науки и образования, 3(47): 10–22.
- Рисник Д.В., Беляев С.Д., Булгаков Н.Г., Левич А.П., Максимов В.Н., Мамихин С.В., Милько Е.С., Фурсова П.В., Ростовцева Е.Л. 2012. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные основы существующих систем экологического нормирования. Успехи современной биологии, 132(6): 531–550.
- Рубин В.М., Ильюкова И.И., Кремко Л.М., Присмотров Ю.А., Самсонова А.С., Володько И.К., Лукашев О.В. 2013. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь. Гигиена и санитария, 92(2): 99–101.
- Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика). 2015. Под ред. И.И. Косиновой. Воронеж, ВГУ, 576 с.
- Ivanov A.V., Strizhenok A.V. 2021. Evaluation of the Effectiveness of Dust Screens and the Possibilities of Taking Into Account Their Influence in Software Models. Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Complex equipment and quality control laboratories (CEQCL), 1728: 012008. DOI:10.1088/1742-6596/1728/1/012008.
- Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. 2019. Improvement of the System of Industrial Environmental Monitoring of Atmospheric Air in the Area of Anthropogenic Arrays Impact. Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Complex equipment of quality control laboratories (CEQCL), 1384: 012052. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012052.



Yamashkin A.A., Zhulina M.A. 2019. Assessment of the Processes of Formation and Transfer of Dust from Overburden Dumps in the Alekseevsky Quarry of Building Materials. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(1): 757–767.

### References

- Aderikhin P.G. 1963. Pochvy Voronezhskoy oblasti. ikh genesis, svoystva i kratkaya agroproduktivnaya kharakteristika [Soils of the Voronezh Region, Their Genesis, Properties and Brief Agricultural Characteristics]. Voronezh, Publ. VGU, 263 p.
- Ahtyrcev B.P., Ahtyrcev A.B., Yablonskih L.A. 2006. Voronezh Region Soils. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 1: 85–95 (in Russian).
- Dabakhov M.V., Dabakhova E.V., Titova V.I. 2005. Tyazhelye metally: ekotoksikologiya i problemy normirovaniya [Heavy Metals: Ecotoxicology and Regulation Problems]. N. Novgorod, Publ. Nizhegor. GSKhA, 164 p.
- Dzhambetova P.M. 2014. Geneticheskiye posledstviya zagryazneniya okruzhayushchey sredy nefteproduktami v Chechenskoj respublike [Genetic Consequences of Environmental Pollution with Oil Products in the Chechen Republic]. Abstract. dis. ... doc. biol. sciences. Ufa, 47 p.
- Drugov Yu.S., Rodin A.A. 2000. Ekologicheskiye analizy pri razlivakh nefti i nefteproduktov [Environmental Analyzes for Oil Spills and Oil Products]. Saint Petersburg, Publ. Anatoliya, 250 p.
- Klepikov O.V., Filimonova O.N., Enyutina M.V., Nazarenko I.N. 2019. Review of Adverse Impact Assessment Studies Military Airfields on the Environment. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 11: 93–103 (in Russian).
- Kosinova I.I., Krutskikh N.V., Kustova N.R. 2007. Tekhnogennoye preobrazovaniye prirodnoy sredy territorii g. Voronezha i ego ekologicheskiye posledstviya [Technogenic Transformation of the Natural Environment of the Territory of Voronezh and Its Environmental Consequences]. Moscow, Publ. RGOTUPS, 172 p.
- Kochetova Zh.Yu., Bazarsky O.V., Baklanov I.O., Maslova N.V. 2020. Impact of Priority Contaminants of Aviation and Space Activities on Human Health. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 4(112): 39–44 (in Russian).
- Kochetova Zh.Yu., Bazarsky O.V., Maslova N.V. 2018. Comparative Analysis of Integrated Indicators of Pollution of Soils of Urbanized Territories by Priority Contaminants. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University journal*, 1(125): 28–37 (in Russian). DOI: 10.26730/1999-4125-2018-1-28-36.
- Kochetova Zh.Yu., Vnukova S.V., Andrievskij I.A., Kalinin N.S., Maslova N.V. 2019. Vliyanie aviacionnoj deyatel'nosti na pokazatel' kislotnosti deponiruyushchih sred pri aerodromnoj territorii [The Influence of Aviation Activity on the Acidity Index of Depositing Media in the Aerodrome Area]. In: *Potencial nauki i sovremennogo obrazovaniya v reshenii prioritnyh zadach APK i lesnogo hozyajstva [The Potential of Science and Modern Education in Solving the Priority Tasks of the Agro-Industrial Complex and Forestry]*. Proceedings of the Anniversary National Scientific and Practical Conference, 20–21 February 2019, Ryazan. Ryazan, Publ. Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva: 158–162.
- Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Bazarskiy O.V. 2022. Aviatsionno-raketnyye klasteri i okruzhayushchaya sreda [Aviation and Missile Clusters and the Environment]. Moscow, Publ. Infra-M, 266 p.
- Lazarev I.S., Kochetova Zh.Yu., Bazarsky O.V., Baklanov I.O. 2019. Monitoring and Forecasting Contamination of Land Next to the Airfield (for Example, Engels). *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, 56: 126–132 (in Russian). DOI: 10.33933/2074-2762-2019-56-126-132.
- Milicheva N.N., Sablina A.M. 2018. Best Available Techniques of Decrease Dust Emissions Into the Atmospheric Air Applicable in Various Industries. *Engineering journal of Don*, 4(51): 31–42 (in Russian).
- Myachina O.V., Klepikov O.V., Borisov N.A., Pichuzhkina N.M. 2016. Okruzhayushchaya sreda goroda: organizatsiya monitoringa i analiz sostoyaniya [City Environment: Organization of Monitoring and Analysis of the State]. Voronezh, Publ. IPF «LIO», 180 p.
- Nazarenko O.G., Minkina T.M. 1994. Soderzhanie tyazhelyh metallov v pochvah Rostovskoj oblasti [The Content of Heavy Metals in the Soils of the Rostov Region]. *Tezisy dokladov regional'noj*

- nauchno-prakticheskoy konferencii «Biotekhnologiya i proizvodstvo ekologicheskoi chistoy produkcii sel'skogo hozyajstva», 26–27.
- Okolelova A.A., Kaplya V.N., Lapchenkov A.G. 2019. Evaluation of Oil Content in Soils. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series, 43(1): 76–86 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-76-86.
- Petelin A.L., Orelkina D.I., Novikova E.A. 2019. Aerazol'nyj perenos gazovyh vybrosov promyshlennyh predpriyatij na dal'nie rasstoyaniya [Aerosol Transfer of Gas Emissions from Industrial Enterprises Over Long Distances]. Voprosy nauki i obrazovaniya, 3(47): 10–22.
- Risnik D.V., Belyaev S.D., Bulgakov N.G., Levich A.P., Maksimov V.N., Mamikhin S.V., Milko E.S., Fursova P.V., Rostovtseva E.L. 2012. Approaches to Standardization of Environment Quality. Legislative and Scientific Foundations of Current Ecological Normalization Systems. Biology Bulletin Reviews, 132(6): 531–550 (in Russian).
- Rubin V.M., Il'yukova I.I., Kremko L.M., Prismotrov Yu.A., Samsonova A.S., Volodko I.K., Lukashev O.V. 2013. Hygienic Substantiation of Maximum Permissible Concentrations of Oil Products in the Soils of the Republic of Belarus. Hygiene and Sanitation, 92(2): 99–101 (in Russian).
- Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvayushchikh rayonov Severnoy Evrazii (teoriya i praktika) [Ecological Geology of Large Mining Regions of Northern Eurasia (Theory and Practice)]. 2015. Ed. by I.I. Kosinova. Voronezh, Publ. VGU, 576 p.
- Ivanov A.V., Strizhenok A.V. 2021. Evaluation of the Effectiveness of Dust Screens and the Possibilities of Taking Into Account Their Influence in Software Models. Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Complex equipment and quality control laboratories (CEQCL), 1728: 012008. DOI:10.1088/1742-6596/1728/1/012008.
- Strizhenok A.V., Korelskiy D.S. 2019. Improvement of the System of Industrial Environmental Monitoring of Atmospheric Air in the Area of Anthropogenic Arrays Impact. Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Complex equipment of quality control laboratories (CEQCL), 1384: 012052. DOI:10.1088/1742-6596/1384/1/012052.
- Yamashkin A.A., Zhulina M.A. 2019. Assessment of the Processes of Formation and Transfer of Dust from Overburden Dumps in the Alekseevsky Quarry of Building Materials. International Journal of Civil Engineering and Technology, 10(1): 757–767.

*Поступила в редакцию 31.05.2022;  
поступила после рецензирования 20.06.2022;  
принята к публикации 15.07.2022*

*Received May 31, 2022;  
Revised June 20, 2022;  
Accepted July 15, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лазарев Илья Сергеевич**, соискатель ученой степени кандидата географических наук кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения; помощник начальника отдела центра организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров, Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия

**Кочетова Жанна Юрьевна**, доктор географических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта средств аэродромно-технического обеспечения, Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Ilya S. Lazarev**, Applicant for the Degree of Candidate of Geographical Sciences of the Department of Operation and Repair of Airfield Technical Support Facilities; Assistant to the Head of the Department of the Center for the Organization of Scientific Work and the Training of Scientific and Pedagogical Personnel of the N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

**Zhanna Yu. Kochetova**, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Airfield and Technical Support Facilities of the N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia



**Маслова Наталья Владимировна**, кандидат химических наук, председатель цикловой комиссии химических технологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия

**Natal'ya V. Maslova**, Candidate of Chemical Sciences, Chairman of the Cycle Commission of Chemical Technologies of the Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

**Терентьев Владислав Витальевич**, курсант 2 курса факультета радиотехнического обеспечения, Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия

**Vladislav V. Terent'yev**, Cadet of the 2nd Year of the Faculty of Radio Engineering Support of the N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia



УДК 631.48  
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-463-472

## Воспроизводство профиля чернозёма при различной степени нарушения военными действиями

<sup>1</sup>Голеусов П.В., <sup>2</sup>Малышев А.В.

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>2</sup> Центр агрохимической службы «Белгородский»,  
Россия, 308027, г. Белгород, ул. Щорса, 8  
E-mail: goleusov@bsu.edu.ru

**Аннотация.** Военные действия приводят к разнообразным повреждениям почвенного покрова, воспроизводство которого зависит от степени нарушения/сохранности почвенного профиля. В этой связи бelligеративные ландшафты являются информативными объектами для исследования процессов воспроизводства почв. В статье рассмотрены результаты формирования чернозёма, нарушенного при сооружении эскарпа во время Курской битвы. Установлена зависимость между степенью сохранности профиля почвы-предшественника нового этапа педогенеза и мощностью новообразованного гумусового горизонта. Химические свойства новообразованной почвы подтверждают различие вариантов воспроизводства в зависимости от степени нарушения/сохранности профиля почвы-предшественника. При разной степени срезания почвенного профиля реализуется вариант аппликативного воспроизводства, причём оно происходит более эффективно на остаточном гумусовом горизонте (A + AB), по сравнению со средним (Bh,ca). Гумусированный материал, переотложенный при формировании насыпи, также способствует интенсивной регенерации гумусового горизонта. Представленные факты и закономерности могут быть использованы при управлении процессами природного воспроизводства почв в антропогенно нарушенных геосистемах.

**Ключевые слова:** бelligеративные ландшафты, нарушение почвенного покрова, воспроизводство почв, гумусовый горизонт, экологическая реабилитация, Белгородская область, Курская битва

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №20-67-46017.

**Для цитирования:** Голеусов П.В., Малышев А.В. 2022. Воспроизводство профиля чернозёма при различной степени нарушения военными действиями. Региональные геосистемы, 46(3): 463–472. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-463-472

---

## Reproduction of Chernozem Profile under Varying Degrees of Disturbance by Military Actions

<sup>1</sup>Pavel V. Goleusov, <sup>2</sup>Alexander V. Malyshev

<sup>1</sup> Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

<sup>2</sup> Center of Agrochemical Service "Belgorodsky",  
8Schorsa St, Belgorod 308027, Russia  
E-mail: goleusov@bsu.edu.ru

**Abstract.** Military operations lead to various disturbances of the soil cover, the reproduction of which depends on the degree of disturbance/preservation of the soil profile. In this regard, belligerative landscapes are informative objects for studying the processes of soil reproduction. The article discusses the results of chernozem in the area of the Kursk Battle (1943), which was disturbed during the construction of the escarpment. A relationship has been established between the degree of preservation of



the soil profile, which is the precursor of a new stage of pedogenesis, and the thickness of the newly formed humus horizon. This indicator of newly formed soils varies from 10 to 20 cm depending on the degree and method of disturbance of the previous soil. The contents of mobile forms of NPK have the greatest differences. With varying degrees of cutting of the soil profile, the variant of applicative reproduction is implemented, and it is more effective on the residual humus horizon (A + AB), compared to the middle one (Bh,ca). The humus material redeposited during the formation of the embankment also contributes to the intensive regeneration of the humus horizon. The presented facts and regularities can be used in managing the processes of natural soil reproduction in anthropogenically disturbed geosystems.

**Keywords:** belligerative landscapes, disturbance of soil cover, soil reproduction, humus horizon, ecological rehabilitation, Belgorod region, Kursk Battle

**Acknowledgments:** The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 20-67-46017.

**For citation:** Goleusov P.V., Malyshev A.V. 2022. Reproduction of Chernozem Profile under Varying Degrees of Disturbance by Military Actions. *Regional geosystems*, 46(3): 463–472. (In Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-463-472

---

## Введение

Естественное воспроизводство почвы – один из важнейших процессов ренатурации антропогенно нарушенных геосистем [Голеусов, 2015], закономерности которого должны быть исследованы с целью возможного управления им для решения задач экологической реабилитации деградированных и нарушенных земель. Одной из фундаментальных проблем этого исследования можно считать определение степени влияния сохранившегося (не полностью уничтоженного) профиля почвы, а также гумусированного материала на скорость самоорганизации нового почвенного тела. Знание этой зависимости позволит более рационально подходить к проблеме экологической реабилитации деградированных почв и нарушенных земель, в том числе использования почвенных трансплантов (землевания). Исследования почвенных трансплантов – актуальное направление современной экологии почв [Tarkhov et al., 2018; Venetková et al., 2020], но гораздо меньше сведений о воспроизводстве почвы на нарушенном профиле. Есть мнение [Лисецкий и др., 2017], что аппликативное воспроизводство почвы на залежах происходит быстрее по сравнению с рецентным почвообразованием (например, на культурных слоях археологических памятников).

Реорганизация почвенного профиля и, в частности, формирование главного ресурсного признака – гумусового горизонта, вероятно, может быть рассмотрена как вариант аппликативного (наложенного) развития [Таргульян, 1982], с элементами матричной достройки [Зубкова, Карпачевский, 2001] и палимпсестовой записью почвенной информации [Targulian, Goryachkin, 2004] в профиле новообразованной почвы. Прежде всего, интерес вызывает характер и количественные параметры зависимости формирования нового гумусового горизонта и его свойств от степени сохранности нарушенной почвы-предшественника или участия почвенного материала, например, в различного рода насыпях. Нами ранее [Голеусов, 2016] предложено рассматривать три варианта воспроизводства почв в антропогенно нарушенных геосистемах: первичное – на субстратах, впервые экспонированных в качестве материнской породы; рецентное (квазипервичное) – на переотложенном почвенном материале и вторичное – на остаточном профиле нарушенной почвы. Эти ситуации почвообразования могут довольно тесно соседствовать в пространстве посттехногенных, постселитебных и постагрогенных геосистем. Например, в агроландшафтах это почвы залежей на эродированных угодьях и новообразованные почвы на противоэрозионных сооружениях, в заброшенных или частично рекультивированных карьерно-отвальных комплексах – на участках вскрышных пород и участках землевания, в

постселитебных геосистемах – на развалинах домов, на культурном слое, на участках с абразией почвенного профиля.

Длительность почвообразования формирует ограничения при сборе фактических данных для подтверждения и выявления этой зависимости. Часто используемый метод дневных хронорядов [Геннадиев, 1990; Александровский, Иванов, 2015] вносит значительную вариабельность в почвенно-хронологические данные вследствие пространственной разобщённости объектов и различия экологических ситуаций образования разновозрастных почв. К тому же фактор сохранности профиля почвы-предшественника трудно проследить в этих объектах, соблюдая принцип единственного различия. В таком случае может быть предпринят поиск объектов, в которых нарушение было произведено одновременно, в одной почвенной разности, а степень сохранности профиля почвы-предшественника в той или иной степени непрерывно или дискретно изменяется в пространстве. Таковую, по сути, уникальную возможность обеспечивают объекты беллигеративных ландшафтов Великой Отечественной войны, которые широко распространены в Белгородской области на рубежах Курской битвы (05 июля – 23 августа 1943 года). Почвы беллигеративных ландшафтов, учитывая их широкую распространённость и представленность в различных природных зонах, в целом могут быть рассмотрены как информативные архивы антропогенного воздействия на почвенный покров [Steinweg, Kerth, 2013, 2018; Heiderscheidt, 2018]. В частности, свойства новообразованных почв анализируются в исследованиях их онтогенеза [Гагарина, Шелемина, Абакумов, 2011] и в моделировании процессов формирования отдельных почвенных свойств [Лисецкий, Ергина, 2010].

В беллигеративных ландшафтах [Мильков, 1973], возникающих в период подготовки и ведения военных действий, также очень распространены ситуации нарушения почв при строительстве оборонительных сооружений и непосредственно при огневом воздействии. Нами ранее установлена значительная вариабельность скорости рецентного воспроизводства почв на объектах локального нарушения почв [Голеусов, 2003] – на брустверах окопов, выбросах воронок от взрывов. Особый интерес как модельные объекты вызывают противотанковые земляные сооружения – валы и эскарпы. Их линейная протяжённость велика (сотни метров – километры). Расположены они в разных элементах ландшафта, но, как правило, на склонах. При их строительстве происходит срезание (скальпирование) почвенного профиля, формирование выемок и насыпей, т.е. все варианты воспроизводства почв можно исследовать на довольно компактном участке, не превышающем нескольких десятков метров. Вышеизложенное определило выбор данных объектов антропогенно нарушенных геосистем для исследования и эмпирического обоснования различий вариантов воспроизводства почв.

### **Объекты и методы исследований**

В период подготовки к Курской битве при создании трёх линий обороны на территории Белгородчины сформировались беллигеративные ландшафты площадью около 171 тыс. га, в том числе 970 км противотанковых рвов, траншей и ходов сообщения, более 8500 окопов, огромное количество блиндажей, землянок, укрытий и других военных сооружений. Инженерные работы были выполнены в период с апреля по май 1943 г. войсками 6-й и 7-й армий Воронежского фронта [Колтунов, Соловьёв, 1970; Курская битва, 1970].

Один из ключевых участков обороны, на который был направлен первый удар наступающих войск фашистской Германии, проходил по линии Герцовка-Бутово-Триречное. Здесь, вблизи с. Триречное, хорошо сохранились элементы инженерных сооружений в долине р. Бутовской, на южном склоне которой заметен противотанковый ров и вал, а на северном – эскарпы и линии траншей, ходов сообщения и стрелковые ячейки, сооружённые солдатами 199-го гвардейского стрелкового полка и местными жителями [Замулин, 2007].



На рис. 1 представлена ситуационная схема расположения объекта исследования – почвенной траншеи длиной 14 м, выкопанной перпендикулярно западному эскарпу на склоне южной экспозиции (северный склон долины р. Бутовской). С помощью эскарпа была увеличена крутизна стенки оврага, примыкающего с запада к позиции советских воинов.

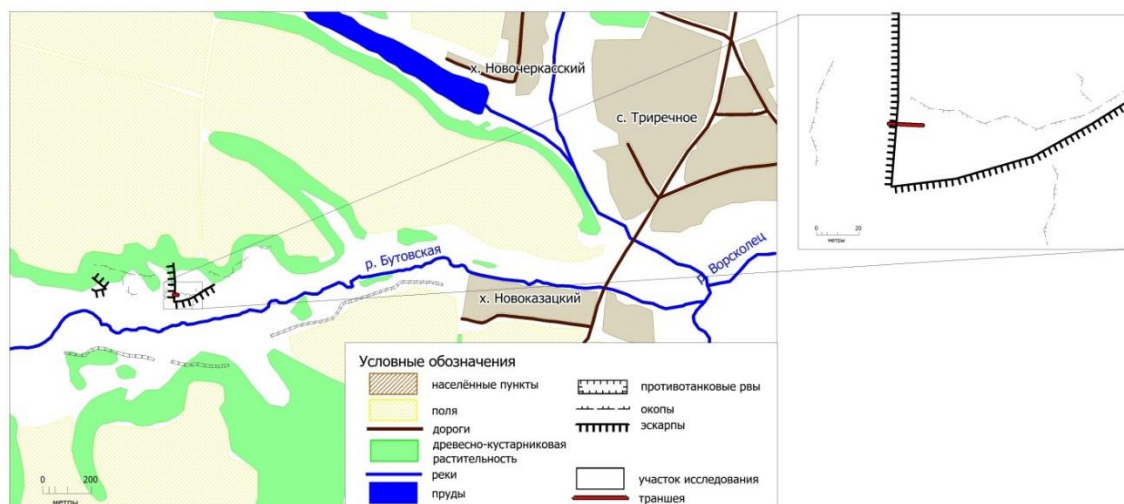


Рис. 1. Схема расположения участка исследования и почвенной траншеи  
Fig. 1. Scheme of research site and soil trench location

Общий вид траншеи показан на рис. 2. Исследуемый участок отрезан от ближайшего поля линией окопов и лесной полосой, так что с момента Курской битвы он не пахался и более 70 лет находится в режиме естественного воспроизводства почвенно-растительного покрова. Нарушение поверхности при строительстве противотанкового эскарпа произведено путём срезания верхней части профиля почвы на разную глубину и даже полного его уничтожения при формировании отвала, повышающего крутизну склона. Поверхность хорошо задернована (ассоциация злаково-раkitниковая), с высотой травостоя около 50 см и общим проективным покрытием более 85 %. Ценозообразующий вид – раkitник русский (*Chamaecytisus ruthenicus*, на фото (рис. 2) формирует жёлтый аспект) свидетельствует об отсутствии нарушений поверхности в течение многих десятилетий.

В траншее с интервалом около 0,5 м проведены морфологические описания и отбор образцов из гумусового горизонта в 27 точках-профилях с разными ситуациями нарушения. Проведена нивелировка поверхности, по результатам которой определён перепад высоты в 1,32 м – между основанием насыпи и противоположным концом траншеи. Отвал эскарпа имеет высоту около 30 см. В зоне эскарпа почва полностью уничтожена срезанием и отвалом, а в начале траншеи – срезана в разной степени. В каждом описании фиксировались мощности новообразованных и унаследованных от нарушенной почвы-предшественника горизонтов. В образцах по стандартным методикам в лаборатории Центра агрохимической службы «Белгородский» определены такие химические показатели, как содержание подвижного органического вещества, подвижных NPK, ёмкости катионного обмена (ЁКО), pH водной суспензии. Эти показатели использованы для выявления различий в новообразованном почвенном покрове. Статистическое обоснование различий почвенных профилей произведено методом кластерного анализа, для сравнения средних значений использован t-тест, для выявления взаимосвязей проведён корреляционно-регрессионный анализ. В статистических расчётах использованы программы *MS Excel* и *Statistica*.



Рис. 2. Общий вид траншеи  
Fig. 2. General view of the trench

### Результаты и их обсуждение

Фоновая почва, нарушенная при создании оборонительных сооружений, представлена чернозёмом типичным среднесмытым (мощность гумусового горизонта 45–50 см) среднесуглинистым. Глубина вскипания от 10%-ной соляной кислоты с 15–20 см. Содержание гумуса в горизонте А – 4,2–4,7 %. В почве морфологически выделяются верхние 20 см, имеющие более однородную окраску, чем нижележащий горизонт АВ, ровную границу, что предполагает механическую обработку до начала войны. В траншее почва точки 1 (Т1) практически соответствует фоновой почве по морфологическому строению (мощность гумусового горизонта – 42 см). Далее, через 3 м (Т7) в рельефе наблюдается вогнутая часть, вероятно, соответствующая участку срезания почвы. В этой зоне глубина вскипания от соляной кислоты не превышает 2 см. На дистанции 5 м от начала траншеи в профиле исчезает переходный гумусовый горизонт (АВ) почвы-предшественника, остаётся только горизонт гумусовых затёков Вh,ca. На дистанции 10 м исчезает и этот горизонт, а почвообразование происходит на насыпном субстрате (включающем гумусированный материал) небольшого отвала перед эскарпом. Последняя точка (Т27) описана в основании этого отвала.

Во всех точках траншеи морфологически (по структуре и окраске) хорошо обособлен новообразованный гумусовый горизонт мощностью 10–20 см. Наибольшая его мощность (14–20 см) характерна для начального участка траншеи, где сохранился горизонт АВ почвы-предшественника. Наименьшая мощность (10–12 см) – на участке с полностью срезанным горизонтом АВ. На отвале почвенного материала мощность снова возрастает (13–16 см). Зависимость мощности новообразованного гумусового горизонта от степени нарушения почвы хорошо заметна визуально. Особенности строения почв траншеи схематически представлены на рис. 3.

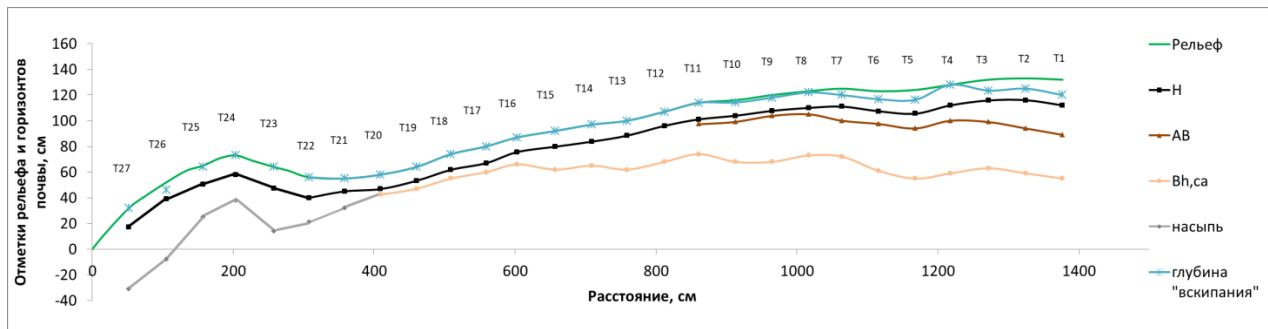


Рис. 3. Схема строения профилей почв в траншее  
Fig. 3. Scheme of soil profiles structure in the trench

Для выделения групп точек почвенных описаний, определяющих зоны с различными вариантами воспроизводства почв, проведён кластерный анализ с использованием данных о морфологическом строении сравниваемых объектов: глубины нижних границ новообразованного гумусового горизонта (Н), горизонтов остаточной части профиля почвы-предшественника (гор. АВ, Bh,ca), линии вскипания от 10%-го раствора HCl, мощности насыпи. В результате была получена группировка объектов, представленная на рис. 4.

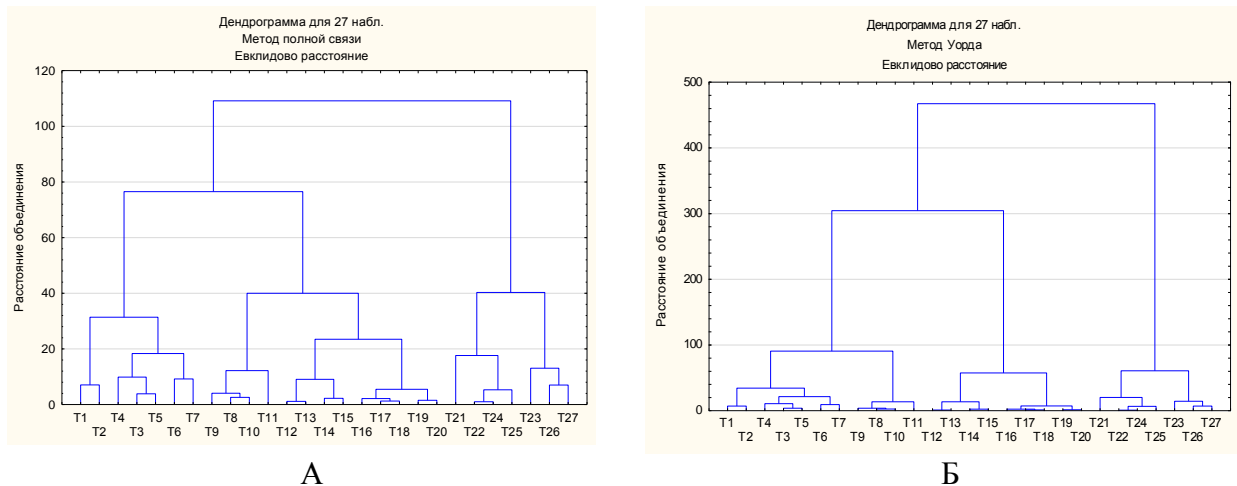


Рис. 4. Дендрограммы кластерного анализа морфологических различий точек почвенных описаний: А – метод полной связи; Б – метод Уорда  
Fig. 4. Cluster analysis dendrograms of morphological differences between the points of soil descriptions: А – complete linkage method; Б – Ward's method

Классификация произведена методом полной связи, позволяющим учесть максимальные различия объектов, и методом Уорда, использующим для сравнения кластеров изменчивость в группах [Jain et al., 1999]. Результаты анализа в целом сходны, различается лишь положение точек переходной зоны (Т8-Т11), в которых остаточная мощность горизонта АВ менее 20 см. Вероятно, при такой остаточной мощности гумусового горизонта почвы-предшественника, его влияние на повышение скорости нового почвообразования уже не столь существенно, а более сопоставимо с влиянием нижележащих горизонтов, в данном случае – Bh,ca.

Сопоставление химических свойств новообразованных гумусовых горизонтов для разных вариантов воспроизводства повышает объективность их выделения. Нами было произведено вычисление t-статистики ( $P = 0,95$ ) для разных групп точек, классифицированных указанными выше методами. Следует отметить, что статистическая обеспеченность результатов невелика, и поэтому имеет смысл сравнивать лишь средние значения по группам. В целом группы, выделенные методом полной связи, имеют несколько более выраженные отличия по средним значениям показателей, поэтому в таблице представлены эти значения.

Средние значения мощности новообразованного гумусового горизонта (Н)  
и некоторых химических свойств почв различных участков траншеи  
Average thickness values of the newly formed humus horizon (H) and some chemical properties  
of soils in different sections of the trench

Группа точек описания	Н, см	Содержание подвижного органического вещества, %	N гидр.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подв.	K <sub>2</sub> O подв.	ЁКО *, мг·экв./100 г почвы	pH <sub>вод.</sub>
T1-T7	16,75±1,73	0,032±0,003	142,00±15,28	4,00±0,53	211,71±27,42	23,00±2,29	7,70±0,23
T8-T20	12,08±0,50	0,027±0,004	124,92±11,69	6,08±1,74	225,69±28,88	19,66±1,72	7,78±0,08
T21-T27	14,29±2,03	0,027±0,006	144,00±12,87	8,00±2,07	241,00±14,43	24,31±2,87	7,85±0,11

В целом новообразованный гумусовый горизонт почвы, образующейся на наименее нарушенной почве, достоверно ( $P > 0,95$ ) характеризуется наибольшей мощностью и наиболее высоким содержанием подвижного органического вещества, но уступает по обеспеченности фосфором и калием; на срединной части нарушенной почвы – наименьшей мощностью, наименьшим количеством легкогидролизуемого азота, наименьшей ёмкостью катионного обмена. По показателям плодородия (NPK) наиболее благоприятными свойствами обладает гумусовый горизонт новообразованных почв на насыпном гумусированном почвенном материале.

Наиболее важным признаком нарушенной поверхности, на которой началось регенерационное почвообразование, в исследованной траншее стало наличие гумусированного слоя почвы-предшественника. В одном случае он был в составе нарушенного профиля почвы-предшественника, а в другом случае – насыпным, что соответствует вариантам аппликативного и рецентного воспроизводства почв. Аппликативное воспроизводство может происходить и на срединных горизонтах нарушенных почв, но эдафические свойства новообразованного гумусового горизонта в таком случае будут также определяться свойствами остаточного профиля.

Количественное определение зависимости мощности новообразованного гумусового горизонта от остаточной мощности гумусового горизонта (AB) проведено путём корреляционно-регрессионного анализа. Степень взаимосвязи, выраженная коэффициентом линейной корреляции, составляет  $0,92 \pm 0,13$ , а регрессионная зависимость имеет следующий вид (рис. 5).

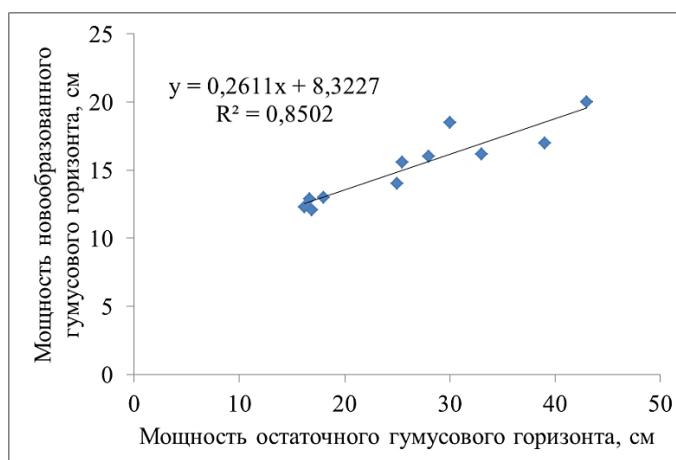


Рис. 5. Зависимость мощности новообразованного гумусового горизонта от остаточной мощности гумусового горизонта почвы-предшественника  
Fig. 5. Dependence of the thickness of the newly formed humus horizon on the residual thickness of the humus horizon of the precursor soil



Из уравнения на рис. 5 следует, что на каждый сантиметр сохранившейся мощности гумусового горизонта приходится возрастание мощности новообразованного гумусового горизонта на 2,6 мм. Но при этом следует учесть, что эмпирический ряд недостаточно обеспечен данными. Например, неясно, до какого уровня сохранности профиля почвы-предшественника этот прирост будет заметен. По результатам предшествующих исследований почв залежей, проведенных авторами [Goleusov, Malyshev, 2021], можно гипотетически предположить, что в лесостепной зоне при мощности остаточного гумусового горизонта чернозёмов типичных более 50 см этот прирост (по сравнению с более эродированными аналогами) будет уже неочевиден. Однако подтверждение этой гипотезы требует дополнительных исследований.

### Заключение

В бelligеративных ландшафтах происходит расширенное воспроизводство почв на объектах с нарушенным почвенным покровом. Элементы фортификационных сооружений могут быть использованы в качестве моделей для исследования особенностей этого процесса с хорошо датированным началом регенерационного почвообразования. На примере участка сооружения противотанкового эскарпа установлено, что в зависимости от степени и способа нарушения почвы результаты воспроизводства будут различаться. Это предполагает поиск закономерностей, которые могут быть использованы в управлении эколого-реабилитационными процессами в геосистемах с нарушенным почвенным покровом. В любом случае, для прогнозирования интенсивности воспроизводства почв необходимо ценить степень нарушения профиля почвы. Аппликативный и рецентный варианты воспроизводства чернозёмов могут быть достаточно эффективны, если они происходят при участии гумусированного материала почвы-предшественника. Аппликативное воспроизводство на срединной части профиля нарушенной почвы характеризуется меньшей интенсивностью по сравнению с почвообразованием на остаточном гумусовом горизонте или на насыпном гумусированном материале.

### Список литературы

- Александровский А.Л., Иванов И.В. 2015. Методы изучения эволюции и возраста почв и почвенного покрова. В кн.: Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. Под ред. В.Н. Кудярова. М., ГЕОС: 39–57.
- Гагарина Э.И., Шелемина А.Н., Абакумов Е.В. 2011. Онтогенез почв на земляных бelligеративных сооружениях Ленинградской области. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология, 1: 100–107.
- Геннадиев А.Н. 1990. Почвы и время: модели развития. М., Изд-во МГУ, 232 с.
- Голёусов П.В. 2016. Первичное, рецентное и вторичное почвообразование как варианты самоорганизации почв в антропогенно нарушенных геосистемах. В кн.: Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны. Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, 15–22 августа 2016, Белгород. Москва-Белгород, Издательский дом «Белгород»: 166–167.
- Голёусов П.В. 2015. Самоорганизация антропогенно нарушенных геосистем (обзор теоретических оснований концепции экологической ренатурации). Современные проблемы науки и образования, 2–2. Электронный ресурс. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23272> (дата обращения: 20.07.2022).
- Голёусов П.В. 2003. Формирование почв в различных комбинациях субстратно-фитоценологических условий лесостепной зоны. Почвоведение, 9: 1050–1060.
- Замулин В.И. 2007. Курский излом. Решающая битва Отечественной войны. М., Яуза, 960 с.
- Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. 2001. Матричная организация почв. М., РУСАКИ, 296 с.
- Колтунов Г.А., Соловьев Б.Г. 1970. Курская битва. М., Воениздат, 400 с.
- Курская битва. 1970. Под ред. И.В. Пароткина. М., Наука, 543 с.

- Лисецкий Ф.Н., Ергина Е.И. 2010. Развитие почв Крымского полуострова в позднем голоцене. Почвоведение, 6: 643–657.
- Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А. 2017. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. Воронеж, Издательский дом ВГУ, 432 с.
- Мильков Ф.Н. 1973. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М., Мысль, 224 с.
- Таргульян В.О. 1982. Развитие почв во времени. В кн.: Проблемы почвоведения. М., Наука: 108–112.
- Venetková P., Tichý L., Háněl L., Kukla J., Vicentini F., Frouz J. 2020. The Effect of Soil and Plant Material Transplants on Vegetation and Soil Biota During Forest Restoration in a Limestone Quarry: A Case Study. Ecological Engineering, 158: 106039. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2020.106039.
- Goleusov P., Malyshev A. 2021. Resource Characteristics of Post-Agrogenic Chernozems in Multiple-Aged Fallow Lands of the Belgorod Region. In: Steppes of Northern Eurasia. Ninth International Symposium, 7–11 June 2021, Orenburg, Series: Earth and Environmental Science, 817(1): 012036. DOI:10.1088/1755-1315/817/1/012036.
- Heiderscheidt D. 2018. The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe. Ursidae: The Undergraduate Research Journal at the University of Northern Colorado, 7(3): Art. 3. URL: <https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3> (accessed: 20.07.2022)
- Jain A., Murty M., Flynn P. 1999. Data Clustering: A Review. ACM Computing Surveys, 31(3): 264–323.
- Steinweg B., Kerth M. 2013. Kriegsbeeinflusste Böden: Böden als Zeugen des 1. und 2. Weltkrieges. Bodenschutz, 2(13): 52–57.
- Steinweg B., Kerth M. 2018 Soils as Witnesses of Wars: an Overview and Further Research Needs. In: Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia. Vol. I Landscapes in the 21th Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts. Main editors Viktor G. Sychev, Lothar Mueller. Moscow. Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry»: 76–80.
- Targulian V.O., Goryachkin S.V. 2004. Soil Memory: Types of Record, Carriers, Hierarchy and Diversity. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(1): 1–8.
- Tarkhov M., Matyshak G., Bogatyrev L. 2018. Soil Transplant Experiment: the Initial Results of Coring the Original Permafrost Peatland Soils to the “Warm” Plots. In: EGU General Assembly. EGU 2018, Proceedings from the conference held, 4–13 April 2018, Vienna, Austria: 1131.

## References

- Aleksandrovsky A.L., Ivanov I.V. 2015. Metody izucheniya evolyutsii i vozrasta pochv i pochvennogo pokrova [Methods for Studying the Evolution and Age of Soils and Soil Cover]. In: Evolution of Soils and Soil Cover. Theory, Diversity of Natural Evolution and Anthropogenic Transformations of Soils. Ed. by V.N. Kudeyarov. Moscow, Publ. GEOS: 39–57.
- Gagarina E.I., Shelemina A.N., Abakumov E.V. 2011. Ontogenesis of Soils on Earth Military Excavations of the Leningrad Region. Vestniks of Saint Petersburg University. Series 3. Biology, 1: 100–107 (in Russian).
- Gennadiyev A.N. 1990. Pochvy i vremena: modeli razvitiya [Soils and Time: Development Models]. Moscow, Publ. MSU, 232 p.
- Goleusov P.V. 2016. Pervichnoye. retsentnoye i vtorichnoye pochvoobrazovaniye kak varianty samoorganizatsii pochv v antropogenno narushennykh geosistemakh [Primary, Recent and Secondary Soil Formation as Variants of Soil Self-Organization in Anthropogenically Disturbed Geosystems]. In: Pochvovedeniye – prodovolstvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany [Soil science – food and environmental security of the country]. Abstracts of the VII Congress of the Society of Soil Scientists. V.V. Dokuchaev and the All-Russian scientific conference with international participation, 15–22 August 2016, Belgorod. Moscow-Belgorod, Publ. Belgorod: 166–167.
- Goleusov P.V. 2015. Self-Organization of Anthropogenically Disturbed Geosystems (Review of the Theoretical Foundations of the Concept of Ecological Renaturation). Modern problems of science and education, 2–2. Electronic resource. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=23272> (accessed: 20.07.2022) (in Russian).
- Goleusov P.V. 2003. Soil Formation Under Different Combinations of Substrate and Phytocenotic Conditions in the Forest-Steppe Zone. Eurasian Soil Science, 36(9): 937–945 (in Russian).



- Zamulin V.I. 2007. Kurskiy izlom. Reshayushchaya bitva Otechestvennoy voyny [Kursk Break. Decisive Battle of the Patriotic War]. Moscow, Publ. Yauza, 960 p.
- Zubkova T.A., Karpachevsky L.O. 2001. Matrix Organization of Soils. Moscow, Publ. RUSAKI, 296 p. (in Russian).
- Koltunov G.A., Solovyev B.G. 1970. Kurskaya bitva [Battle of Kursk]. Moscow, Publ. Voenizdat, 400 p.
- Kurskaya bitva [Battle of Kursk]. 1970. Ed. by I.V. Parotkin. Moscow, Publ. Nauka, 543 p.
- Leesetskii F.N., Ergina E.I. 2010. Soil Development on the Crimean Peninsula in the Late Holocene. Eurasian Soil Science, 43(6): 601–613 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229310060013.
- Lisetskii F.N., Marinina O.A., Buryak Zh.A. 2017. Geoarchaeological Researches of Historical Landscapes of Crimea. Voronezh, Publ. VSU, 432 p. (in Russian).
- Milkov F.N. 1973. Chelovek i landshafty: ocherki antropogennogo landshaftovedeniya [Man and landscapes: essays on anthropogenic landscape science]. Moscow, Publ. Mysl, 224 p.
- Targulian V.O. 1982. Razvitiye pochv vo vremeni [Soil development over time]. In: Problemy pochvovedeniya [Problems of soil science]. Moscow, Publ. Nauka: 108–112.
- Benetková P., Tichý L., Háněl L., Kukla J., Vicentini F., Frouz J. 2020. The Effect of Soil and Plant Material Transplants on Vegetation and Soil Biota During Forest Restoration in a Limestone Quarry: A Case Study. Ecological Engineering, 158: 106039. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2020.106039.
- Goleusov P., Malyshev A. 2021. Resource Characteristics of Post-Agrogenic Chernozems in Multiple-Aged Fallow Lands of the Belgorod Region. In: Steppes of Northern Eurasia. Ninth International Symposium, 7–11 June 2021, Orenburg, Series: Earth and Environmental Science, 817(1): 012036. DOI:10.1088/1755-1315/817/1/012036.
- Heiderscheidt D. 2018. The Impact of World War one on the Forests and Soils of Europe. Ursidae: The Undergraduate Research Journal at the University of Northern Colorado, 7(3): Art. 3. URL: <https://digscholarship.unco.edu/urj/vol7/iss3/3> (accessed: 20.07.2022)
- Jain A., Murty M., Flynn P. 1999. Data Clustering: A Review. ACM Computing Surveys, 31(3): 264–323.
- Steinweg B., Kerth M. 2013. Kriegsbeeinflusste Böden: Böden als Zeugen des 1. und 2. Weltkrieges. Bodenschutz, 2(13): 52–57.
- Steinweg B., Kerth M. 2018 Soils as Witnesses of Wars: an Overview and Further Research Needs. In: Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia. Vol. I Landscapes in the 21th Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts. Main editors Viktor G. Sychev, Lothar Mueller. Moskow. Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry»: 76–80.
- Targulian V.O., Goryachkin S.V. 2004. Soil Memory: Types of Record, Carriers, Hierarchy and Diversity. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(1): 1–8.
- Tarkhov M., Matyshak G., Bogatyrev L. 20018. Soil Transplant Experiment: the Initial Results of Coring the Original Permafrost Peatland Soils to the “Warm” Plots. In: EGU General Assembly. EGU 2018, Proceedings from the conference held, 4–13 April 2018, Vienna, Austria: 1131.

*Поступила в редакцию 26.07.2022;*

*поступила после рецензирования 23.08.2022;*

*принята к публикации 06.09.2022*

*Received July 26, 2022;*

*Revised August 23, 2022;*

*Accepted September 06, 2022*

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Голеусов Павел Вячеславович**, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

**Мальшев Александр Валерьевич**, инженер-программист ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский», Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Pavel V. Goleusov**, professor, Department of Environmental Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

**Alexander V. Malyshev**, software engineer, Agrochemical Service Center «Belgorodsky», Belgorod, Russia