

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2023. Том 47, № 4

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., кандидат географических наук, инженер 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. 16,4. Дата выхода 30.12.2023. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

- 493 **Божков Н.И., Диденко Д.Ю., Чистобаев А.И.**
Влияние региональной среды на инвалидизацию населения Северо-Западного федерального округа России
- 507 **Иванов А.Н., Сафронова А.А., Чижова В.П.**
Оценка рекреационного воздействия и дигрессии ландшафтов на основных туристических маршрутах Кавказского заповедника
- 518 **Алескарзаде И.И.**
Территориальная организация овощеводства в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе Азербайджанской Республики
- 530 **Андропова В.С., Гутак Я.М.**
Разработка методики исследований техногенных рельефов в местах открытых горных работ
- 539 **Рагулина О.П., Селюков А.О.**
Незаконная добыча общераспространённых полезных ископаемых на территории Белгородской области и её последствия
- 550 **Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е.**
Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений
- 569 **Седельников И.А. Смагулова Е.Н.**
Динамика основных метеопказателей на территории Северо-Казахстанской области за 1966–2020 гг.
- 580 **Гусев А.П.**
Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным Sentinel-5P TROPOMI)
- 593 **Thien B.B.**
Using GIS Tools to Detect the Land Use/Land Cover Changes in Ha Nam province, Vietnam
- 607 **Пантелеев Д.А., Базарский О.В., Кочетова Ж.Ю.**
Методика картирования загрязнения почв военных полигонов со значительно измененным рельефом
- 619 **Боровлев А.Э., Корнилов А.Г., Киселев В.В., Зеленская Е.Я.**
К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода
- 630 **Позаченюк Е.А., Мурава-Середа А.В., Максимова В.Н., Шестакова Л.И., Вишнякова С.П., Калинин И.В.**
Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах

REGIONAL GEOSYSTEMS

2023. Volume 47, No. 4

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 (PIHL).

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 National Research University, Belgorod, Russia)

Issuing Editor

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

Responsible Secretary

Evgeniya Ya. Zelenskaya, Candidate of Geographical Sciences (Belgorod National Research University, Belgorod, Russia)

Members of Editorial Board:

Aleksandr N. Vitshenko, 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. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 16.4. Date of publishing 30.12.2023. 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

- 493 **Bozhkov N.I., Didenko D.Yu., Chistobaev A.I.**
Influence of the Regional Environment on Disability in the Northwestern Federal District of Russia
- 507 **Ivanov A.N., Safronova A.A., Chizhova V.P.**
Assessment of Recreational Impacts and Landscape Digression on Main Tourist Routes in the Caucasian Reserve
- 518 **Alaskarzada I.I.**
The Territorial Organization of Vegetable Growing in Lankaran-Astara Economic-Geographical Region
- 530 **Andropova V.S., Gutak Ja.M.**
Development of Methodology for Research of Anthropogenic Reliefs in Places of Open-Pit Mining Operation
- 539 **Ragulina O.P., Selyukov A.O.**
Illegal Mining of Common Minerals in the Belgorod Region and Its Consequences
- 550 **Kornilova E.A., Lisetskii F.N., Rodionova M.E.**
Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes
- 569 **Sedelnikov I.A. Smagulova E.N.**
Dynamics of Main Weather Indicators in the North Kazakhstan Region for 1966–2020
- 580 **Gusev A.P.**
Methane Flows in the Troposphere: Geological and Anthropogenic Sources (According to Sentinel-5P TROPOMI Data)
- 593 **Thien B.B.**
Using GIS Tools to Detect the Land Use/Land Cover Changes in Ha Nam province, Vietnam
- 607 **Pantelev D.A., Bazarsky O.V., Kochetova Zh.Yu.**
Methodology for Mapping of Soil Contamination of Military Landfills with Significantly Altered Terrain
- 619 **Borovlev A.E., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Zelenskaya E.Ya.**
On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod
- 630 **Pozachenyuk E.A., Murava-Sereda A.V., Maksimova V.N., Shestakova L.I., Vishnyakova S.P., Kalinchuk I.V.**
Ensuring Ecological Safety and Rational Use of Nature in Transboundary Regions

УДК 911.3:61

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-493-506

Влияние региональной среды на инвалидизацию населения Северо-Западного федерального округа России

¹Божков Н.И., ²Диденко Д.Ю., ³Чистобаев А.И.

¹Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта
Россия, 236041, г. Калининград, ул. Невского, 14

²Европейский университет в Санкт-Петербурге
Россия, 191187, г. Санкт-Петербург, ул. Гагаринская, 6/1 А

³Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9
E-mail: nibozh1@yandex.ru, geowork9818@gmail.com, chistobaev40@mail.ru

Аннотация. Целью данной статьи является выявление уровня влияния отдельных параметров региональной среды на инвалидизацию населения в субъектах Российской Федерации, входящих в состав Северо-Западного федерального округа. Под инвалидизацией понимается увеличение в составе населения доли лиц с инвалидностью, обусловленной нарастанием инвалидирующих патологий и негативными воздействиями региональной среды, приводящими к инвалидности. В качестве факторов региональной среды отобраны: ожидаемая продолжительность жизни при рождении, заболеваемость населения, объемы выбросов в атмосферу, инвестиции в основной капитал, численность населения на больничную койку, число зарегистрированных экономических преступлений. Статистический метод исследования: панельный линейный регрессионный анализ, временной интервал исследования: 2014–2020 гг. В результате исследования установлено, что единственной независимой переменной, объясняющей динамику числа инвалидов во второй группе инвалидности, выступает численность населения на одну больничную койку, в третьей группе – ожидаемая продолжительность жизни при рождении. Это обосновывает необходимость разработки социальной политики для каждой группы инвалидности.

Ключевые слова: инвалиды, инвалидность, здоровьесбережение, медицинская география, социальная политика

Для цитирования: Божков Н.И., Диденко Д.Ю., Чистобаев А.И. 2023. Влияние региональной среды на инвалидизацию населения Северо-Западного федерального округа России. Региональные геосистемы, 47(4): 493–506. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-493-506

Influence of the Regional Environment on Disability in the Northwestern Federal District of Russia

¹Nikolai I. Bozhkov, ²Dmitry Yu. Didenko, ³Anatolii I. Chistobaev

¹Immanuel Kant Baltic Federal University
14 A Nevskogo St, Kaliningrad, 236106, Russia

²European University at St. Petersburg
6/1A Gagarinskaya St, Saint-Petersburg, 191187, Russia

³St. Petersburg State University
7–9 Universitetskaya Emb., Saint-Petersburg, 199034, Russia
Email: nibozh1@yandex.ru, geowork9818@gmail.com, chistobaev40@mail.ru

Abstract. The aim of this article is to identify the level of influence of individual parameters of the regional environment on the disability of the population in the subjects of the Russian Federation included in the Northwestern Federal District. Disability is understood as an increase in the proportion of



persons with disabilities in the population due to the increase in disabling pathologies and negative impacts of the regional environment leading to disability. The following factors of the regional environment were selected: life expectancy at birth, population morbidity, the volume of emissions into the atmosphere, investment in fixed capital, the number of population per hospital bed, the number of registered economic crimes. Statistical method of research: panel linear regression analysis. Time interval of the study: 2014–2020. It is established that the only independent variable explaining the dynamics of the number of disabled people in the second group of disability is the number of population per hospital bed, the life expectancy at birth is in the third group. The necessity of developing a social policy for each disability group is substantiated.

Keywords: people with disabilities, disability, health-protection, medical geography, social policy

For citation: Bozhkov N.I., Didenko D.Yu., Chistobaev A.I. 2023. Influence of the Regional Environment on Disability in the Northwestern Federal District of Russia. *Regional Geosystems*, 47(4): 493–506. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-493-506

Введение

В российских регионах с присущей им неоднородностью природных и социально-экономических условий жизни на обширной территории, наличием вредных для здоровья и опасных для жизни производств вопросы научных исследований факторов динамики численности инвалидов в общей численности населения для целей формирования эффективной государственной социальной политики особенно актуальны. Рассмотрение этих условий наиболее удобно проводить через призму региональной среды, под которой мы, авторы, продолжая исследовательскую традицию, понимаем совокупность природных, социально-экономических и экологических условий в пределах определенной территории [Агафонов и др., 1985]. Именно региональная среда во многом определяет специфику формирования и динамику состояния индивидуального и общественного здоровья [Чистобаев и др., 2022], оказывает неоднородное влияние ее элементов на масштабы инвалидизации населения. Высокий уровень доли инвалидов в общей численности населения характерен для субъектов Российской Федерации, входящих в состав Северо-Западного федерального округа; в некоторых из них инвалидом является почти каждый десятый взрослый человек [Федеральный реестр ..., 2022]. Так, в 2021 году численность инвалидов всех групп в СЗФО составила 1 222 005 человек, или 87 на 1000 жителей, что уступает аналогичному показателю только в Северо-Кавказском федеральном округе (106 человек на 1000 жителей) (рис. 1). Однако показатели в СКФО можно объяснить последствиями вооруженного конфликта в Чеченской Республике и прилегающих к ней территориях России. Интерпретация же опубликованных цифр по СЗФО требует более детального анализа.

Ранее проблематика инвалидизации в субъектах СЗФО уже попадала в поле зрения исследователей, однако большинство работ рассматривали инвалидизацию исключительно в пределах одного региона, не заостряя внимание на установление всего набора факторов, влияющих на ее динамику [Каспарьян 2012; Нацун 2022]. Настоящая работа призвана восполнить этот пробел, что также подчеркивает ее актуальность.



Рис. 1. Число инвалидов на 1000 человек по федеральным округам в 2021 году
Fig. 1. Number of persons with disabilities per 1,000 people by federal districts in 2021

Объекты и методы исследования

Обсуждение научной литературы по теме исследования

Опубликованные к настоящему времени работы по вопросам феномена инвалидности и процессам инвалидизации населения можно разбить на две группы. Первая группа публикаций сосредоточена на оценке масштабов инвалидизации населения, исходя из характеристик самого населения. Так, в работах, посвященных факторам инвалидизации индейского населения США, независимыми переменными выступают возраст, пол, семейное положение, наличие медицинской страховки и высшего образования, уровень дохода, а также место проживания, в данном случае – штат [Sharma, 2019]. Существуют работы, отражающие результаты поиска наиболее часто используемых и релевантных предикторов инвалидности, из которых вытекает вывод о важности социально-экономических характеристик [Philibert, Pampalon, 2015].

Вторая группа опубликованных работ посвящена исследованию физической и социальной сред существования инвалидов, направлена на идентификацию ключевых препятствий на пути интеграции инвалидов в общество. Отмечается, что качество жизни инвалидов повышается при включении их в трудовую деятельность [Laditka, Laditka, 2018], оказании социальной поддержки, обеспечении адекватного доступа к основным городским и социальным ресурсам [Owens, 2015; Sze, Christensen, 2017]. На решение этих задач направлено развитие научных идей в таких областях, как медико-географический менеджмент [Семенова, 2011], медицинский туризм [Semenova et al., 2020], в том числе для детей-инвалидов [Семенова, Маслова, 2018].

Изучение уже имеющейся литературы позволяет утверждать, что существует тенденция к расширению ракурса научных исследований инвалидизации, а также к включению данной проблематики в исследовательское поле других дисциплин, в частности, медицинской географии [Hall, Wilton, 2017; Wong, Beljaars 2022]. Вместе с тем, нет единого мнения по определению инвалида, что можно объяснить эволюцией подходов к раскры-



тию самой сути этих явлений, т. е. не только медицинской составляющей (именно она превалирует в отечественной литературе), но и моральной, и экономической, и средовой. Так, в зависимости от степени доминирования социального аспекта и возможностей последующей интеграции инвалидов в общество в дефиниции «инвалидность» выделяются три группы определений:

- 1) акцентирующие внимание на проблемах различия в способностях индивидов пользоваться юридическими, гражданскими и прочими правами;
- 2) указывающие на проблемы различия в способностях индивидов выполнять социальные функции;
- 3) центрирующие проблемы различия в психологическом комфорте индивидов [Бабенко, 2013].

Такой подход базируется на социальной модели, позволяющей сместить акценты с ущербы человека на необходимость его полноценного включения в социальные связи и отношения современного общества. Вместе с тем сегодня эта модель требует дальнейшего развития, связанного с исчерпанием ее потенциала для дальнейшей разработки моделей интеграции инвалидов в общественную жизнь [Philibert, Pampalon, 2015]. Можно также привести примеры использования в литературе синонимов термина «инвалид», например, «человек с ограниченными возможностями», «нетипичный человек», «человек с повышенными потребностями» [Селезнева, Грузинцев, 2019]. Эти и подобные им определения инвалидов получают все большее распространение в научных публикациях и в средствах массовой информации, развивают выдвинутую еще 60 лет назад идею интеграции инвалидов в социальное пространство [Goffman, 1963].

Проблематизация феномена инвалидности и процессов инвалидизации населения в контексте общественно-географического исследования нуждается в дополнительном обосновании дефиниций, которые в полной мере учитывали бы комплексность явления. В публикации одного из авторов этой статьи дано такое определение «инвалид – это человек, для устранения ограничений жизнедеятельности которого гражданскими, социальными и медицинскими институтами (с учетом территориальных особенностей внешней среды проживания) необходима разработка программ, позволяющих интегрировать его в общественную жизнь» [Божков, 2019]. Под термином «инвалидизация» мы понимаем увеличение в составе населения доли лиц с инвалидностью, обусловленной нарастанием инвалидирующих патологий и негативными воздействиями региональной среды, приводящими к инвалидности. Указанные определения позволяют «встроить» наше исследование в контекст не только уже имеющихся работ по медицинской географии, но и создать возможности для применения таких общественно-географических подходов, как сравнительно-географический и проблемно-программный, которые вошли в практику управления региональным развитием, успешно используются при решении вопросов инвалидности, например, при разработке программы «Доступная среда». Оба подхода могут быть использованы и при изучении феномена инвалидности в рамках его взаимодействия со всеми социальными и прочими институтами.

Материалы

В медико-географической литературе представлен научно обоснованный набор групп индикаторов, на основе которых возможна комплексная оценка влияния региональной среды на здоровье населения [Семенова, 2019]. На его основе нами были отобраны независимые переменные из каждой группы, что при ограниченности исходных данных позволило сохранить в предлагаемой модели комплексный характер влияния региональной среды на инвалидизацию населения. Из каждой из независимых переменных, отражающих собой одну из групп индикаторов, следовала отдельная исследовательская гипотеза. Таким образом мы выбрали переменные, отражающие:

- 1) влияние экологических факторов (выбросы в атмосферу),

- 2) качество общественных институтов (экономические преступления),
- 3) качество медицинского обслуживания (ожидаемая продолжительность жизни при рождении);
- 4) доступность медицинского обслуживания (численность населения на одну больничную койку);
- 5) уровень вложений в инфраструктуру (инвестиции в основной капитал).

Небольшое число независимых переменных объясняется не только количеством случаев, но и стремлением избежать проблемы эндогенности (когда одна переменная является функцией от другой) и мультиколлинеарности (если одна переменная сильно коррелирует с другой, то это может сказаться на статистической значимости одного из коэффициентов). Стоит отметить, что для достижения поставленной нами цели исследования учитывались как непосредственно факторы инвалидизации, так и особенности работы «бюрократической машины», от которой зависит признание или, наоборот, отказ в признании человека инвалидом. Одной из таких переменных является вышеупомянутое число зарегистрированных экономических преступлений, которая дает возможность контролировать коррупцию при присвоении статуса инвалида [Ковалевская, 2019]. Описательная статистика приведена в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Описательная статистика данных по субъектам Российской Федерации, входящим в состав Северо-Западного федерального округа и использованным для расчетов
Descriptive statistics of the data on the subjects of the Russian Federation included in the Northwestern Federal District and used for the calculations

| Переменные | Число наблюдений | Среднее | Стандартное отклонение | Минимум | Максимум |
|--|------------------|---------|------------------------|---------|----------|
| Инвалиды по всем группам (чел.) | 60 | 108726 | 133186 | 28490 | 617044 |
| Инвалиды I группы (чел.) | 60 | 16168 | 23695 | 5231 | 114957 |
| Инвалиды II группы (чел.) | 60 | 54352 | 77453 | 11232 | 354566 |
| Инвалиды III группы (чел.) | 60 | 38098 | 32965 | 11247 | 156808 |
| Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет) | 60 | 71,11 | 1,7 | 68,07 | 76,31 |
| Заболеваемость (на тыс. чел.) | 60 | 905,73 | 159,14 | 658,3 | 1175,1 |
| Выбросы в атмосферу (тонн на чел.) | 60 | 0,22 | 0,19 | 0,01 | 0,82 |
| Инвестиции в основной капитал на душу населения (руб.) | 60 | 129219 | 62531 | 42179 | 279196 |
| Численность населения на одну больничную койку | 60 | 118,06 | 16,24 | 93,4 | 167,9 |
| Экономические преступления (на тыс. чел.) | 60 | 0,74 | 0,15 | 0,45 | 1,12 |



Временной интервал исследования по причине отсутствия данных ограничен 2014–2020 гг., а для Ленинградской области и Санкт-Петербурга – 2017–2020 гг. Ненецкий автономный округ по причине незначительной численности населения и ограниченности данных рассматривался как часть Архангельской области. Ввиду трудно объяснимой динамики численности групп инвалидов в Новгородской области, где, как показывают исходные данные, число инвалидов первой группы упало с 2017 по 2018 год в 4 раза (с 34 813 по 8 376), учтенные цифры по данному региону ограничены периодом 2018–2020 гг. В качестве статистического метода выбрана панельная линейная регрессия. Это обоснованно структурой данных, включающей многомерные переменные по нескольким постоянно наблюдаемым регионам, значения которых со временем меняются. Такая структура существенно расширяет массив наблюдений, и именно панельная линейная регрессия позволяет в данном случае значительно повысить статистическую мощность и дать более эффективную оценку параметров. Источниками данных послужили Федеральный реестр инвалидов [2022], Федеральная служба государственной статистики [2022], Портал правовой статистики [2022], статистический портал «Если быть точным» [2022].

Зависимой переменной выступает как общее число инвалидов, так и по каждой из трех групп инвалидности, выделяемых согласно Постановлению Правительства РФ от 05.04.2022 г. № 588 «О признании лица инвалидом» [2022], в зависимости от тяжести полученных увечий и недугов, и их последствий для работоспособности индивида. Первая группа инвалидности устанавливается при таком состоянии здоровья человека, когда ему необходима постоянная опека, так как он не способен к самостоятельному уходу за собой. Основанием для установления второй группы инвалидности является наличие явных отклонений в функционировании органов и существует вероятность того, что заболевание начнет прогрессировать, но при этом пока нет необходимости в уходе за инвалидом, которому устанавливаются противопоказания к труду, но при этом ему предоставлено право трудовой деятельности в облегченных условиях. Третья группа инвалидности устанавливается в случаях невозможности выполнения человеком своих должностных и профессиональных обязанностей в том объеме, который он выполнял до получения статуса инвалида, ему предоставляется возможность перехода на облегченный характер работы.

Исследовательские гипотезы

Ожидаемая продолжительность жизни при рождении является важным медико-демографическим показателем, который включает в себя как уровень медицинского обслуживания, так и факторы, влияющие на доступность качественной медицинской помощи, которая могла бы предотвратить инвалидизацию (уровень доходов, жилищные условия, доступность социальной инфраструктуры и т. д.). Добавление этих факторов в модель в качестве самостоятельных предикторов представляется сомнительным не только потому, что они отражают влияние региональной среды в лучшем случае косвенно, но и ввиду перегрузки модели переменными, коррелирующими между собой. Кроме того, ожидаемая продолжительность жизни при рождении позволяет учесть накопленный эффект влияния региональной среды на здоровье населения, наследственный фактор инвалидизации, беря во внимание то, что при расчете данного показателя используются данные о смертности предыдущих поколений. Логично предположить, что с ее ростом число инвалидов будет сокращаться за счет нейтрализации негативного влияния окружающей среды и профилактики заболеваемости.

Поэтому ожидаем, что с ее ростом число инвалидов во всех группах будет сокращаться.

Н1: С ростом ожидаемой продолжительности жизни при рождении число инвалидов будет уменьшаться. Поскольку к инвалидности может привести не только физическое увечье, но и болезнь, то логично ожидать, что с ее усугублением будет расти и число инвалидов. То же самое касается и увеличения выбросов в атмосферу, что приводит к инвалидности вследствие болезней органов дыхания.

Н2: С ростом заболеваемости число инвалидов будет увеличиваться.

Н3: С ростом объемов выбросов в атмосферу число инвалидов будет увеличиваться. Инвестиции в основной капитал отражают состояние инфраструктуры и экономическую активность. Можно предположить, что последнее приведет к росту числа травм, а в перспективе – к росту числа инвалидов.

Н4: С ростом инвестиций в основной капитал на душу населения число инвалидов будет увеличиваться. Численность населения на больничную койку отображает доступность медицинских услуг и уровень мониторинга заболеваний, которые потенциально могут привести к инвалидности. Таким образом, высокая нагрузка на медицинскую систему должна привести к тому, что выявляемость инвалидности сократится, что логично отобразится и на числе инвалидов в регионе.

Н5: С ростом численности населения на больничную койку число инвалидов будет уменьшаться. Поскольку статус инвалида связан с получением льгот и доступом к социальной поддержке – таких как страховая пенсия по инвалидности, налоговые вычеты, скидки на оплату жилищно-коммунальных услуг, то можно предположить, что рост числа экономических преступлений будет положительно связан с ростом числа инвалидов.

Н6: С ростом числа экономических преступлений число инвалидов будет увеличиваться.

Результаты и их обсуждение

В данном разделе в табличном виде представлены результаты расчета панельной линейной регрессии. Регрессия рассчитана в двух вариантах: с данными по Санкт-Петербургу (табл. 2) и без него (табл. 3), так как в процессе количественного исследования было зафиксировано серьезное влияние городских данных на расчет коэффициентов регрессии по всей выборке. Это говорит о том, что в мегаполисе Санкт-Петербург влияние факторов инвалидизации существенно отличается от остальных регионов, что ввиду масштабы мегаполиса отражается на результатах по всей совокупности данных. Дело здесь не только в наибольших абсолютных цифрах числа инвалидов всех групп, что ожидаемо, учитывая численность населения Санкт-Петербурга. Город федерального значения занял первое место и по относительному измерению: в 2020 году на 1000 жителей приходилось 105 инвалидов всех групп (рис. 2). Кроме того, город занимал первое место и по относительному числу инвалидов I и II групп: 17 и 59 человек на 1000 жителей, соответственно. Из всех показателей, отвечающих за влияние региональной среды, Санкт-Петербург являлся лидером только по ожидаемой продолжительности жизни при рождении (74 года) – с ним могла сравниться только Калининградская область, где она составляет 72,9 лет (рис. 3). Последнее особенно любопытно, учитывая первую гипотезу, согласно которой увеличение ОПЖ при рождении негативно связано с инвалидизацией населения.



Таблица 2
Table 2

Результаты панельного линейного регрессионного анализа по субъектам Российской Федерации, входящим в состав Северо-Западного федерального округа и использованным для расчетов
Results of the panel linear regression analysis for the subjects of the Russian Federation included in the Northwestern Federal District and used for calculations

| Показатели | Зависимые переменные | | | |
|--|----------------------|----------|---------------------------|------------|
| | Все группы | I группа | II группа | III группа |
| Номер модели | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет) | -123,56 | 687,87 | -46,17 | -661,48** |
| Заболеваемость (на тыс. чел.) | -19,25 | 1,42 | -23,88 | 4,63 |
| Выбросы в атмосферу (тонн на чел.) | 31077,02 | 4353,33 | 18786,16 | 4021,57 |
| Инвестиции в основной капитал на душу населения (руб.) | -0,06* | -0,01 | -0,05* | -0,01 |
| Численность населения на одну больничную койку | -389,68* | -33,29 | -382,65*** | 8,68 |
| Экономические преступления (на тыс. чел.) | 6221,42 | -5112,9 | 12834,3 | -1656,07 |
| Наблюдений | 60 | 60 | 60 | 60 |
| R ² | 0,27 | 0,08 | 0,33 | 0,2 |
| Уточненный R ² | 0,19 | -0,03 | 0,26 | 0,11 |
| F-статистика | 17,33*** | 2,55 | 24,88*** | 9,83 |
| | | | *p<0,1 **p<0,05 ***p<0,01 | |

Таблица 3
Table 3

Результаты панельного линейного регрессионного анализа по субъектам Российской Федерации, входящим в состав Северо-Западного федерального округа и использованным для расчетов (без Санкт-Петербурга)
Results of the panel linear regression analysis for the subjects of the Russian Federation included in the Northwestern Federal District and used for calculations (without St. Petersburg)

| Показатели | Зависимые переменные | | | |
|--|----------------------|----------|---------------------------|------------|
| | Все группы | I группа | II группа | III группа |
| Номер модели | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет) | -2281,58** | 40,87 | -1961,83** | -357,82* |
| Заболеваемость (на тыс. чел.) | -9,73 | -0,8 | -20,13 | 1,6 |
| Выбросы в атмосферу (тонн на чел.) | 23607,24* | 2808,46 | 14143,12 | 6102,07** |
| Инвестиции в основной капитал на душу населения (руб.) | -0,06*** | 0,001 | -0,04** | -0,01 |
| Численность населения на одну больничную койку | -167,65 | 74,58* | -44,61 | -8,19 |
| Экономические преступления (на тыс. чел.) | 2931,3 | -3290,7 | 12432,98* | -499,44 |
| Наблюдений | 56 | 56 | 56 | 56 |
| R ² | 0,5 | 0,2 | 0,45 | 0,33 |
| Уточненный R ² | 0,44 | 0,1 | 0,38 | 0,25 |
| F-статистика | 45,84*** | 7,63 | 35,6*** | 21,78*** |
| Уровень значимости | | | *p<0,1 **p<0,05 ***p<0,01 | |

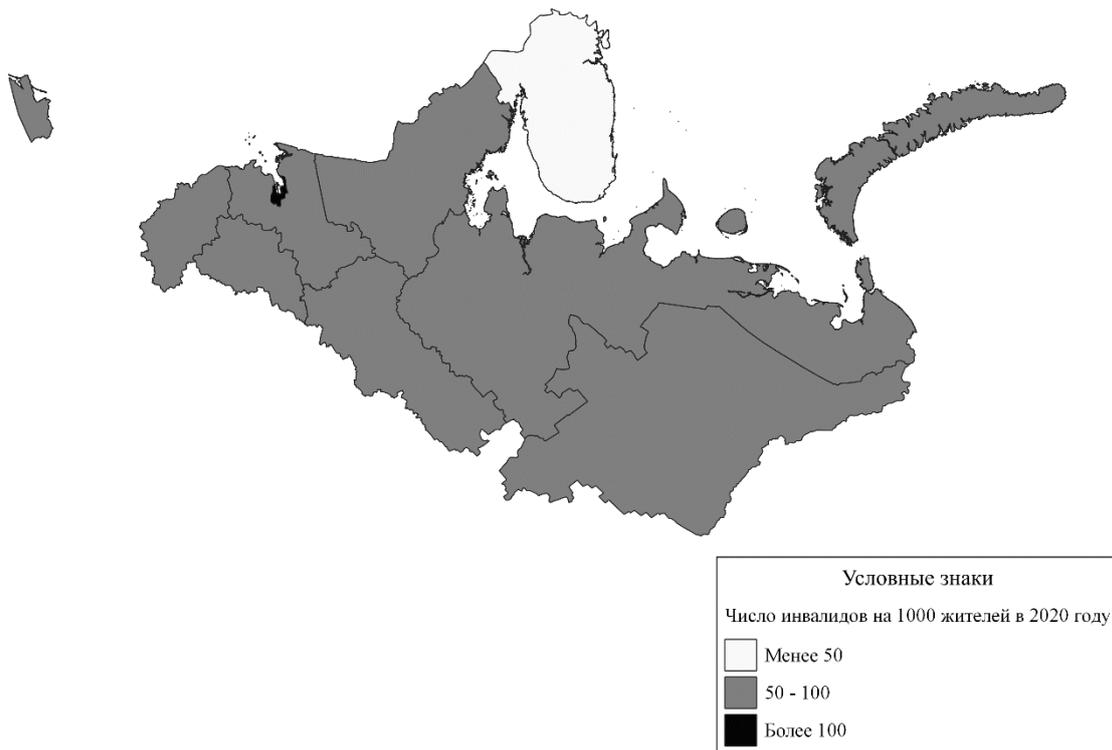


Рис. 2. Число инвалидов на 1000 человек по субъектам Северо-Западного федерального округа в 2020 году
Fig. 2. Number of persons with disabilities per 1,000 people by regions of the Northwestern Federal District in 2020

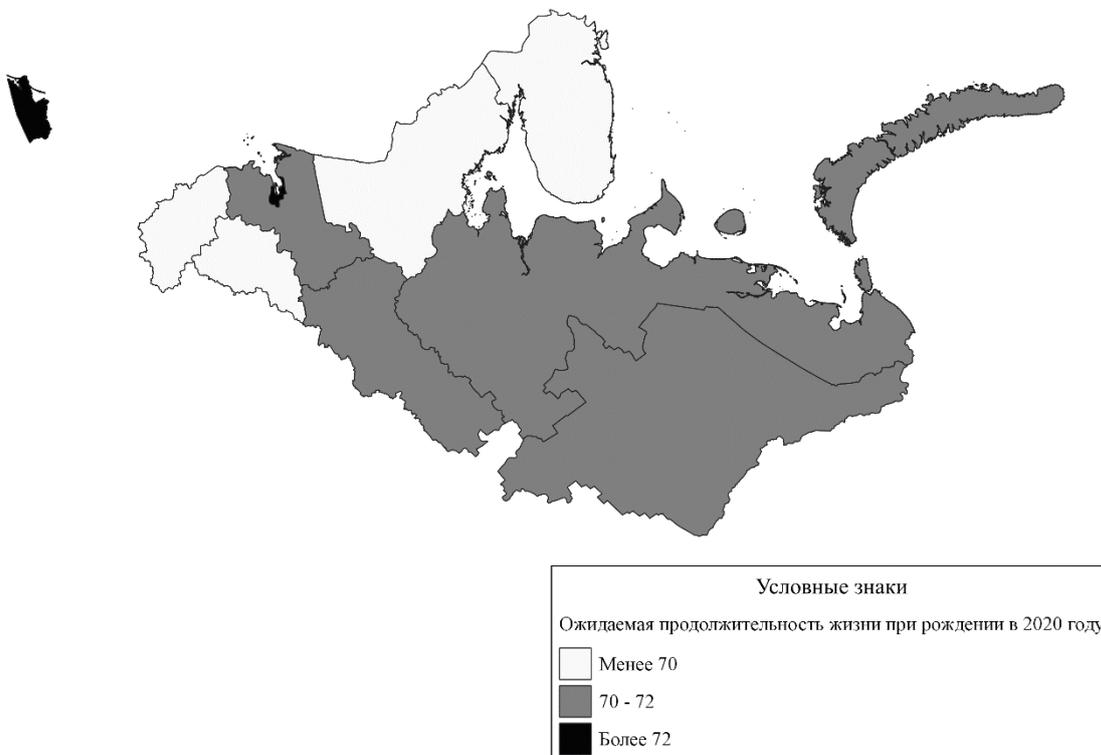


Рис. 3. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении по субъектам Северо-Западного федерального округа в 2020 году
Fig. 3. Life expectancy at birth by subjects of the Northwestern Federal District in 2020



Результаты исследования показывают, что нет ни одного показателя, который оказывал бы влияние на инвалидизацию во всех трех группах. Более того, выбранные независимые переменные никак не объясняют динамику числа инвалидов первой группы (модель 2 в обеих таблицах), о чем говорит значимость F статистики. Это означает, что на динамику инвалидизации в разных группах влияют совершенно разные наборы факторов. Уточненные R^2 показывают, что отобранные нами независимые переменные лучше всего объясняют динамику числа инвалидов во второй группе – 26 % вариации в первом случае (см. табл. 2) и 44 % во втором (см. табл. 3).

Мы подтверждаем первую гипотезу. В соответствии с моделью 4 (см. табл. 2) увеличение продолжительности жизни на один год сопровождается статистически достоверным (т. е. вероятность ошибки менее 5 %) уменьшением числа инвалидов третьей группы на 661 человека. Модель 3 в табл. 3, напротив, демонстрирует более сильное влияние ожидаемой продолжительности жизни при рождении на динамику инвалидности во второй группе. На наш взгляд, подобная дифференциация связана с качеством профилактики заболеваний, приводящих к инвалидности, так как возможность зафиксировать угрожающее инвалидизацией заболевание уже на этапе присвоения человеку третьей группы автоматически выводит его из числа потенциальных получателей второй группы.

Вторая гипотеза отвергается, поскольку во всех восьми моделях влияние заболеваемости на число инвалидов остается статистически незначимым. Вероятнее всего это говорит о необходимости более подробного исследования заболеваний конкретных органов и систем органов, поскольку более емкий показатель заболеваемости больше зависит от болезней, которые не приведут к инвалидности.

Третья гипотеза подтверждается только в модели 4 (см. табл. 3), что логично – здесь проявляется влияние регионов с развитой горнодобывающей промышленностью (Республика Коми, Мурманская область), наличием металлургии и химической промышленности (Вологодская область). Заболевания органов дыхания сказываются на здоровье человека раньше, чем он утратит трудоспособность. Расчеты показывают, что увеличение объемов выбросов в атмосферу на одну тонну сопровождается увеличением числа инвалидов третьей группы на 6103 человека.

Четвертая гипотеза отвергается, о чем свидетельствуют модели 1 и 3 (см. табл. 3). В соответствии с первой моделью рост инвестиций в основной капитал на душу населения на 100 руб. приводит к уменьшению числа инвалидов на 6 человек. Тот факт, что данный показатель лишь в модели без учета Санкт-Петербурга демонстрирует, на наш взгляд, большую значимость инвестиций именно в провинции, где уровень социально-экономического развития, как правило, невысок.

Пятая гипотеза подтверждается в модели 3 табл. 2. Тот факт, что данный показатель статистически значим только для второй группы инвалидности, может объясняться необходимостью более тщательного мониторинга кандидатов на ее присвоение, поскольку данная группа инвалидности налагает серьезные ограничения на трудовую активность.

Шестая гипотеза опровергается, поскольку бета-коэффициенты ни в одной из моделей не значимы на 5-процентном уровне. Однако стоит обратить внимание, что в модели 3 (см. табл. 3) данный показатель значим на 10-процентном уровне: рост числа экономических преступлений на 1 тыс. человек на единицу приводит к росту числа инвалидов второй группы сразу на 12433 человека. Это можно было бы объяснить «компромиссом» между реалистичностью присвоения той или иной группы инвалидности и объемом социального обеспечения, который достаточно привлекателен для того, чтобы идти на нарушение закона. Существует необходимость проверки данной гипотезы на большем объеме данных.

Заключение

Проведенный анализ существующих моделей и научных подходов к исследованию проблем инвалидизации позволил выделить и применить наиболее комплексные и многофункциональные методы, позволяющие эффективно оценивать жизнь, деятельность и интегрированность инвалидов в социуме. Весомый вклад географических подходов в возможность интеграции инвалидов рассмотрен на примере Международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья, где говорится о необходимости учета средовых факторов в числе основополагающих критериев оценки потенциала интеграции человека с ограниченными возможностями.

В Северо-Западном федеральном округе России динамика инвалидов второй группы отрицательно связана с численностью населения на одну больничную койку, а инвалидов третьей группы – с ожидаемой продолжительностью жизни при рождении. В модели, не включающей Санкт-Петербург, ожидаемая продолжительность жизни при рождении важна уже для второй группы, а для роста числа инвалидов третьей группы наиболее существенным становится объем выбросов в атмосферу, что показывает наибольшую значимость экологических факторов на инвалидизацию населения уже в «ранней» стадии. Роль профилактики и качества оказываемой медицинской помощи растет по мере борьбы с недугами, способствующими получению уже второй группы инвалидности. Можно предположить, что динамику инвалидов первой группы определяют более узкие параметры, зависящие от качества услуг в конкретных медицинских отраслях.

Таким образом, каждая из групп инвалидности требует собственного подхода, что нужно учитывать при разработке социальной политики. Ни одна из использованных нами независимых переменных не стала «кандидатом» на универсальный предиктор, поэтому представляется, что возможны два направления дальнейших исследований: поиск общего предиктора (как с точки зрения групповой, так и географической дифференциации) и разработка набора критериев для каждой из групп инвалидности.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегий пространственного развития сферы здоровьесбережения, обосновании перспектив развития медицинского туризма в субъектах Российской Федерации, городских округах и муниципальных районах/округах с целью реабилитации и региональной специализации на профилактике групп заболеваний, ведущих к инвалидности.

Список источников

- О признании лица инвалидом: Постановление Правительства Российской Федерации № 588 от 05.04.2022. Электронный ресурс. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204080035> (дата обращения: 07.06.2022).
- Портал правовой статистики. Электронный ресурс. URL: http://crimestat.ru/offenses_map (дата обращения: 23.02.2022).
- Статистический портал «Если быть точным». Электронный ресурс. URL: <https://tochno.st/problems/disability> (дата обращения: 23.02.2022).
- Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 23.02.2022).
- Федеральный реестр инвалидов. Электронный ресурс. URL: <https://sfri.ru/> (дата обращения: 23.02.2022).

Список литературы

- Агафонов Н.Т., Межевич М.Н., Старинский В.Н. 1985. Эволюция региональной среды производства и жизнедеятельности, Л., ИСЭП АН СССР, 51 с.
- Бабенко Е.Ю. 2013. Научные подходы к изучению социальных аспектов инвалидности. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки, 3(175): 13–18.



- Божков Н.И. 2019. Географический аспект интеграции инвалидов в общество. *Международный научно-исследовательский журнал*, 5–1(83): 43–47. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.83.5.009>.
- Каспарьян Ж.Э. 2012. Динамика инвалидности населения Мурманской области: разработка и построение системно-динамической модели. *Труды Кольского научного центра РАН*, 2(9): 138–145.
- Ковалевская Е.С. 2019. Социально-правовые гарантии инвалидов в Российской Федерации: коррупционные риски. *Вестник науки и образования*, 2–1(56): 81–84.
- Нацун Л.Н. 2022. Особенности инвалидности населения Вологодской области в 2017–2021 гг. *Проблемы развития территории*, 26(1): 93–109. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.1.117.7>.
- Селезнева Н.Т., Грузинцев А.В. 2019. Социальная ответственность профессиональной деятельности людей с повышенными потребностями. *Азимут научных исследований: педагогика и психология*, 8(4 (29)): 359–362. <https://doi.org/10.26140/anip-2019-0804-0085>.
- Семенова З.А. 2011. Медико-географический менеджмент: предпосылки становления и развития. В кн.: *Актуальные проблемы современной экономической, социальной и политической географии. Материалы всероссийской научно-практической конференции*, Москва, 20–22 октября 2011. Москва, Московский педагогический государственный университет: 211–214.
- Семенова З.А. 2019. Мониторинг, экспертная оценка и классификация показателей состояния общественного здоровья в регионе. *Социально-экономическая география, Вестник ассоциации российских географов-обществоведов*, 8: 96–114.
- Семенова З.А., Маслова Е.С. 2018. Опыт европейских стран по организации туризма для детей с ограниченными возможностями здоровья. In: *World Science: Problems and Innovations. Международная научно-практическая конференция*, Пенза, 30 апреля 2018. Пенза, Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.): 286–291.
- Чистобаев А.И., Дмитриев В.В., Семенова З.А., Грудцын Н.А., Огурцов А.Н. 2022. Общественное здоровье в регионе: опыт интегральной оценки. *Здравоохранение Российской Федерации*, 66(3): 251–258. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-3-251-258>.
- Goffman E. 1963. *Stigma: Notes on the Management of Spoiled Identity*. N.Y., Prentice-Hall, 147 p.
- Hall E., Wilton R. 2017. Towards a Relational Geography of Disability. *Progress in Human Geography*, 41(6): 727–744. <https://doi.org/10.1177/0309132516659705>.
- Laditka J.N., Laditka S.B. 2018. Work Disability in the United States, 1968–2015: Prevalence, Duration, Recovery, and Trends. *SSM-population Health*, 4: 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2017.12.006>.
- Philibert M., Pampalon R., Daniel M. 2015. Conceptual and Operational Considerations in Identifying Socioenvironmental Factors Associated with Disability Among Community-Dwelling Adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(4): 3814–3834. <https://doi.org/10.3390/ijerph120403814>.
- Owens J. 2015. Exploring the Critiques of the Social Model of Disability: the Transformative Possibility of Arendt's Notion of Power. *Sociology of Health & Illness*, 37(3): 385–403. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.12199>.
- Semenova Z.A., Chistobaev A.I., Dildina V.P. 2020. A Geographic Approach to Measuring and Organising Affordable Medical and Therapeutic Tourism for People with Dementia. *Quaestiones Geographicae*, 39(4): 65–71. <https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0035>.
- Sharma A. 2019. Exploratory and Spatial Analysis of Disability Among Older Asian Indians. *Applied Geography*, 113: 102099. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102099>.
- Sze N.N., Christensen K.M. 2017. Access to Urban Transportation System for Individuals with Disabilities. *Iatss Research*, 41(2): 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.05.002>.
- Wong S., Beljaars D. 2022. Geographies of Disability: On the Potential of Mixed Methods. In: *The Routledge Handbook of Methodologies in Human Geography*. Routledge: 244–256. <https://doi.org/10.4324/9781003038849-22>.

Reference

- Agafonov N.T., Mezhevich M.N., Starinsky V.N. 1985. *Evolyutsiya regional'noi sredy proizvodstva i zhiznedeyatel'nosti [Evolution of the Regional Environment of Production and Vital Activity]*, Leningrad, Publ. ISJeP AN SSSR, 51 p.

- Babenko Ye.Yu. 2013. Scientific Approaches to the Study of the Social Aspects of Disability. University News. North-Caucasian Region. Social Science Series, 3 (175): 13–18 (in Russian).
- Bozhkov N.I. 2019. Geographical Aspect of Integration of Persons with Disabilities in Society. International Research Journal, 5–1(83): 43–47 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.83.5.009>
- Kasparyan Zh.E. 2012. The Dynamics of Disability of the Population of the Murmansk Region: Development and Construction of System Dynamic Model. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2(9): 138–145 (in Russian).
- Kovalevskaya E.S. 2019. Social and Legal Guarantees for Persons with Disabilities in the Russian Federation: Corruption Risks. Vestnik nauki i obrazovaniya, 2–1 (56): 81–84 (in Russian).
- Natsun L.N. 2022. Statistical Analysis of Disability of the Vologda Oblast Population in 2017–2021. Problems of Territory's Development, 26(1): 93–109 (in Russian). <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.1.117.7>.
- Selezneva N.T., Gruzintcev, A. V. 2019. Social Responsibility of Professional Activity of People with Increased Needs. Azimuth of Scientific Research: Pedagogy and Psychology, 8(4 (29)): 359–362 (in Russian). <https://doi.org/10.26140/anip-2019-0804-0085>.
- Semenova Z.A. 2011. Mediko-geograficheskiy menedzhment: predposylki stanovleniya i razvitiya [Medico-Geographic Management: Prerequisites for Formation and Development]. In: Aktual'nye problemy sovremennoi ekonomicheskoi, sotsial'noi i politicheskoi geografii [Current Problems of Modern Economic, Social and Political Geography]. Materials of the All-Russian scientific and practical conference, Moscow, 20–22 October 2011. Moscow, Publ. Moskovskiy pedagogicheskiy gosudarstvennyy universitet: 211–214.
- Semenova Z.A. 2019. Monitoring, Expert Assessment and Classification of Indicators of the State of Public Health in the Region. Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya, Vestnik assotsiatsii rossiiskikh geografov-obshchestvovedov, 8: 96–114 (in Russian).
- Semenova Z.A., Maslova E.S. 2018. The Experience of European Countries in the Tourism for Children with Disabilities. In: World Science: Problems and Innovations. International scientific and practical conference, Penza, 30 April 2018. Penza, Publ. Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.): 286–291 (in Russian).
- Chistobaev A.I., Dmitriev V.V., Semenova Z.A., Grudtcyn N.A., Ogurtsov A.N. 2022. Public Health in the Region: Experience of an Integral Assessment. Health care of the Russian Federation, 66(3): 251–258 (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-3-251-258>.
- Goffman E. 1963. Stigma: Notes on the Management of Spoiled Identity. N.Y., Prentice-Hall, 147 p.
- Hall E., Wilton R. 2017. Towards a Relational Geography of Disability. Progress in Human Geography, 41(6): 727–744. <https://doi.org/10.1177/0309132516659705>.
- Laditka J.N., Laditka S.B. 2018. Work Disability in the United States, 1968–2015: Prevalence, Duration, Recovery, and Trends. SSM-population Health, 4: 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2017.12.006>.
- Philibert M., Pampalon R., Daniel M. 2015. Conceptual and Operational Considerations in Identifying Socioenvironmental Factors Associated with Disability Among Community-Dwelling Adults. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(4): 3814–3834. <https://doi.org/10.3390/ijerph120403814>.
- Owens J. 2015. Exploring the Critiques of the Social Model of Disability: the Transformative Possibility of Arendt's Notion of Power. Sociology of Health & Illness, 37(3): 385–403. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.12199>.
- Semenova Z.A., Chistobaev A.I., Dildina V.P. 2020. A Geographic Approach to Measuring and Organising Affordable Medical and Therapeutic Tourism for People with Dementia. Quaestiones Geographicae, 39(4): 65–71. <https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0035>.
- Sharma A. 2019. Exploratory and Spatial Analysis of Disability Among Older Asian Indians. Applied Geography, 113: 102099. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102099>.
- Sze N.N., Christensen K.M. 2017. Access to Urban Transportation System for Individuals with Disabilities. Iatss Research, 41(2): 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.05.002>.
- Wong S., Beljaars D. 2022. Geographies of Disability: On the Potential of Mixed Methods. In: The Routledge Handbook of Methodologies in Human Geography. Routledge: 244–256. <https://doi.org/10.4324/9781003038849-22>.



*Поступила в редакцию 26.10.2023;
поступила после рецензирования 16.11.2023;
принята к публикации 22.11.2023*

*Received October 26, 2023;
Revised November 16, 2023;
Accepted November 22, 2023*

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

Божков Николай Игоревич, аспирант, высшая школа гостеприимства, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия

Nikolai I. Bozhkov, Ph.D. Student, Higher School of Hospitality, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Диденко Дмитрий Юрьевич, аспирант, факультет политических наук, Европейский университет в Санкт-Петербурге, г. Санкт-Петербург, Россия

Dmitry Yu. Didenko, Ph.D. student, Department of Political Science, European University at St. Petersburg, St. Petersburg, Russia

Чистобаев Анатолий Иванович, доктор географических наук, профессор, кафедра региональной политики и политической географии, Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Anatolii I. Chistobaev, Dr. Sci. in Geography, Prof., Department of Regional Policy & Political Geography, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia



УДК 502.4

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-507-517

Оценка рекреационного воздействия и дигрессии ландшафтов на основных туристических маршрутах Кавказского заповедника

Иванов А.Н., Сафронова А.А., Чижова В.П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Россия, 119234, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1, офис 1820-А

E-mail: a.n.ivanov@mail.ru, sna2772@gmail.com, v.p.chizhova@gmail.com

Аннотация. Обсуждаются вопросы, связанные с организацией экологического туризма в Кавказском заповеднике. Проанализированы три туристических маршрута, по которым в 2022 году прошли около 90 тыс. чел. Выделены основные составляющие рекреационного воздействия на тропах – вытаптывание, активизация эрозионных процессов, повышение увлажнённости, изменение видового состава и проективного покрытия растительности. Установлены стадии рекреационной дигрессии, которые на исследованных маршрутах варьируют от второй до пятой. В целях предотвращения рекреационной дигрессии ландшафтов заповедника разработана программа рекреационного мониторинга туристских маршрутов, отдельно для троп и стоянок. По трём обследованным маршрутам предложено выделить специальные площадки для мониторинга в зависимости от ландшафтной структуры территории, характера рекреационного воздействия на маршруты и стадии их рекреационной дигрессии.

Ключевые слова. Кавказский заповедник, ландшафты, туристические маршруты, рекреационная дигрессия, экологический мониторинг

Благодарности. Работа выполнена в рамках Госзадания «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов» (номер ЦИТИС: 121051300176-1) при поддержке Кавказского заповедника.

Для цитирования: Иванов А.Н., Сафронова А.А., Чижова В.П. 2023. Оценка рекреационного воздействия и дигрессии ландшафтов на основных туристических маршрутах Кавказского заповедника. Региональные геосистемы, 47(4): 507–517. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-507-517

Assessment of Recreational Impacts and Landscape Digression on Main Tourist Routes in the Caucasian Reserve

Andrey N. Ivanov, Anastasia A. Safronova, Vera P. Chizhova

Lomonosov Moscow State University,

office 1820-A, 1 Leninskiye Gory St, Moscow, 119234, Russia

E-mail: a.n.ivanov@mail.ru, sna2772@gmail.com, v.p.chizhova@gmail.com

Abstract. The article discusses the issues related to the organization of ecological tourism in the Caucasian Reserve. Three tourist routes were analyzed, along which about 90 thousand people traveled in 2022. The main components of the recreational impact on trails are identified: trampling, activation of erosion processes, increased humidity, changes in species composition and projective cover of vegetation. Based on the landscape approach, a methodology is proposed for assessing the condition of trails and identifying stages of recreational digression, taking into account the width and depth of the trail, the presence of backup trails, the depth of erosion cuts on the trail, and the characteristics of the vegetation cover. The stages of recreational digression have been established, which on the studied routes vary from the second to the fifth. In order to prevent landscape digression caused by recreational use in the reserve, recreational monitoring program for tourist routes and camps was developed. It was proposed to organize specialized monitoring areas on three examined routes, taking into consideration landscape structure, nature of recreational impacts and recreational digression stage.



Keywords: Caucasian Reserve, landscapes, tourist routes, recreational digression, environmental monitoring

Acknowledgements: The work was done under the state-financed theme "Factors and processes of spatialtemporal organization of natural an anthropogenic landscapes", number CITIS 121051300176-1 with the support of the Caucasian Reserve.

For citation: Ivanov A.N., Safronova A.A., Chizhova V.P. 2023. Assessment of Recreational Impacts and Landscape Digression on Main Tourist Routes in the Caucasian Reserve. *Regional Geosystems*, 47(4): 507–517. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-507-517

Введение

Развитие экологического туризма в заповедниках уже много лет вызывает дискуссии и имеет как своих сторонников, так и противников. Не останавливаясь на более глубоком анализе этой проблемы, которая выходит за рамки настоящей статьи, необходимо отметить, что даже в советское время в некоторых заповедниках существовал достаточно большой поток туристов, сложившийся исторически (заповедники Столбы, Кивач, Тебердинский и др.). К числу таких заповедников относится и Кавказский, по территории которого ещё в середине XX в. проходили Всесоюзные туристические маршруты [Пегова, Шагаров, 2019].

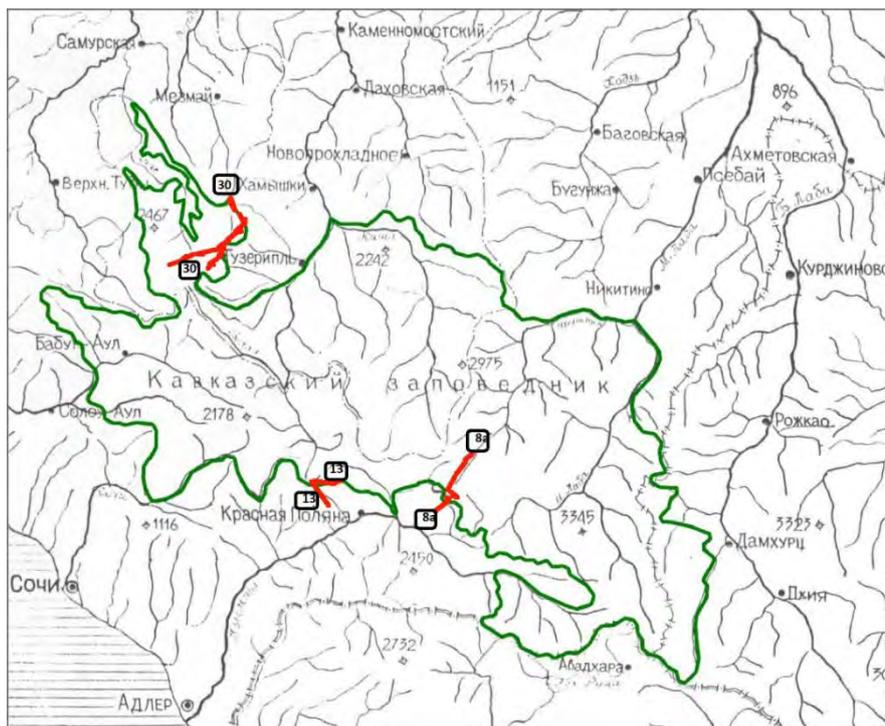
В настоящее время Кавказский заповедник ежегодно посещает около полумиллиона человек, из которых более 90 тыс. чел. проходит однодневные или многодневные туристические маршруты, при этом поток туристов почти с каждым годом возрастает [Кавказский заповедник, 2023]. Заповедник играет ключевую роль в сохранении биологического разнообразия Западного Кавказа, представленности ландшафтного разнообразия в российской сети ООПТ и включён в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Вопросам нормирования рекреационных нагрузок в ООПТ посвящена достаточно обширная литература [Eagles, McCool, 2002; Buckley, 2003; Чижова, 2011; Забелина, 2012; Newsome et al., 2013; Туменова, Жерукова, 2019; Непомнящий и др., 2021, а, б], тем не менее многие вопросы остаются недостаточно разработанными или дискуссионными, особенно с учётом специфики организации туризма в российских заповедниках.

Цель настоящей статьи – на примере трёх наиболее популярных туристских маршрутов Кавказского заповедника проанализировать проблемы, возникающие при их прохождении туристами, и предложить пути их решения. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: выявить ландшафтные особенности исследуемой территории, по которой проходят маршруты; оценить стадии рекреационной дигрессии; разработать предложения к программе рекреационного мониторинга.

Объекты и методы исследований

В основу статьи положены материалы полевых исследований, проводившихся в июле – августе 2022 года в Кавказском заповеднике. Объекты исследований – три туристических маршрута – № 8а, 13 и 30 (рис.), которые являются самыми посещаемыми: по официальным данным заповедника, в 2022 году по ним прошли около 90 тыс. чел. [Кавказский заповедник, 2023].

По ходу маршрутов описывались характеристики природных комплексов (вид ландшафта, крутизна и экспозиция склона, положение в ландшафтной катене), а также показатели, связанные с влиянием туристов: ширина и глубина тропы, развитие эрозионных процессов, наличие троп-дублёров, изменение растительности.



Условные обозначения: Маршрут № 13 – оз. Зеркальное – Купель; Маршрут № 30 – плато Лагонаки; Маршрут № 8а – приют Пихтовый – Бзерпинский карниз – лаг. Холодный

Исследованные маршруты на территории Кавказского заповедника
Explored routes on the territory of the Caucasus Nature Reserve

Интегральным показателем воздействия туристов являлись стадии рекреационной дигрессии на тропе, выделенные по предложенной ранее методике (табл.). Площадки для мониторинга выбирались в зависимости от ландшафтной структуры: по одной или двум площадкам в каждом типе природного комплекса, для которых характерна одна и та же стадия рекреационной дигрессии.

Стадии дигрессии растительного покрова и состояния тропы
[по Яшина, Шаравина, 2005; Чижова, Лукашева, 2022]
Stages of vegetation digression and trail condition

| Стадия дигрессии | Состояние тропы |
|------------------|--|
| 0 | Наиболее устойчивые участки тропы, которые в принципе не поддаются разрушению при проходе по ним туристов (курумники, скальные участки, деревянные лестницы и мосты) |
| 1 | Слегка вытопанные участки с небольшими углублениями полотна тропы по сравнению с остальной поверхностью, состав фитоценоза не изменён |
| 2 | Корни стоящих рядом деревьев местами обнажены, тропа чётко выражена (глубина её более 20 см), в некоторых местах сохранился травяной покров, восстановление фитоценозов сравнительно быстрое |
| 3 | Имеются дополнительные тропы-дублёры в обход различных препятствий (лужи, камни, деревья), в составе фитоценозов появляются сорные виды |
| 4 | Существенные нарушения полотна тропы, вдоль неё по обеим сторонам произрастают сорные виды и антропохоры, в различных местах проявляется эрозия почв; такие участки трудновосстановимы |
| 5 | Полная деградация растительного покрова, эрозия почв, тропа продолжительное время (больше года) естественным путём не восстановима |



Результаты и их обсуждение

Маршрут № 8а (урочище Медвежьи ворота – Бзерпинский карниз – лагерь Холодный). Этот маршрут – один из самых посещаемых в Кавказском заповеднике, его длина около 12 км, перепад высот составляет 491 м (1600–2091 м). За туристический сезон 2022 года по маршруту прошли более 30 тыс. чел. Такая популярность связана с небольшой протяжённостью и относительно лёгкой проходимостью маршрута, хорошей транспортной доступностью (большую часть пути до начала маршрута посетители преодолевают с использованием канатной дороги горнолыжного курорта «Газпром»). Маршрут пересекает две высотных ландшафтных зоны – горно-лесную со среднегорными эрозионно-денудационными ландшафтами под буково-пихтовыми лесами на бурых лесных почвах и горно-луговую с высокогорными денудационными и палеогляциальными ландшафтами с комплексом субальпийских лугов и редколесий на горно-луговых почвах [Беручашвили, 1979].

Средняя ширина тропы по всему маршруту составляет 1,2 метра. Большая часть тропы находится на 3-й и 4-й стадиях рекреационной дигрессии, некоторые участки – на 5-й стадии. Среди всех ландшафтов особенно выделяется весьма неоднородный по рельефу участок на склонах г. Табунной в зоне субальпийских лугов и редколесий – наиболее уязвимый участок всего маршрута к воздействию туристов. Это связано с его большой крутизной, незалесенностью, а также повышенным потоком туристов до Бзерпинского карниза. По ходу маршрута выделяются два участка, где особенно проявляется активное развитие глубинной эрозии и поверхностного размыва почвы – это крутой склон выше урочища Медвежьи Ворота (крутизна склона в некоторых местах здесь превышает 40°) и часть тропы в зоне кленово-буковых лесов у реки Уруштен (этот участок также выделяется по крутизне). На относительно пологих участках маршрута в долине р. Уруштен сильное влияние туристов обусловлено повышенной влажностью, здесь часто появляются обходы мокрых мест с большим количеством дублёров тропы.

В разных ландшафтных условиях на общее состояние окружающей территории и её восприятие влияют различные факторы. В частности, в горно-лесной зоне с пихтовым лесом определяющий фактор, меняющий облик ландшафта, – это ширина тропы. Участок в пихтовом лесу единственный из всех выделяется по ширине тропы (более 2 м почти на всём своём протяжении). Это связано с большим туристическим потоком и крутизной склона, которая обуславливает наличие вдоль тропы значительного количества мест отдыха, увеличивающих её ширину. Лесная растительность способствует сравнительно слабому проявлению эрозии непосредственно по тропе, так как кроны деревьев перехватывают большую часть атмосферных осадков. Во всех других природных комплексах ширина тропы не выходит за рамки среднего значения. В луговых ландшафтах из-за плоского рельефа образуется множество дублёров тропы (вытаптывание происходит более локально, но параллельно в нескольких местах), а повышенное увлажнение в некоторых местах этому ещё более способствует.

Маршрут № 13 («К Ачипсинским водопадам», исследовался до оз. Зеркального) находится в пределах хр. Ачишхо. Длина исследованного участка маршрута составляет 5,6 км, перепад высот – около 1000 м. Маршрут начинается на выположенном гребне хр. Ачишхо недалеко от Хмелевских озёр (1770 м н.у.м.) и далее идёт траверсом по склонам южной и юго-западной экспозиции этого же хребта, достигая своей высшей точки в районе стоянки туристов заповедника у озера Зеркального (1873 м н.у.м.). Спуск проходит по склонам хребта южной экспозиции в долину р. Бешенки (притока реки Мзымты) и заканчивается рядом с одним из самых популярных рекреационных объектов этого района – Купелью. Из трёх исследованных маршрутов заповедника этот является наименее посещаемым (в 2022 году за туристический сезон его посетило около 5,5 тыс. чел.). Вместе с тем он является третьим из всех маршрутов заповедника по количеству

посетителей. Это связано с удобным расположением (непосредственная близость к пос. Красная Поляна, т. е. начало маршрута вполне доступно для отдыхающих), наличием живописных водных экосистем – озёр тектонического происхождения и водопадов, а также возможностью как многодневных, так и однодневных походов. Однако доступность маршрута при существующем не очень высоком экологическом образовании населения приводит к негативным факторам – посещению территории заповедника без пропуска, иногда с домашними животными, организации стоянок в неразрешённых местах. Это влияние особенно проявляется в нижних частях маршрута в районе Купели.

Тропа проходит в основном по среднегорным эрозионно-денудационным ландшафтам с буковыми лесами с вечнозелёным подлеском на горно-лесных бурых слабонасыщенных среднесуглинистых почвах, которые на отдельных участках в местах лавинных прочёсов замещаются полянами с субальпийскими высокотравными лугами. Средняя ширина тропы на маршруте составляет 1,5 м. Большая часть тропы находится на 2-й и 3-й стадиях рекреационной дигрессии, местами встречается 4-я стадия. Более высокая стадия дигрессии характерна для горно-луговых ландшафтов с субальпийскими лугами, где активнее проявляются процессы эрозии по сравнению со склонами, занятыми лесом (даже при аналогичной крутизне). Очевидно, это связано со способностью лесной растительности переводить поверхностный сток в подземный и закреплять склоны корневой системой. Меньшее влияние испытывают ПТК широколиственных лесов на пологих склонах – несмотря на большую ширину тропы (больше средней по всему маршруту), влияние туристов здесь сосредоточено только в пределах этой тропы, а прилегающая растительность по большей части остаётся неизменённой. По этому участку также не наблюдается никаких следов эрозионных процессов, зарождающихся по тропам.

Маршрут № 30 (по Лагонакскому нагорью до озера Псенодах). Этот маршрут сильно отличается от описанных выше как по природным условиям, так и истории природопользования. С 1924 года эта территория входила в «Государственный Кавказский зубровый заповедник» и находилась в режиме ограниченного хозяйственного использования, который подразумевал регламентированный выпас скота на горно-луговых участках и туризм. В 1949 году был официально открыт Всесоюзный туристический маршрут № 30, носивший название «По Западному Кавказу». Весь маршрут представляет собой тропу длиной более 50 км, который имеет различные вариации и ведёт через плато Лагонаки к Чёрному морю. Он всегда пользовался и пользуется большой популярностью у туристов. С 1951 года вследствие значительного сокращения площади заповедников в России после известного указа И.В. Сталина территория Лагонакского нагорья находилась в режиме интенсивной эксплуатации пастбищ и лесных ресурсов вплоть до 1990 года, в отдельные годы нагрузка доходила до 60 тыс. голов скота [Кавказский заповедник, 2023]. В настоящее время Лагонакское нагорье входит в состав заповедника в статусе биосферного полигона, который помимо задач по охране и мониторингу восстанавливающихся экосистем предполагает более широкие возможности природопользования, чем на большей части заповедника.

Нами исследовалась самая нагруженная часть маршрута протяжённостью около 13,5 км от контрольно-пропускного пункта заповедника «Лагонаки» до котловины, где находится ледниково-карстовое озеро Псенодах. Перепад высот по маршруту – около 330 м. Большая часть маршрута проходит по пологоволнистой поверхности плато Лагонаки, занятой субальпийскими среднетравными лугами (злаково-разнотравными, бобово-злаковыми и разнотравными) на горно-луговых субальпийских остаточнокarbonатных среднесуглинистых почвах. Луга были сильно нарушены выпасом, однако сейчас отмечается активное восстановление и расширение площади произрастания характерного естественного доминанта субальпийских среднетравных лугов – вейника тростниковидного, что позволяет говорить о возвращении фитоценозов к допастбищному состоянию [Акатов, Акатова, 2018]. Большая часть ландшафтов сложена



известняково-доломитовой и пестроцветной (известняк, глина, мергель, песчаник) толщами верхней юры. Наличие карстующихся пород обусловило уникальную насыщенность территории формами карстового рельефа и их исключительное разнообразие.

Этот маршрут является самым посещаемым в заповеднике, в 2022 году по нему прошло более 53 тыс. чел. Вследствие этого и длительной истории природопользования по всей тропе выделяются преимущественно 4-я и 5-я стадии рекреационной дигрессии. Средняя ширина тропы по маршруту составила 1,8 м. Самые нарушенные ландшафты находятся на основной поверхности карстового плато, занятой субальпийскими лугами. На этой территории можно выделить сразу несколько факторов, учитываемых при оценке стадий дигрессии – заметное обеднение видового состава, высоты и проективного покрытия растительного покрова, глубинная эрозия, наличие большого количества дублёров тропы. Эти участки уязвимее, чем остальные на данном маршруте, в том числе из-за выпаса скота, поскольку здесь снижена продуктивность растительности и активнее идут эрозионные процессы. Несмотря на небольшую крутизну склонов, эрозионные процессы по тропе активизируются на вытоптаных участках почти на всех нарушенных выпасом территориях. Это свидетельствует об уплотнении почвы и уменьшении её водопроницающих свойств.

Общими закономерностями на всех трёх маршрутах является большее развитие эрозионных процессов в горно-луговой зоне по сравнению с горно-лесной. Это проявляется, прежде всего, в общем углублении полотна тропы и заложении глубоких рытвин. Кроме того, на лугах сильнее проявляется изменение видового состава фитоценозов, появление большего числа видов-антропохоров. Большая часть троп на маршрутах в горно-луговой зоне находится на 4-й и 5-й стадиях рекреационной дигрессии, причём вне зависимости от крутизны склонов.

В горно-лесных ландшафтах, напротив, стадии дигрессии зависят от крутизны склонов, при этом чем меньше уклон тропы, тем слабее воздействие непосредственно на полотно тропы, но сильнее проявляется влияние туристов на прилегающую территорию (увеличивается ширина тропы, больше меняется растительность, причём не столько видовой состав травяного яруса, сколько его проективное покрытие). Активизация эрозионных процессов в лесу сдерживается древесной растительностью. В большинстве случаев влияние туристов на прилегающую территорию не выходит за пределы 3 м от тропы.

В целом основная проблема на всех трёх маршрутах – формирование новых эрозионных форм, спровоцированное вытаптыванием. На выположенных участках к этому добавляется формирование сырых и мокрых гигротопов вследствие уплотнения почвы и ухудшения почвенного дренажа, и соответственно появления троп-дублёров. В большинстве случаев обе проблемы можно решить с помощью формирования искусственных настилов или отсыпки участка тропы щебнем, однако и то, и другое требует достаточно серьёзных материальных вложений. Вместе с тем эта практика распространена во многих ООПТ мира, а с недавних пор и в России.

Экологический (в том числе рекреационный) мониторинг. В соответствии с действующим законодательством проведение экологического мониторинга на своей территории является одной из основных задач всех федеральных ООПТ России. Разработаны общие методические рекомендации по организации экологического мониторинга в ООПТ [Стишов, Троицкая, 2017]. Несколько позже были разработаны методические рекомендации по организации на ООПТ системы одного из частных видов экологического мониторинга – рекреационного [Непомнящий и др., 2021a]. В Кавказском заповеднике в течение достаточно длительного времени проводится мониторинг отдельных объектов живой и неживой природы [Акатов и др., 2021], однако без учёта влияния туристов на природные комплексы.

Работы по рекреационному мониторингу были начаты в Кавказском заповеднике сравнительно недавно и включали в себя ботанические исследования (проективное покрытие и высота травостоя, видовое разнообразие, виды-индикаторы рекреационного воздействия). На наш взгляд, с учётом изложенного выше, необходимо расширить программу мониторинга на маршрутах и сделать её более комплексной, причём разной для троп и стоянок. Выбор площадок для мониторинга должен определяться ландшафтной структурой территории, интенсивностью развития экзогенных процессов, стадиями рекреационной дигрессии. Рекреационную ёмкость маршрутов необходимо регулировать в зависимости от степени сохранности природных комплексов, испытывающих антропогенную нагрузку.

Мониторинг каждого туристского маршрута должен проводиться не реже двух (в отдельных, наиболее сложных случаях – не реже трёх раз в год): до начала туристского сезона, во время пиковых нагрузок и после его окончания [Muhar et al., 2002]. Регулирование ёмкости маршрута в сторону её уменьшения или увеличения проводится с учётом данных мониторинга, сезонов года, погодных условий и иных факторов. Для условий Кавказского заповедника одним из основных лимитирующих (и в то же время стимулирующих) факторов является чрезвычайно высокая плотность туристских потоков в летние месяцы. При появлении признаков заметной дигрессии почвенного и растительного покрова, а также других проявлений деградации природного комплекса в результате его туристско-экскурсионного использования необходимо снизить нагрузку и/или провести восстановительную рекультивацию. Параллельно рекомендуется увеличить количество площадок мониторинга за счёт выделения новых в наиболее дигрессивных условиях. Основанием для этого служит оценка стадий дигрессии на всём протяжении туристского маршрута. Помимо этого, в некоторых случаях следует рассмотреть возможность увеличения привлекательности других туристических маршрутов, не испытывающих большой нагрузки в настоящее время, но имеющих достаточно высокий рекреационный потенциал [Marion et al., 2006].

На тропах основными составляющими рекреационного мониторинга должны быть следующие показатели: ширина и глубина тропы, наличие троп-дублёров, глубина эрозионных врезов на полотне тропы, характеристики растительного покрова (проективное покрытие, видовое разнообразие и высота травостоя, обилие и состояние подроста на полотне тропы и в пределах 3 м от неё, наличие видов-антропохоров). На стоянках набор показателей мониторинга несколько иной: площадь стоянки, степень замусоренности, характеристики почвенного покрова (мощность гумусового горизонта, плотность, структура и влажность почвы), а также аналогичные тропам характеристики растительности.

На изученных нами маршрутах, в зависимости от ландшафтной структуры и стадии рекреационной дигрессии, предложено заложить 31 площадку для рекреационного мониторинга (в среднем одна площадка на 1 км маршрута). Площадки целесообразно закладывать в каждом виде ландшафта, особенно в природных комплексах, находящихся на четвёртой и пятой стадиях рекреационной дигрессии с активным развитием эрозионных процессов. Как уже было указано, мониторинговые исследования рекомендуется проводить как минимум два раза в год – в начале и в конце туристического сезона. Сформированные таким образом в течение нескольких лет ряды наблюдений позволят выявить тенденции изменения природных комплексов под воздействием туристов и классифицировать их – от допустимых до негативных. Наиболее распространённым методическим подходом в настоящее время является методика предельно допустимых изменений, в основе которой лежит представление о том, какие изменения руководство ООПТ считает приемлемыми [Watson et al., 2000; Туризм и управление туристскими потоками на ООПТ, 2018]. В случае ухудшения состояния природных комплексов, выходящих за пределы допустимых изменений, нагрузка на тропы снижается или маршрут временно «консервируется».



Заключение

Одной из наиболее актуальных проблем Кавказского заповедника в настоящее время является регулирование рекреационных нагрузок на туристических маршрутах при условии сохранения уникальной природы. В рамках решения этой проблемы перед заповедником стоят следующие задачи: снижение негативного воздействия туризма на территорию без существенного уменьшения количества туристов; реализация мероприятий и внедрение инфраструктурных решений, направленных на снижение количества нарушений; дальнейшее вовлечение волонтеров и местного населения в деятельность по пропаганде идей и организации экологически ответственного туризма.

Для решения этих задач и всей проблемы в целом в системе экологического мониторинга в заповеднике необходимой составляющей должен быть мониторинг состояния троп на туристических маршрутах. На основе ландшафтного подхода нами предложена методика оценки состояния троп и выделения стадий рекреационной дигрессии. При этом учитывается множество показателей дигрессии: ширина и глубина тропы, наличие троп-дублёров, глубина эрозионных врезов на полотне тропы, характеристики растительного покрова и др. Основные составляющие влияния туристов на ПТК в ходе маршрутов: вытаптывание, активизация эрозионных процессов, повышение увлажнения, изменение видового состава и проективного покрытия растительности. Как показало проведённое нами исследование, на трёх наиболее нагруженных маршрутах стадии рекреационной дигрессии по тропам варьируют от второй до пятой. Наиболее высокие стадии дигрессии (четвёртая и пятая) наблюдаются в горно-луговой зоне в ПТК с субальпийскими лугами. Программа рекреационного мониторинга должна формироваться с учётом ландшафтной структуры территории и стадий рекреационной дигрессии. Для трёх исследованных маршрутов предложена 31 площадка для мониторинга, при этом для полотна тропы и стоянок необходимо использовать разные показатели. Исследования на мониторинговых площадках необходимо проводить дважды в год – в начале и в конце туристического сезона.

Авторы выражают глубокую благодарность всем сотрудникам Кавказского заповедника, оказавшим большую помощь во время полевых работ и в предоставлении материалов, в особенности м.н.с. А.И. Сотниковой и заместителю директора по экологическому просвещению О.В. Пеговой.

Список источников

- Беручашвили Н.Л. 1979. Ландшафтная карта Кавказа. Тбилиси: ТГУ.
- Кавказский заповедник. Электронный ресурс. URL: <https://www.kavkazzapoved.ru/> (дата обращения 20.09.2023).
- Непомнящий В.В., Завадская А.В., Чинова В.П. 2021а. Методические рекомендации по организации системы комплексного рекреационного мониторинга на особо охраняемых природных территориях. Новосибирск, Наука, 136 с.
- Непомнящий В.В., Завадская А.В., Чинова В.П. 2021б. Методические рекомендации по определению рекреационной ёмкости особо охраняемых природных территорий. Новосибирск, Наука, 96 с.
- Стишов М.С., Троицкая Н.И. 2017. Организация экологического мониторинга на особо охраняемых природных территориях. М., ВВФ России, 139 с.
- Туризм и управление туристскими потоками на ООПТ: руководство по обеспечению устойчивого развития. Серия руководств по применению принципа лучших практик в сфере управления особо охраняемыми природными территориями. 2018. Т. 27. Гланд, Швейцария, МСОП, 120 с.

Список литературы

- Акатов В.В., Акатова Т.В. 2018. Изменения сообществ субальпийских лугов Лагонакского нагорья после прекращения выпаса. Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника, 23: 72–90.
- Акатов В.В., Акатова Т.В., Акатова Ю.С., Бибин А.Р., Бибина К.В., Грабенко Е.А., Ескин Н.Б., Ескина Т.Г., Локтионова О.А., Перевозов А.Г., Резчикова О.Н., Спасовский Ю.Н., Трепет С.А., Чумаченко Ю.А. 2021. Экологический мониторинг в Кавказском заповеднике: направления и основные результаты. Труды Мордовского государственного природного заповедника, 28: 24–39.
- Забелина Н.М. 2012. Сохранение биоразнообразия в национальном парке. Смоленск, Ойкумена, 176 с.
- Пегова О.В., Шагаров Л.М. 2019. Туризм и туристы на ООПТ – путь к осознанности и устойчивости. В кн.: Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Всероссийская научно-практическая конференция, Сочи, 2–4 октября 2019. Сочи, ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Донской издательский центр: 236–241.
- Туменова С.А., Жерукова А.Б. 2019. Устойчивый туризм на особо охраняемых природных территориях. Нальчик, Принт Центр, 168 с.
- Чижова В.П. 2011. Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. Смоленск, Ойкумена, 176 с.
- Чижова В.П., Лукашева М.А. 2022. О методике проведения мониторинга горных туристских маршрутов на основе оценки их экологического состояния (на примере маршрута «К водопаду Учар», Алтайский заповедник). В кн.: Экологический мониторинг на ООПТ. Труды VII Международной научно-практической конференции «Чтения памяти Н.М. Пржевальского», Смоленск, 1–3 декабря 2022. Смоленск, Маджента: 166–169.
- Яшина Т.В., Шаравина Л.В. 2005. К вопросу определения допустимых рекреационных нагрузок в ООПТ (на примере Катунского хребта). Труды заповедника «Тигирекский», 1: 126–129. https://doi.org/10.53005/20767390_2005_1_126.
- Buckley R.C. 2003. Ecological Indicators of Tourist Impacts in Parks. *Journal of Ecotourism*, 2(1): 54–66. <https://doi.org/10.1080/14724040308668133>.
- Eagles P.F.J., McCool S.F. 2002. *Tourism in National Parks and Protected Areas: Planning and Management*. Wallingford, UK, CABI, 320 p. <https://doi.org/10.1079/9780851995892.0000>.
- Marion J.L., Leung Y.F., Nepal S. 2006. Monitoring Trail Conditions: New Methodological Considerations. *George Wright Forum*, 23(2): 36–49.
- Muhar A., Arnberger A., Brandenburg C. 2002. *Methods for Visitor Monitoring in Recreational and Protected Areas: An Overview. Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*. Institut for Landscape Architecture & Landscape Management Bodenkultur University Vienna: 1–6.
- Newsome D., Moore S.A., Dowling R.K. 2013. *Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management (2nd ed.)*. Bristol, UK, Channel View, 206 p.
- Watson A., Cole D., Turner D., Reynolds P. 2000. *Wilderness Recreation Use Estimation: a Handbook of Methods and Systems*. USA, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 198 p.

References

- Akatov V.V., Akatova T.V. 2018. *Izmeneniya soobshchestv subal'piyskikh lugov Lagonakskogo nagor'ya posle prekrashcheniya vypasa [Changes in Communities of Subalpine Meadows of the Lagonaki Highlands After the Cessation of Grazing]*. *Trudy Kavkazskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika*, 23: 72–90.
- Akatov V.V., Akatova T.V., Akatova Yu.S., Bibin A.R., Bibina K.V., Grabenko E.A., Eskin N.B., Eskin T.G., Loktionova O.A., Perevozov A.G., Rezchikova O.N., Spasovsky Yu.N., Trepets S.A., Chumachenko Yu.A. 2021. *Ecological Monitoring in the Caucasian Nature Reserve: Directions and Main Results*. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika*, 28: 24–39 (in Russian).



- Zabelina N.M. 2012. Sokhranenie bioraznoobraziya v natsional'nom parke [Biodiversity Conservation in the National Park]. Smolensk, Publ. Oykumena, 176 p.
- Pegova O.V., Shagarov L.M. 2019. Turizm i turisty na OOPT – put' k osoznannosti i ustoychivosti [Tourism and Tourists in Protected Areas – the Path to Awareness and Sustainability]. In: Ustoychivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy [Sustainable Development of Specially Protected Natural Areas]. All-Russian Scientific and Practical Conference, Sochi, 2–4 October 2019. Sochi, Publ. GKU KK «Prirodnyy ornitologicheskiiy park v Imeretinskoj nizmennosti», Donskoy izdatel'skiy tsentr: 236–241.
- Tumenova S.A., Zherukova A.B. 2019. Sustainable Tourism in Specially Protected Natural Territories. Nal'chik, Publ. Print Tsentr, 168 p. (in Russian).
- Chizhova V.P. 2011. Rekreacionnye landshafty: ustoychivost', normirovanie, upravlenie [Recreational Landscapes: Sustainability, Regulation, Management]. Smolensk, Publ. Oykumena, 176 p.
- Chizhova V.P., Lukasheva M.A. 2022. O metodike provedeniya monitoringa gornyx turistskikh marshrutov na osnove otsenki ikh ekologicheskogo sostoyaniya (na primere marshruta «K vodopadu Uchar», Altayskiy zapovednik) [On the Methodology for Monitoring Mountain Tourist Routes Based on an Assessment of Their Ecological Condition (Using the Example of the Route “To the Uchar Waterfall”, Altai Nature Reserve)]. In: Ekologicheskiiy monitoring na OOPT [Environmental Monitoring in Protected Areas]. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference “Readings in Memory of N.M. Przhevalsky”, Smolensk, 1–3 December 2022. Smolensk, Publ. Madzhenta: 166–169.
- Yashina T.V., Sharavina L.V. 2005. Recreational Loads within Protected Areas (on Example of Katunsky Ridge). Trudy zapovednika «Tigirekskiy», 1: 126–129 (in Russian). https://doi.org/10.53005/20767390_2005_1_126.
- Buckley R.C. 2003. Ecological Indicators of Tourist Impacts in Parks. Journal of Ecotourism, 2(1): 54–66. <https://doi.org/10.1080/14724040308668133>.
- Eagles P.F.J., McCool S.F. 2002. Tourism in National Parks and Protected Areas: Planning and Management. Wallingford, UK, CABI, 320 p. <https://doi.org/10.1079/9780851995892.0000>.
- Marion J.L., Leung Y.F., Nepal S. 2006. Monitoring Trail Conditions: New Methodological Considerations. George Wright Forum, 23(2): 36–49.
- Muhar A., Arnberger A., Brandenburg C. 2002. Methods for Visitor Monitoring in Recreational and Protected Areas: An Overview. Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas. Institut for Landscape Architecture & Landscape Management Bodenkultur University Vienna: 1–6.
- Newsome D., Moore S.A., Dowling R.K. 2013. Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management (2nd ed.). Bristol, UK, Channel View, 206 p.
- Watson A., Cole D., Turner D., Reynolds P. 2000. Wilderness Recreation Use Estimation: a Handbook of Methods and Systems. USA, Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 198 p.

*Поступила в редакцию 26.09.2023;
поступила после рецензирования 09.11.2023;
принята к публикации 22.11.2023*

*Received September 26, 2023;
Revised November 09, 2023;
Accepted November 22, 2023*

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

Иванов Андрей Николаевич, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической географии и ландшафтоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey N. Ivanov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Landscape Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia



Сафронова Анастасия Алексеевна, инженер кафедры физической географии и ландшафтоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Anastasia A. Safronova, Engineer of Department of Physical Geography and Landscape Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Чижова Вера Павловна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физической географии и ландшафтоведения, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Vera P. Chizhova, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher at the Department of Physical Geography and Landscape Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia



УДК 433
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-518-529

Территориальная организация овощеводства в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе Азербайджанской Республики

^{1,2}Алескарзаде И.И.

¹Лянкяранский Государственный Университет,
Азербайджанская Республика, 4200, г. Лянкярань, пр. Генерала Гази Асланова, 50

²Европейская Азербайджанская Школа,
Азербайджанская Республика, 1128, г. Баку, ул. А. Аббасзаде, 7С

E-mail: ismayil.aleskerzadah@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрены факторы, влияющие на территориальную организацию, рентабельность и товарность современных сортов овощей, адаптированных к местным условиям и отличающихся урожайностью, в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе. В качестве источника использовались статистические показатели, полученные от областных управлений Государственного комитета по статистике Азербайджанской Республики, материалы Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства, полученные материалы и исследования, проведенные на перерабатывающих предприятиях, а также различные литературные материалы. В исследовании использовались статистические, сравнительные и наблюдательные методы. Согласно отчету по производству овощей в Азербайджане за 2021 год Центра аграрных исследований при Министерстве сельского хозяйства, в 2020 году 97,3 % экспортируемых из Азербайджана овощей пришлось на долю России. Первый урожай томатов, высаженных в открытом грунте в экономическом районе, приходится на конец июня, а первый урожай в Республике Дагестан Российской Федерации, которая является основным внешним рынком сбыта продукции, приходится на 10 июля. Это определяет период реализации заготовленного продукта. Установлено, что благодаря высокой урожайности и широкому применению в консервировании, сорт огурцов «Азери» является наиболее предпочтительным для выращивания. При росте производства овощей в республике в течение 2009–2019 годов в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе наблюдалось снижение производства овощей. Основная причина этого в том, что Лянкяранско-Астаринский экономический район уступает в области овощеводства другим регионам, где овощи выращиваются в тепличных условиях.

Ключевые слова: овощеводство, районированные сорта, выращивание помидоров, выращивание баклажанов, рентабельность сортов, территориальная организация

Для цитирования: Алескарзаде И.И. 2023. Территориальная организация овощеводства в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе Азербайджанской Республики. Региональные геосистемы, 47(4): 518–529. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-518-529

The Territorial Organization of Vegetable Growing in Lankaran-Astara Economic-Geographical Region

^{1,2}Ismayil Ibrahim Alaskarzada

¹Lankaran State University
50 General Hazi Aslanov Av., Lankaran 4200, Azerbaijan Republic

²European Azerbaijan School
7C A. Abbaszadeh str., Baku 1128, Azerbaijan Republic

E-mail: ismayil.aleskerzadah@gmail.com

Abstract. The aim of the article is to examine the factors in the Lankaran-Astara economic and geographical region that affect the territorial organization, profitability, and marketability of modern vegetable varieties adapted to local conditions and differing in yield. Materials and methods: Statistical indicators obtained from the regional offices of the State Committee on Statistics of the Republic of Azerbaijan, materials from the Lankaran Experimental Station of the Institute of Vegetable Growing, materials and research conducted at processing enterprises, as well as various resources. Statistical, comparative, and observational methods were used in the study. Results and discussion: According to the report on vegetable production in Azerbaijan for 2021 by the Center for Agricultural Research at the Ministry of Agriculture, 97.3 % of vegetables exported from Azerbaijan were destined for Russia in 2020. The first harvest of tomatoes grown in the open ground in the economic region falls at the end of June, while the first harvest in the Republic of Dagestan of the Russian Federation, which is the main external market for the sale of the product, falls on July 10. This determines the period of realization of the manufactured product. It has been established that due to its high yield and wide use in canning the “Azeri” cucumber variety is the most preferred for cultivation. Conclusions: A decrease in vegetable production was observed in the Lankaran-Astara economic and geographical region, while vegetable production in the republic during 2009–2019 generally increased. The main reason for this is that the Lankaran-Astara economic region lags behind other regions in vegetable growing, where vegetables are grown in greenhouses. The provided experiments demonstrate that the tomato variety cultivated in the Lankaran administrative district, “Zafar” exhibits a high marketable performance. Therefore, it would be expedient to incentivize the cultivation of this variety in other regions within the Lankaran-Astara economic-geographical region. The results of the study indicate that the exploration and application of organic fertilizers and biohumus would be economically prudent.

Keywords: Vegetable farming, regionalized varieties, cultivation of tomatoes, eggplants cultivation profitability of varieties, territorial organization

For citation: Alaskarzada I.I. 2023. The Territorial Organization of Vegetable Growing in Lankaran-Astara Economic-Geographical Region. *Regional Geosystems*, 47(4): 518–529. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-518-529

Введение

Статья посвящена территориальной организации овощеводства в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе. На основе статистических, наблюдательных и анкетных материалов изучена современная территориальная организация выращивания овощей в районе, составлены таблицы, карта и диаграммы. В целях обеспечения населения продовольствием и продовольственной безопасностью развитие овощеводства следует считать приоритетным направлением. В разное время в Азербайджане принимались меры в этом направлении и высокие результаты были достигнуты в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе, обладающем благоприятными почвенно-климатическими условиями для овощеводства. Производимые овощи и овощная продукция экспортируются на рынки района, столицы, а также на зарубежные рынки. Выращивание овощей является одним из наиболее востребованных направлений развития аграрного сектора Азербайджанской Республики, изучению которого с экономико-географической точки зрения пока уделяется недостаточно внимания. По данным Центра аграрных исследований при Министерстве сельского хозяйства Азербайджана, стоимость объема импорта овощей в стране в 2022 году составила около 31,7 млн долларов США за 41,7 тыс. т различных овощей, а стоимость объема экспорта составляет около 183,7 млн долларов США за 169,5 т, поэтому комплексное изучение этой отрасли является приоритетной задачей.

Объекты и методы исследования

В исследовании использованы первоисточники и отчеты сельскохозяйственных и районных управлений Комитета статистики Лянкяранского и Астаринского



административных районов, а также положения государственных программ, материалы исследований и отчеты Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства. В ходе исследования использовались методы сравнения, статистического опроса, системного подхода, анализа, синтеза и полевых исследований. При этом, согласно методу выборочного наблюдения, были собраны необходимые материалы для исследования, проведен опрос в хозяйствах с учетом природных условий и географического положения сел. Также был изучен ряд факторов, влияющих на производительность и качество продукции.

После избрания главой Республиканской партийной организации, общенациональный лидер Гейдар Алиев особое внимание стал уделять развитию овощеводства и садоводства в Азербайджане. Впервые было начато выращивание свежих овощей. В целях повышения урожайности были приняты меры по развитию семеноводства овощных культур. Также для своевременной и правильной организации перевозок и в целях достижения экономической эффективности была обеспечена погрузочно-разгрузочная техника на железнодорожных станциях. Для отправки овощей был расширен Лянкяранский аэропорт, в его составе была создана автобаза с 210 рефрижераторами. Для минимизации потерь овощей при хранении были также построены овощехранилища и холодильники. За время его правления производство овощей в Лянкяране за 10 лет увеличилось в 2,6 раза, а урожайность овощей за этот период составила 259 ц/га [Алиев, 1997].

Транспортный фактор также играет важную роль в территориальной организации сельского хозяйства. Расположение экономико-географического района на северо-южном транспортном коридоре, а также наличие железных дорог и аэропортов способствует экспорту продукции. Общая протяженность железной дороги в пределах области 100,5 км. В экономико-географическом районе на каждый км² приходится 1,6 км, и на каждые 1000 человек – 0,21 км железных дорог. Железнодорожная линия, проходящая по территории Астаринского и Лянкяранского административных районов, имеет большое значение в развитии хозяйства [Алиева, 2011]. По статистике 2019 года протяженность дорог общего пользования в экономико-географическом районе достигла 1979 км, большая часть городских и сельских дорог заменена на асфальтовые. В то же время прохождение северо-южного транспортного коридора, к которому Азербайджан присоединился в 2005 году, и Лянкяранского аэропорта, который был введен в эксплуатацию после восстановления в 2008 году, способствует экспорту продукции за счет укрепления транспортной сети в экономико-географическом регионе.

Овощам требуется больше влаги в почве, чем другим растениям, что формирует сочные продуктивные органы, которые состоят в основном из воды. Растения имеют повышенную потребность в воде для своих физиологических процессов и значительно меньшую активность поглощения воды корнями. К тому же 98 % поглощаемой воды расходуется на транспирацию и лишь 2 % остается растению. Поэтому недостаточное увлажнение среды обитания овощных растений всегда приводит к значительному уменьшению урожая и ухудшению его качества. Важно отметить, что коэффициент водопотребления существенно варьирует в зависимости от различных климатических зон, плодородия почвы, уровня технологии возделывания, величины урожая [Окружающая среда ..., 2016].

В последние годы количество осадков в летние месяцы уменьшилось по сравнению с предыдущими годами. Это увеличивает себестоимость продукции за счет увеличения потребности в орошении (табл. 1).

В Лянкяранском и Астаринском административных районах из-за очень малого количества осадков летом, а также в засушливые весенние и осенние месяцы есть необходимость в искусственном орошении, которое обычно начинается во второй половине мая [Гусейнов, 2016; Габибова, Мухортова, 2019]. С мая по конец августа в

экономико-географическом районе выпадает всего 150 мм осадков. Из-за этого появляется необходимость в искусственном орошении в эти месяцы [Гасанов, 2021].

Таблица 1
Table 1

Годовой показатель осадков (мм) Лянкяранской метеостанции
и среднемесячная температура воздуха (°C)
Annual precipitation (mm) of the Lankaran meteorological station
and average monthly air temperature (°C)

| месяцы | Годы | | | | | | | |
|--------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 2005 | | 2010 | | 2015 | | 2020 | |
| | мм | °C | мм | °C | мм | °C | мм | °C |
| I | 31,8 | 5,3 | 38,0 | 3,8 | 98,8 | 5,3 | 175,9 | 5,7 |
| II | 147,7 | 3,8 | 32,5 | 7,8 | 241,6 | 6,0 | 60,7 | 8,0 |
| III | 91,9 | 8,4 | 29,1 | 9,3 | 123,2 | 8,3 | 156,9 | 9,7 |
| IV | 77,5 | 12,9 | 129,1 | 10,1 | 29,0 | 12,0 | 180,3 | 11,4 |
| V | 37,3 | 19,4 | 24,7 | 18,1 | 22,5 | 18,8 | 21,8 | 18,7 |
| VI | 25,8 | 22,2 | 14,3 | 23,2 | 0,0 | 25,1 | 2,6 | 24,9 |
| VII | - | 26,5 | 0,7 | 26,9 | 49,0 | 26,2 | 2,4 | 26,0 |
| VIII | 16,6 | 26,1 | 206,1 | 23,6 | 42,5 | 26,0 | 23,5 | 24,0 |
| IX | 78,3 | 22,6 | 166,6 | 20,6 | 57,3 | 23,0 | 100,4 | 22,5 |
| X | 95,0 | 16,6 | 95,0 | 17,6 | 523,3 | 16,1 | 47,8 | 17,0 |
| XI | 232,5 | 11,2 | 138,7 | 12,4 | 288,5 | 10,4 | 217,2 | 11,0 |
| XII | 86,2 | 9,3 | 152,8 | 7,6 | 156,5 | 6,7 | 111,5 | 6,0 |

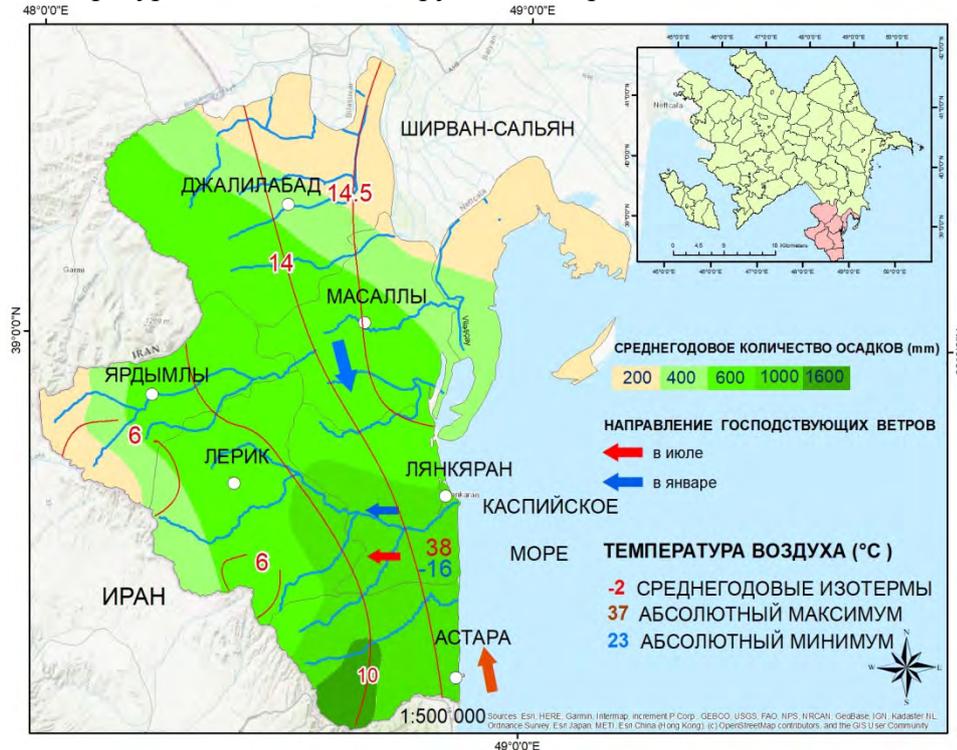
Источник: [Мусейбев, 1998; Абдуллаева, 2009; Даньков, 2014; Окружающая среда ..., 2021].

Водные ресурсы Лянкяранского природного района было оценены в $1,63 \text{ км}^3$ З.Б. Агаевым в 2007 году методом общего водопотребления [Гулиев, 2018]. В Лянкяранском и Астаринском административных районах для искусственного орошения были построены несколько водохранилищ. Одно из них, Ханбуланчайское водохранилище, расположенное на высоте 74 м над уровнем моря в Лянкяранском административном районе, введено в эксплуатацию в 1976 году. Объем вод водохранилища составляет 52 млн м^3 , площадь орошаемых его водой земель достигает 22 000 га. Расход воды на орошение составляет 2,2 и 8,8 $\text{м}^3/\text{с}$ и производится соответственно по правому и левому берегу Ханбуланчайского канала протяженностью 7,8 и 8,2 км. Наполнение водоема начинается в конце вегетационного периода и продолжается до мая. К концу августа водохранилище практически полностью используется. В Астаринском административном районе расположено водохранилище Ловайын, через которое протекают реки Ловайын и Сихару. Площадь орошаемых земель водохранилища с общей площадью 1,27 км^2 составляет 1700 га [Агаев, 2007; Центр аграрных ..., 2021].

Растениям разнообразных по теплолюбивости групп для формирования урожая необходима разная сумма активных температур. Играет роль и продолжительность вегетационного периода. Но если сравнивать культуры, близкие по его продолжительности, то холодостойким растениям требуется сумма температур от 1000 до 1700 °C, теплолюбивым – от 2000 до 2500 °C, а жаростойким – до 3000 °C. По этим показателям и по продолжительности периода с температурой больше 10–15 °C позволено легко подобрать зону и способы выращивания овощных культур [Окружающая среда ..., 2016].

Средняя температура зимних месяцев в зоне исследований составляет +4,5 °C, а средняя температура января – +3 °C (рис.). Среднегодовая температура колеблется в пределах +14,5...+14,7 °C. В Лянкярань-Астаринском экономико-географическом районе

средняя абсолютная минимальная температура составляет $-5...-7^{\circ}\text{C}$, а абсолютная минимальная температура $-13...-16^{\circ}\text{C}$ [Окружающая среда ..., 2010].



Климатическая карта экономико-географического региона Лянкяран-Астара
Climate map of Lankaran-Astara economic-geographical region

Превышение урожайности в регионе местного спроса позволяет осуществлять экспорт продукции, создание новых местных производственных предприятий, а также увеличение мощности существующих производственных предприятий. Важно углубление отношений между фермерскими хозяйствами и производственными предприятиями региона. Формирование агропромышленных комплексов заложит основу для эффективной организации процесса производства сырья вплоть до его переработки, транспортировки и реализации. При ознакомлении с механизмом работы перерабатывающих предприятий «Гилан» и «Лянкяранский консервный завод», действующих в экономико-географическом районе, было установлено, что эти предприятия с вертикальными интеграционными связями объединяют в себе промышленность, сельское хозяйство, сервис и маркетинг. «Gilan Holding» производит ряд овощных консервов под торговой маркой «Bagdan». Завод производительностью 5000 л/час работает с 2010 года. Обеспечивая поставку за счет местных продуктов, консервный завод «Гилан», таким образом уменьшает трудности фермеров с поиском рынка сбыта для своей продукции и стимулирует региональное производство. Деятельность Лянкяранского консервного завода также является положительным шагом в стимулировании производства овощей в регионе. Наряду со сбытом на внутреннем рынке обе компании экспортируют свою продукцию в ряд зарубежных стран на основании сертификатов качества. Лянкяранский консервный завод производит широкий ассортимент овощей; ежегодно с мая по ноябрь здесь работают 300–400 человек, на постоянной основе – 120 человек, а на Гилянском консервном заводе работают 40 человек, что создает условия для предоставления постоянных и сезонных рабочих мест, улучшая социальное положение населения. А в Астаринском административном районе с 2005 года функционирует консервный завод «Telmankend». Государственная поддержка предприятий и индивидуальных фермеров также является показателем заботы государства

об овощеводстве. Наряду с арендой сельскохозяйственной техники, частные фермеры обеспечиваются удобрениями и семенами со стороны ОАО «Агролизинг».

Если рассмотреть табл. 2, то в период с 2004 по 2008 год в экономико-географическом районе наблюдался рост посевов овощных культур и сбора урожая. Если в 2004 году было собрано 253 358 т овощей, то в 2008 году этот показатель увеличился на 11,9 %, достигнув 283 636 т. Однако в последующие периоды наблюдалось снижение этих показателей. Так, в 2019 году урожайность овощей достигла 176 070 т, что на 30,5 % меньше, чем в 2004 году. При росте производства овощей в республике в течение 2009–2019 годов наблюдалось снижение производства овощей в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе. Анализ и опросы владельцев частных фермерских хозяйств выявили ряд факторов, влияющих на этот процесс; так, фермеры, занимающиеся тепличным овощеводством в других регионах Азербайджана, были способны поддерживать рынок сборами высоких урожаев, при этом опережая Лянкяранско-Астаринский экономический район. В то же время в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе в последние годы возрос интерес к выращиванию цитрусовых и чаеводству. Выращивание чая и цитрусовых на пахотных землях и частичное сокращение посевных площадей занятых овощами является тенденцией последних лет. Так, в 2004 году площадь, высаженная овощами в экономико-географическом районе, составляла 11 484 га, а в 2008 году этот показатель увеличился на 14,2 % и достиг 13 392 га. За 2009–2019 годы площади под овощами в экономико-географическом районе уменьшились с 12 178 га до 8 724 га или на 28,4 %. Несмотря на снижение валовых сборов и сбора овощей в экономическом районе, спрос на экологически чистую овощную продукцию на внутреннем и внешнем рынках продолжает поддерживать интерес к овощеводству в данном экономико-географическом районе.

Таблица 2
Table 2Производство овощей в Лянкяранско-Астаринском
экономико-географическом районе, тонн (2020 год)
Vegetable production in the Lankaran-Astara economic-geographical region, tons (2020)

| Районы | 2004 | 2008 | 2008 к 2004, % | 2009 | 2013 | 2013 к 2009, % | 2014 | 2019 | 2019 к 2014, % |
|--|---------|---------|----------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|----------------------|
| Всего по стране | 1076227 | 1228312 | 14,2 | 1178595 | 1236331 | 4,9 | 1187681 | 1714678 | 44,4 |
| Лянкяранский экономический район | 253358 | 283636 | 11,9 | 254908 | 247919 | -2,7 | 240048 | 176070 | -26,6 |
| Астаринский район | 36443 | 54598 | 49,8 | 44497 | 44616 | 0,1 | 44877 | 26421 | -41,1 |
| Город Лянкяран | 136653 | 137460 | 0,6 | 122731 | 125956 | 2,7 | 125988 | 80486 | -36,1 |
| Лериксий район | 4720 | 3687 | -21,8 | 3431 | 3774 | 9,9 | 3968 | 4033 | 1,6 |
| Ярдымлинский район | 1560 | 2182 | 39,8 | 2226 | 1981 | -11,1 | 2000 | 2247 | 12,35 |
| Масаллинский район | 57073 | 68619 | 20,2 | 71702 | 70299 | -1,9 | 61987 | 49285 | -20,5 |
| Джалилабадский район | 16909 | 17090 | 1,1 | 10321 | 1293 | -87,4 | 1228 | 13598 | 1007,3 |

Источник [Окружающая среда ..., 2006]



Текущие перспективы выращивания помидоров в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе

В Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе предпочтение отдается также выращиванию томата, который широко потребляется и отличается разнообразием продуктов переработки. В экономико-географическом районе предпочтение отдается выращиванию местных сортов томатов «Хазар», «Нуру», «Зарраби», «Илькин» и «Елим». Эти сорта адаптированы к местным условиям и отличаются высокой продуктивностью. Как упоминалось ранее, в данном экономическом районе имеется потенциал для экспорта овощей. Если мы посмотрим на статистику, то увидим, что Российская Федерация является основным экспортером овощей из Азербайджана. Первый урожай томатов, высаженных в открытых условиях в экономическом районе, приходится на конец июня, а первый урожай в Республике Дагестан Российской Федерации, которая является основным внешним рынком сбыта продукции, приходится на 10 июля. Это определяет период реализации собранного продукта. По этой причине при посадке важно отдавать предпочтение быстрорастущим в данном экономико-географическом районе сортам, пригодным для транспортировки и хранения, но не уступающим другим сортам по внешнему виду и качеству и приносящим экономическую выгоду фермерам.

В поселках Гарматук и Лиман, селах Вель, Вилван и Урга Лянкяранского административного района предпочтение отдается сортам томатов «Лейла», «Зафар», «Элим», «Нуру» и «Хазар». С целью определения продуктивности и рентабельности этих сортов были проведены работы в научно-исследовательском и опытно-направлении в Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства. Показатели продуктивности и товарности современных сортов томата, предпочтительных для посадки в экономико-географическом районе, отражены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Площадь посадки овощных культур в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе, га (2020)
The cultivation area of vegetable crops in the Lankaran-Astara economic-geographical region, hectares (2020)

| Районы | 2004 | 2008 | 2008 к 2004, % | 2009 | 2013 | 2013 к 2009, % | 2014 | 2019 | 2019 к 2014, % |
|----------------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|----------------------|
| Всего по стране | 78009 | 83390 | 6,5 | 80977 | 77703 | -4,2 | 76071 | 69354 | -9,7 |
| Лянкяранский экономический район | 11484 | 13392 | 14,2 | 12178 | 11122 | -9,5 | 10904 | 8724 | -25 |
| Астаринский район | 2057 | 2900 | 41 | 2734 | 2771 | 1,4 | 2772 | 2067 | -25,4 |
| Город Лянкяран | 5112 | 5594 | 9,4 | 5090 | 4989 | -2 | 5003 | 3955 | -20,9 |
| Лериксий район | 295 | 265 | -10,2 | 255 | 281 | 10,2 | 295 | 314 | 6,4 |
| Ярдымлинский район | 108 | 152 | 40,7 | 155 | 138 | -11 | 139 | 183 | 31,7 |
| Масаллинский район | 2096 | 2624 | 25,2 | 2882 | 2805 | -2,7 | 2547 | 1843 | -27,6 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Джалилабадский район | 1816 | 1857 | 2,3 | 1062 | 138 | –87 | 148 | 362 | 144,6 |
|----------------------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|

Источник [Окружающая среда ..., 2006]

При экономической эффективности указанных сортов томатов прибыль от реализации товарного продукта за 400 ц/га составляет 6000 азн (оптовая цена 1 кг при средней цене 0,15 копеек), затраты 4708,5 манат, расходы на производство 11,7 маната, а чистая прибыль составляет 1291,5 маната, при рентабельности 27,43 % (табл. 4).

Таблица 4
Table 4Индекс продуктивности современных сортов томатов
в экономико-географическом районе (на 2020 год)

The productivity index of modern tomato varieties in the economic-geographical region (as of 2020)

| Наименование сортобразцов | Общий продукт ц/га | Товарный продукт | | Масса плодов, в граммах |
|------------------------------|--------------------------|------------------|----------------|-------------------------------|
| | | ц/га | Показатель в % | |
| Элим | 500,8 | 455 | 90,8 | 70–115 |
| Нуру | 500,1 | 450 | 89,9 | 70–110 |
| Хазар | 500 | 453 | 90,6 | 80–118 |
| Зарраби | 500 | 451 | 90,2 | 75–110 |

Источник: По годовым отчетам и материалам Ленкоранской опытной станции НИИ овощеводства.

Поскольку основным зарубежным рынком сбыта томатной продукции является Российская Федерация, важно выбирать товарные плоды для их транспортировки на дальнее расстояние и хранения. По этой причине на Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства была проверена пригодность ряда сортов к транспортировке, хранению, а также консервированию. Полностью созревшие товарные плоды новых сортов томатов ТЛ-260 (сорт «Победа») и ТЛ-258 с наиболее твердыми и удлиненными плодами, а также сорта «Илькин» (контрольный) и «Лейла» (контрольный) были упакованы в стандартные коробки массой 20,0 кг каждая и транспортированы на расстояние 350 км от Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства до Института Овощеводства. По результатам транспортировки выявлено, что испытанные сорта ТЛ-260 и ТЛ-258 сохраняют 100 % товарность. При этом за 15-дневный срок хранения новых сортов ТЛ-260 и ТЛ-258 количество товарного продукта снизилось с 99 % до 90,2 и 89,6 % соответственно, в то время как у сортов «Илькин» и «Лейла» этот показатель снизился до 87,1 и 84 % соответственно. В то же время с целью проверки способности хранения товарного вида при дальних перевозках сорт ТЛ-260 («Зафар») вместе с сортами «Илькин» (контрольный) и «Новичок» (контрольный) были перевезены с Ленкоранской опытной станции НИИ овощеводства в Екатеринбург на расстояние 3828 км за 14 дней. По данным Уралторгсервиса, товарный показатель сорта «Зафар» составляет от 96,4 % до 97,8 %, тогда как сорта Новичок от 86,7 % до 89,4 %, а сорта Илькин от 82,4 % до 83,8 %. Приведенные цифры показывают, что испытываемый сорт «Зафар» имеет высокий товарный показатель, и было бы целесообразно поощрять посадки данного сорта в экономико-географическом районе [Ахмадзаде, 2003].

В течение 2015–2020 гг. наблюдается увеличение объемов экспортируемой и импортируемой овощной продукции. Так, в 2015 году было импортировано 37,2 тыс. т овощей на сумму 10,7 млн долларов, а в 2020 году – 50,5 тыс. т овощей на сумму 29,9 млн долларов. Также наблюдается положительная динамика объема экспортируемой овощной



продукции. Если в 2005 году было экспортировано 83,4 тыс. т овощной продукции на сумму 70,7 млн долларов, то в 2020 году этот показатель достиг 219,3 тыс. т (220,7 млн долларов) [Пашаев, 2018].

Для повышения плодородия почвы применяют различные органические и минеральные удобрения. Минеральные удобрения с годами увеличивают количество остатков удобрений в почве и, как следствие, загрязняют окружающую среду. По этой причине целесообразно изучить и применить использование органических удобрений и биогумуса. Такой выбор был бы экономически выгодным.

Как видно из табл. 5 в опытных целях использовался сорт томатов «Лейла» и при применении биогумуса и органических удобрений урожайность была высокой. По сравнению с посевом без удобрения урожайность при внесении 5 т/га биогумуса увеличилась на 50,5 %, при внесении 7 т/га биогумуса на 53,2 %, при внесении 40 т/га навоза на 56 %. Однако если мы посмотрим на показатели рентабельности, то увидим, что без удобрений невозможно получить прибыль от 1 центнера при отпускной цене от 15 азн. В то же время мы наблюдаем, что увеличение себестоимости продукции при применении биогумуса приводит к отсутствию дохода. Определено, что доход получается только от использования навоза. Высокая рентабельность наблюдалась в основном в хозяйствах, применяющих минеральные удобрения.

Таблица 5
Table 5

Влияние органических удобрений на продуктивность и рентабельность
 посевов томатов (на 2020 год)

The impact of organic fertilizers on the productivity and profitability of tomato plants (as of 2020)

| Варианты | Средняя урожайность, ц/га | Прирост | | Расход на га, в манатах | Доход с 1 га в манатах | Чистый доход с 1 га в манатах | Рентабельность в манатах, в % |
|-----------------|---------------------------|-------------|------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | в центнерах | в % | | | | |
| Без удобрения | 221,9 | – | – | 3370 | 3328.5 | –41.5 | – |
| 5т/га биогумуса | 334,1 | 112,2 | 50,5 | 5870 | 5011 | –859 | – |
| 7т/га биогумуса | 340,0 | 118,1 | 53,2 | 6870 | 5100 | –1170 | – |
| 40 т/га навоза | 346,2 | 124,3 | 56,0 | 4970 | 5193 | 223 | 4,5 |

Источник: По данным отчета Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства за 2020 год.

Текущие перспективы выращивания баклажана в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе

Всего в экономико-географическом районе на территории площадью 1354 га (на 2019 год) выращено 29 314 т баклажанов. Так, в регионе в основном выращивают баклажаны сортов «Захра», «Тюркан», «Магеррам», «Алмаз», «Фадай» и «Гянджа». Из них сорт «Захра» наполовину созревший бывает устойчивым к транспортировке, хранению и болезням. [Сельское хозяйство ..., 2020] Несмотря на снижение общих посевов и сборов овощей в экономическом районе, площади под посев баклажанов, пользующихся повышенным спросом на внешних рынках, остаются большими. Основанием для этого является высокая покупательная способность на рынках Российской Федерации, одного из основных экспортеров овощей из нашей страны. Производство баклажанов в экономическом районе составляет 29 314 т, большая часть из

которых обеспечивается Лянкяранским и Масаллинским административными районами. Широкое использование баклажана в консервировании также увеличивает потребность в нем на рынке. Наблюдения и исследования проводились в селе Гумбашы Лянкяранского административного района и в опытных питомниках Лянкяранском опытной станции НИИ овощеводства. Продуктивность и рентабельность предпочтительных для посадки сортов «Захра» и «Магеррам» сравниваются в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Показатели экономической эффективности сортов баклажана «Захра» и «Магеррам» в Лянкяранском административном районе. (на 2020 год)
Economic efficiency indicators of eggplant varieties “Zahra” and “Magerram” in the Lankaran administrative district (2020)

| № | Наименование образцов сортов | Валовой продукт, ц/га | Товарный продукт, ц/га | Товарный продукт, в % | Масса плода, грамм | Расход на гектар, манат | Продажи за 1 кг (манат) | Валовой доход с 1 га (манат) | Чистая прибыль (манат) | Рентабельность, в % |
|---|------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | Магеррам | 410 | 390 | 95,1 | 155 | 4335 | 0,20 | 7800 | 3465 | 79,9 |
| 2 | Захра | 355 | 340 | 95,7 | 150 | 4335 | 0,20 | 6800 | 2465 | 56,8 |

Источник: По данным опросов, проведенных на фермерских хозяйствах, годовых отчетов и материалов Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства.

Текущие перспективы выращивания огурца в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе

В экономико-географическом районе выращивают ряд сортов огурцов, среди местных сортов предпочтение отдается сорту «Азери». Широко используемый в консервировании сорт устойчив к болезням и вредителям и адаптирован к местным условиям. Выращивается как весной, так и летом и приносит прибыль. Если посмотреть статистику, то производство огурцов за 2000 год составило 25 504 т, а за 2019 год этот показатель увеличился до 33 186 т. Помимо переработки на местных предприятиях, продукт обеспечивает местное население овощами и экспортируется в зарубежные страны. Высокая покупательная способность на рынках по-прежнему сохраняет интерес к выращиванию данного растения в экономическом районе.

В отличие от выращивания томатов, выращивание огурцов может приносить прибыль без использования удобрений. На основе наблюдений за растениями сорта «Азери», которые выращены без удобрения и за культурами, на которых применялись органические удобрения, а также опросов фермеров и годовых отчетов Лянкяранской опытной станции НИИ овощеводства определены показатели продуктивности и рентабельности. Средняя урожайность при посеве без удобрения составляет 227,4 ц/га. Однако при применении 5 т/га биогумуса урожайность увеличилась на 38,6 % или до 315,2 ц/га, 7 т/га биогумуса – на 49,8 % или до 340,7 ц/га, а при применении 40 т/га навоза урожайность увеличилась на 55 %, достигнув 352, 6 ц/га. Во всех этих вариантах рентабельность была положительной и была получена прибыль.

Результаты и их обсуждение

Согласно отчету по производству овощей в Азербайджане за 2021 год Центра аграрных исследований при Министерстве сельского хозяйства, в 2020 году 97,3 % экспортируемых из Азербайджана овощей пришлось на долю России. Первый урожай томатов, высаженных в открытом грунте в экономическом районе, приходится на конец



июня, а первый урожай в Республике Дагестан Российской Федерации, которая является основным внешним рынком сбыта продукции, приходится на 10 июля. Это определяет период реализации заготовленного продукта. По этой причине при посадке важно отдавать предпочтение быстрорастущим в экономико-географическом районе сортам, пригодным для транспортировки и хранения, но не уступающим другим сортам по внешнему виду и качеству, и приносящим экономическую прибыль фермерам. В экономико-географическом районе целесообразно сажать томат сорта ТЛ-260 («Зафар»), плоды которого высокотоварные, пригодны для транспортировки и хранения, а также для консервирования. Анализ показал, что с точки зрения рентабельности, доход получен при применении 40 т/га навоза. Высокая рентабельность наблюдалась в основном в хозяйствах, применяющих минеральные удобрения. Установлено, что благодаря высокой урожайности и широкому применению в консервировании сорт, огурцов «Азери» является наиболее предпочтительным для выращивания.

Заключение

Несмотря на то, что в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе в период с 2004 по 2008 год увеличились посевы и урожай овощей, количество собранных овощей в 2019 году составило 176 070 т, что на 30,5 % меньше, чем в 2004 году. При росте производства овощей в республике в течение 2009–2019 годов в Лянкяранско-Астаринском экономико-географическом районе наблюдалось снижение производства овощей. Основная причина этого в том, что Лянкяранско-Астаринский экономический район уступает в области овощеводства другим регионам, где овощи выращиваются в тепличных условиях, что помогло овощеводству в этих регионах занять свое место на рынке, реализуясь круглогодично.

Приведенные опыты показывают, что помидорный сорт «Зафар», который выращивается в Лянкяранском административном районе, имеет высокий товарный показатель, и целесообразно стимулировать высадку данного сорта в остальных населенных пунктах Лянкяранско-Астаринского экономико-географического района. Результаты исследования показывают, что изучение и применение органических удобрений и биогумуса являются экономически целесообразными.

Список источников

- Габибова Е.Н., Мухортова В.К. 2019. Овощеводство. Персиановский, Донской ГАУ, 180 с.
- Даньков В.В., Скрипниченко М.М., Горбачева Н.Н. 2014. Субтропические культуры. СПб., Лань, 160 с.
- Окружающая среда в Азербайджане. 2021. Баку, Государственный Комитет по Статистике Азербайджанской Республики, 140 с.
- Окружающая среда в Азербайджане. 2016. Баку, Государственный Комитет по Статистике Азербайджанской Республики, 140 с.
- Окружающая среда в Азербайджане. 2010. Баку, Государственный Комитет по Статистике Азербайджанской Республики, 130 с.
- Окружающая среда в Азербайджане. 2006. Баку, Государственный Комитет по Статистике Азербайджанской Республики, 290 с.
- Сельское хозяйство Азербайджана. 2020. Баку, Государственный Комитет Азербайджанской ССР по Статистике, 653 с.
- Центр аграрных исследований при Министерстве сельского хозяйства. 2021. Баку, Справка по овощеводству в Азербайджане, 20 с.

Список литературы

- Алиев И.Н. 1997. Гейдар Алиев и сельское хозяйство Азербайджана. Баку, Азербайджанское издательство, 122 с.

- Агаев З.Б. 2007. Оценка и эффективное использование водных ресурсов рек Ленкораньского природного региона. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Баку, 21 с.
- Абдуллаева Х.Т. 2009. Баклажан. Баку, Qanun, 309 с.
- Алиева И.С. 2011. Гидрология озер и водохранилищ. Баку, Издательство МБМ, 216 с.
- Ахмадзаде А.С. 2003. Гейдар Алиев и водное хозяйство Азербайджана. Баку, Азернешр, 216 с.
- Гусейнов Х.А. 2016. Выбор сортов томатов, пригодных для транспортировки и хранения. Баку, Mütərcim, 188 с.
- Гасанов М.С. 2021. Изучение влияния современных изменений климата на некоторые направления сельского хозяйства в Азербайджане. Баку, типография АГАУ, 416 с.
- Гулиев Ф.А. 2018. Цитрусовые растения: биологические особенности и режим орошения. Баку, Экопринт, 288 с.
- Мусейбов М.А. 1998. Физическая география Азербайджана. Баку, Маариф, 399 с.
- Пашаев Н.А. 2018. Экономико-географическая оценка воздействия стихийных бедствий на экономику Азербайджанской Республики. Баку, Европа, 372 с.

References

- Aliev I.N. 1997. Heydar Aliev i sel'skoe khozyaystvo Azerbaydzhana [Heydar Aliyev and Agriculture in Azerbaijan] Baku, Publ. Azerbaijan, 122 p.
- Agayev Z.B. 2007. Ocenka i jeffektivnoe ispol'zovanie vodnyh resursov rek Lenkoran'skogo prirodnogo regiona [Evaluation and Efficient Use of Water Resources in the Lenkoran Natural Region]. Abstract dis. ... cand. geogr. sciences. Baku, 21 p.
- Abdullaeva Kh.T. 2009. Baklazhan [Eggplant]. Baku, Publ. Qanun, 309 p.
- Alieva I.S. 2011. Hidrologiya ozer i vodohranilish [Hydrology of Lakes and Reservoirs]. Baku, Publ. MBM, 216 p.
- Ahmadzade A.S. 2003. Gejdar Aliev i vodnoe hozjajstvo Azerbaydzhana [Heydar Aliyev and Water Management in Azerbaijan]. Baku, Publ. Azerneshr, 216 p.
- Guseynov Kh.A. 2016. Vybor sortov tomatov, prigodnykh dlya transportirovki i khraneniya [Selection of Varieties of Tomatoes Suitable for Transportation and Storage]. Baku, Publ. Mütərcim, 188 p.
- Gasnov M.S. 2021. Izuchenie vliyaniya sovremennykh izmeneniy klimata na nekotorye napravleniya sel'skogo khozyaystva v Azerbaydzhanе [Studying the Impact of Modern Climate Change on Some Directions of Agriculture in Azerbaijan]. Baku, Publ. Azerbaijan State Agricultural University, 416 p.
- Guliev F.A. 2018. Citrusovye rasteniya: biologicheskie osobennosti i rezhim orosheniya [Citrus Plants: Biological Features and Irrigation Regime]. Baku, Publ. Ecoprint, 288 p.
- Musejibov M.A. 1998. Fizicheskaya geografija Azerbaydzhana [Physical Geography of Azerbaijan]. Baku, Publ. Marif, 399 p.
- Pashaev N.A. 2018. Ekonomiko-geograficheskaya otsenka vozdeystviya stikhiynykh bedstviy na ekonomiku Azerbaydzhanskoj Respubliki [Economic-Geographical Assessment of the Impact of Natural Disasters on the Economy of the Republic of Azerbaijan]. Baku, Publ. Europe, 372 p.

*Поступила в редакцию 01.11.2023;
поступила после рецензирования 22.11.2023;
принята к публикации 01.12.2023*

*Received November 01, 2023;
Revised November 22, 2023;
Accepted December 01, 2023*

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 AUTHOR

Алескарзаде Исмаил Ибрагим оглы, Докторант 5403.01 «Экономическая география», Лянкяранский Государственный Университет; преподаватель кафедры географии в «European Azerbaijan School», г. Лянкярань, Азербайджанская Республика

Alaskarzada Ismayil Ibrahim, Doctoral Student 5403.01 “Economic Geography”, Lankaran State University; Lecturer of the Department of Geography of “European Azerbaijan School”, Lankaran, Republic of Azerbaijan



УДК 622.271:[551.4:004.9]
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-530-538

Разработка методики исследований техногенных рельефов в местах открытых горных работ

Андропова В.С., Гутак Я.М.

Сибирский государственный индустриальный университет,
Россия, 654007, Новокузнецк, пр. Бардина, 25
E-mail: Viktorijanumber1@mail.ru

Аннотация. В целях разработки и апробации методики изучения техногенных рельефов рассмотрен порядок создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) участков ведения открытых горных работ, расположенных в северо-восточной части г. Междуреченска. Для создания исторической ЦМР использована топографическая карта масштабом 1:100000 1958 года (съёмка местности до начала горных работ). Для построения цифровой модели изменившегося рельефа использованы данные SRTM. Такой выбор обоснован свободным доступом к этой информации и ее сопоставимостью с рельефом на карте масштабом 1:100000. В работе приведены инструменты геоинформационных программ Google Планета Земля и ГГИС Micromine для решения поставленной задачи. Анализ исходного и измененного состояния рельефа участков показал, что за 42 года высоты изменились от –80 м до +60 м. Увеличение контрастности достигнуто за счет перемещения пород вскрыши на вершину естественной куэсты и ее пологий склон и углубления забоя угольного карьера. Такая трансформация рельефа может привести к изменению микроклимата, развитию денудационных процессов, изменению поверхностных водотоков. Предложенную методику, при наличии данных о высотных отметках (в т. ч. полученных в результате нивелирования), возможно использовать для изучения динамики рельефа, необходимой для прогнозирования геодинамических процессов в верхних частях земной коры, которое позволит сформировать комплекс мер по смягчению вреда от антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: ЦМР, ГИС-системы, Кузбасс, техногенный рельеф, антропогенный рельеф, открытые горные работы, топографические карты, высотные отметки

Для цитирования: Андропова В.С., Гутак Я.М. 2023. Разработка методики исследований техногенных рельефов в местах открытых горных работ. Региональные геосистемы, 47(4): 530–538. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-530-538

Development of Methodology for Research of Anthropogenic Reliefs in Places of Open-Pit Mining Operation

Victoria S. Andropova, Yaroslav M. Gutak

Siberian State Industrial University,
25 Bardin Ave., Novokuznetsk 654007, Russia
E-mail: Viktorijanumber1@mail.ru

Abstract. In order to develop and approve the methodology for studying technogenic reliefs, the procedure for creating digital elevation models (DEM) of surface mining sites located in the north-eastern part of Mezhdurechensk was considered. For creation of the historical DEM the topographic map of scale 1:100000 of 1958 (survey of the area before the beginning of mining operations) was used. SRTM data were used to build a digital model of the changed relief. The use of SRTM data is justified by free access to them and comparability with the relief on the 1:100000 scale map. The tools of geoinformation programs Google Earth and Micromine GGIS were used to solve the task. Analysis of the initial and changed state of the relief of the sites showed that over 42 years the elevations have changed from -80 m to +60 m. The increase in contrast was achieved due to the movement of overburden rocks to the top of the natural cuesta and its gentle slope and deepening of the coal mine face. Such transformation of relief

can lead to microclimate changes, development of denudation processes, and changes of surface watercourses. The proposed methodology, in the presence of data on elevations (including those obtained as a result of leveling), can be used to study the dynamics of relief, necessary for prediction of geodynamic processes in the upper parts of the Earth's crust, which will allow to form a set of measures to mitigate damage from anthropogenic load.

Keywords: DEM, GIS-systems, Kuzbass, technogenic relief, anthropogenic relief, open-pit mining, topographic maps, elevation marks.

For citation: Andropova V.S., Gutak Ja.M. 2023. Development of Methodology for Research of Anthropogenic Reliefs in Places of Open-Pit Mining Operation. Regional Geosystems, 47(4): 530–538. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-530-538

Введение

Видоизменения рельефа местности, возникшие в результате ведения открытой угледобычи на протяжении нескольких десятилетий, приводят к отчуждению сельскохозяйственных земель, нарушению плодородия почв, изменению поверхностных водотоков [Галанина, Баумгартэн, 2013; Калиева, Ишкенов, 2017; Андропова, 2022]. Эти изменения, затрагивающие несколько десятков квадратных километров, не могут не сказываться на окружающей среде и микроклимате прилегающих участков [Базарова, 2007; Оленьков, 2014; Ефимов, 2020]. В качестве примера приведем данные на 2000 год по разрезу Сибиргинский г. Мыски: высотная отметка отвала +535 метров, высотная отметка котлована +141 метр, перепад высот составляет 390 метров, увеличивается дифференциация рельефа, изменяются характеристики исторического рельефа. Влияние на окружающую экосистему наиболее ощущается для районов, в которых горнодобывающие предприятия расположены рядом и не в единственном числе. На территории Кемеровской области находится большое количество угольных разрезов, и эта местность подходит для исследований в области разработки методики оценки антропогенных изменений рельефа вследствие ведения открытых горных работ [Мовчан и др., 2013].

Целью данной работы является разработка методики получения карт техногенной трансформации для возможности оценки объемов техногенных нарушений, анализа изменения характера рельефа.

Методика оценки изменений рельефа, была опробована на участке одного из предприятий города Междуреченска, ведущего открытые горные работы.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выбран разрез «Распадский», расположенный в левобережье р. Усы в нескольких километрах к северо-востоку от г. Междуреченска. Город располагается в южной части Кузбасса на территории, между Кузнецким Алатау и Абаканским хребтом, а центр расположен на месте слияния рек Томи и Усы. Город Междуреченск является одним из лидеров не только открытой угледобычи, но и подземной. Вблизи исследуемого объекта добыча угля производится двумя другими разрезами, такими как «Ольжерасский» и «Междуреченский», а также шахтой «Распадская-Коксовая», в связи с этим, можно сделать вывод, что окружающая территория исследуемого участка является техногенно нагруженной.

Установлено, что разница высотных отметок между отвалом и котловиной для этой территории по данным на 2000 год не превышала 338 м (разрез «Междуреченский»). Эти предприятия работают продолжительное время и подходят в роли полигонов для разработки и опробования методики оценки техногенных изменений рельефа [Андропова, 2021].



Исторически сложившийся к началу открытых работ по добыче угля рельеф подчеркивает особенности геологического строения района. Куэстоподобные водораздельные возвышенности сложены крепкими и устойчивыми к выветриванию породами (песчаники, алевролиты). Они вытянуты в северо-восточном направлении параллельно течению р. Усы, имеют крутой короткий юго-восточный и пологий длинный северо-западный склоны. Пологий склон соответствует расположению угольных пластов, которые имеют пологий угол падения в направлении к центральной части Кузнецкого бассейна. Такой тип строения геологического разреза весьма характерен для юга Кузбасса и известен под названием «горношорская моноклиналь» [Гутак и др., 2009].

Контуры участка, выбранного в роли объекта исследований, были установлены по спутниковым снимкам в геоинформационной программе *Google Планета Земля*, которая бесплатно предоставляет спутниковые снимки с высотными географически привязанными отметками [Андропова, 2021]. При работе со снимками использовались традиционные методики, такие как визуальное дешифрирование объектов^{1,2} [Смирнов, 1967; Сладкопепцев, 1982, Калиева и др., 2019]. В этой же программе был произведен подсчет исследуемой площади исходного рельефа поверхности, нарушенной открытыми горными работами. Величина этого показателя превышает 34,1 км² [Андропова, Гутак, 2022].

Построение цифровых моделей поверхностей производилось в программе *ГГИС Micromine* [Басаргин, 2015; Басаргин, 2016; Наставко и др., 2023]. Это многофункциональная программа, в арсенале которой имеется ряд функций для построения цифровых моделей поверхности, возможности импорта цифрового облака точек, в том числе и из программы *Google Планета Земля*, возможности расчетов различных величин [Лунева, 2020]. *ГГИС Micromine* при создании цифровых моделей рельефа использует триангуляцию Делоне, поэтому для исследования необходимо было получить облако точек с высотными отметками.

Для оценки техногенного изменения рельефа исследуемого объекта нами предлагается сравнение одной цифровой модели, данные для которой были получены с топографической карты масштабом 1:100000 1958 года выпуска. Ее фрагмент был оцифрован в программе *ГГИС Micromine*. Для этого предварительно в программу был загружен лист топографической карты. На топографических листах информация о точках представляется прямоугольными и географическими координатами системы СК-42. Программа *ГГИС Micromine* работает только в прямоугольных координатах, поэтому было решено преобразовать географические координаты системы СК-42 (*Pulkovo1942*) в систему прямоугольных координат Гаусса-Крюгера (зона EPSG:2505), используя функцию «Прямоугольные сети» [Медведев, Мазуров, 2016].

В качестве второй цифровой модели выбраны данные *SRTM*. Миссия *SRTM* – это облет шаттлом в 2000 году Земли с установленным георадаром с фиксацией всех высотных отметок с высокой точностью [Nikolakoroulos et al., 2006; Соколов и др., 2010]. Эти данные импортируются из программы *Google Планета Земля* в виде облака точек с географическими координатами системы *WGS-84*. При обработке этих данных также было произведено преобразование координат из системы *WGS-84* в систему прямоугольных координат Гаусса-Крюгера (зона EPSG:2505) с использованием функции «Прямоугольные сети».

Использование для этой цели данных *SRTM* о высотных отметках определяется их доступностью (отсутствует необходимость проведения дорогостоящих и длительных наземных картографических исследований). Важно отметить, что данные *SRTM* сопоставимы с цифровыми моделями рельефа, построенными по топографическим картам М 1:100000. Исследования можно неоднократно повторять через определенные отрезки времени, но уже путем самостоятельного добывания современных высотных отметок, что значительно повысит объективность мониторинга состояния рельефа.

¹ Мальшева Н.В. 2014. Пособие по дешифрированию. М., Москва, 151 с.

² Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н. 2005. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. М., Академический проект, 353 с.

Следует отметить, что система отсчета высотных отметок у выбранных данных различается, эти различия минимальны и составляют от 1 до 5 метров в среднем по Земле [Непоклонов, 2010].

Результаты и их обсуждение

Добыча угля открытым способом на выбранном угольном разрезе города Междуреченска была начата в 1959 году, соответственно при создании цифровых моделей рельефа представилось возможным использовать топографические карты 1958 года издания. В ходе работы были построены две цифровые модели рельефа – поверхность 1958 года, будем называть ее «исторической», а также поверхность, подвергнувшаяся изменениям на период 2000 года.

Историческая ЦМР была построена по оцифрованным изолиниям с топографической карты (рис. 1А). В этом виде она была использована в дальнейшей работе по изучению последующих техногенных трансформаций рельефа (рис. 1Б).

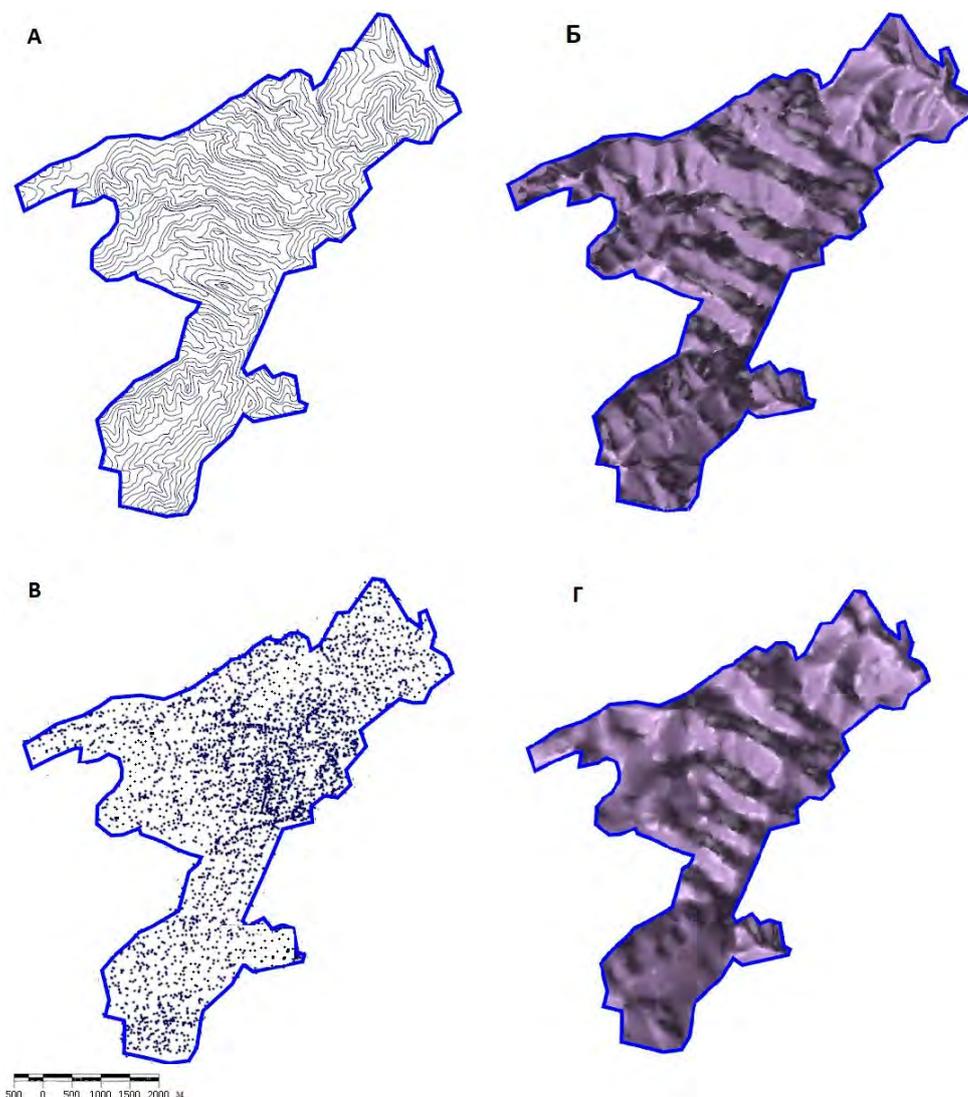


Рис. 1. А) Изолинии с топографической карты; Б) «историческая» ЦМР;
В) Облако точек по данным SRTM; Г) ЦМР, построенная по данным SRTM

Fig. 1. A) Isolines from topographic map; Б) “historical” DEM;
B) Point cloud from SRTM data; Г) DEM constructed from SRTM data

Цифровая модель изменившегося рельефа, построенная по облаку точек (1В), полученному по данным *SRTM*, представлена на рис. 1Г. Следует подчеркнуть, что эта модель не претендует на точность топографической карты и не является таковой по существу. В то же время она отражает направленность процессов трансформации исторического рельефа исследуемого объекта и позволяет определить последствия таких изменений.

На заключительном этапе исследований было проведено сопоставление полученных моделей для выявления техногенных изменений. Для этого в программе ГГИС *Micromine* проведено вычитание из модели рельефа 2000 года его исторической составляющей. Полученная после этой операции схема (рис. 2) показывает масштабы техногенной трансформации рельефа (положительные значения характеризуют повышения над историческим рельефом, а отрицательные – его понижения).

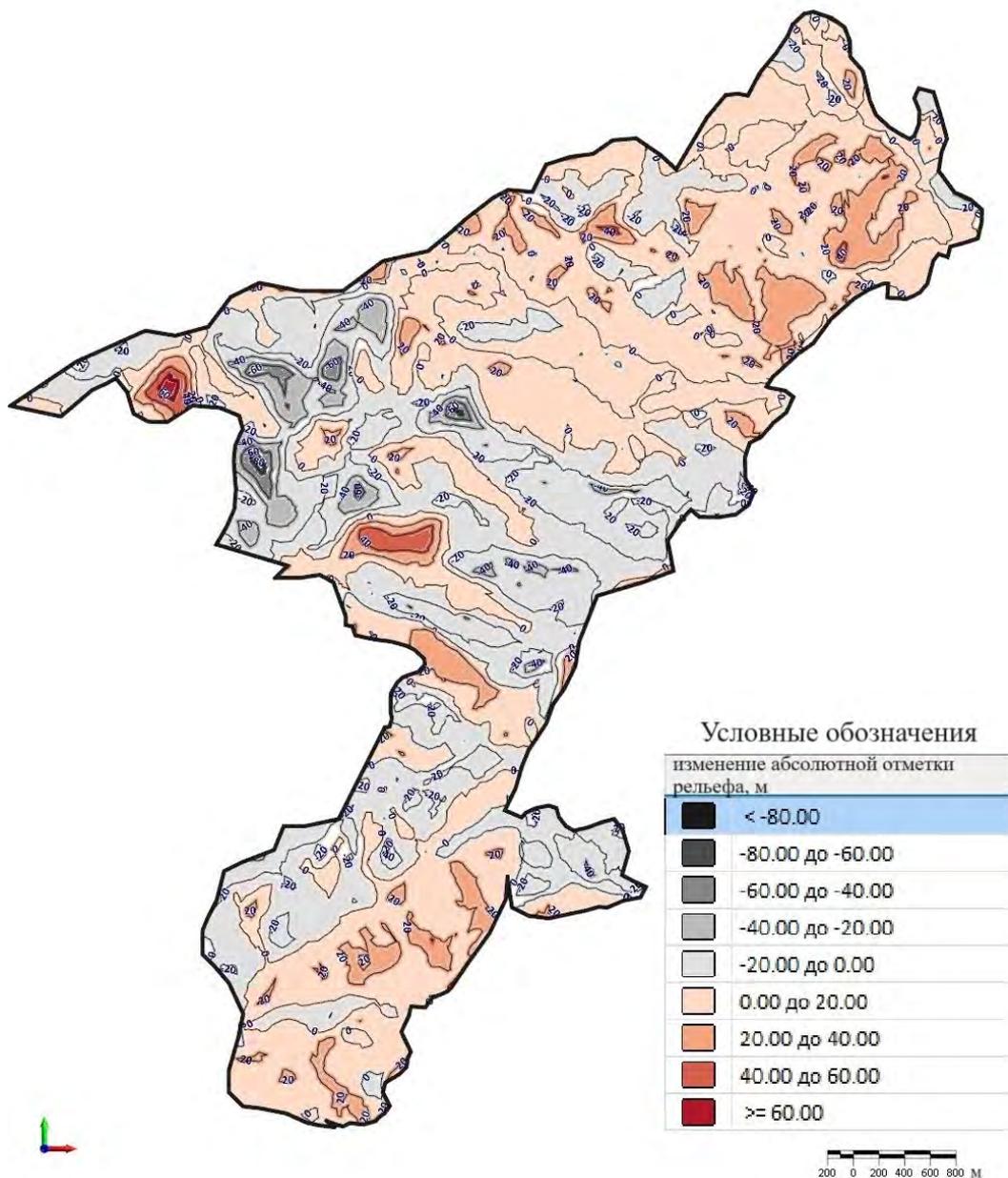


Рис. 2. Карта техногенной трансформации рельефа территории углеразреза «Распадский»
Fig. 2. Map of anthropogenic transformation of relief on the territory of Rapsadsky coal strip mine

Анализ карты техногенной трансформации рельефа в районе углеразреза «Распадский» показывает весьма значительные его изменения. При сохранившихся общих чертах рельефа (куэстоподобность) резко увеличилась его контрастность. Разница высотных отметок на исследуемой территории исторического рельефа (данные с топографической карты) в среднем составляла 278 м, а разница высотных отметок измененного вида достигает почти 400 м. По этому показателю район уже напоминает горную резко расчлененную местность. Увеличение контрастности достигнуто за счет перемещения пород вскрыши на вершину естественной куэсты и ее пологий склон (более 40 м) и углубления забоя угольного карьера (более чем на 80 м). Такая трансформация рельефа в ближайшем будущем приведет к активизации процессов денудации, особенно в вершинной части куэсты, что может привести к возникновению оползней и обвалов.

Заключение

В ходе построения карты техногенной трансформации рельефа были построены две цифровые модели рельефа:

- 1) историческая ЦМР, которая визуализирует рельеф, существовавший до начала работы угольного разреза;
- 2) измененный рельеф, который был зафиксирован по истечении 42 лет работы угольного разреза.

В процессе исследований установлено, что изменения поверхности, возникшие вследствие ведения открытых горных работ, также привели к изменениям гидрологических и гидрогеологических условий участка, а именно произошло нарушение естественного наземного и подземного стока.

К примеру, одна из образовавшихся на вершине куэстовой гряды площадок внешнего отвала углеразреза превышает исторический рельеф более чем на 40 м, что, вероятно, может сказаться на приповерхностной циркуляции воздушных масс. В то же время применяемая на разрезе технология перемещения вскрышных пород на лежащий устойчивый пологий склон куэсты и ее вершину минимизирует риски возникновения горных ударов и техногенных землетрясений.

Построение карт техногенной трансформации рельефа и их анализ количественно оценивают изменения, возникшие под влиянием открытых горных работ. На основе полученных данных считается возможным разработать рекомендации по рациональному ведению открытых горных работ.

Список литературы

- Андропова В.С. 2021. Исследование антропогенного рельефа на территории Кузбасса с применением данных дистанционного зондирования. В кн.: Сибирь и Дальний Восток России в формирующемся пространстве Большой Евразии. Материалы XX юбилейной научной конференции (с международным участием) молодых географов Сибири и Дальнего Востока, Иркутск, 24–29 мая 2021. Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук: 83–85.
- Андропова В.С. 2022. Перераспределение поверхностного стока в районах ведения открытых горных работ на примере углеразреза «Распадский» и участка разреза «Ольжерасский». В кн.: Наука и молодежь: Проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Новокузнецк, 17–18 мая 2022. Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет: 35–39.
- Андропова В.С., Гутак Я.М. 2022. Методика оценки техногенной трансформации рельефа в местах ведения открытых горных работ (на примере разреза Распадский). В кн.: Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов. Сборник научных статей Всероссийской научной конференции с международным участием. Новокузнецк, 07–10 декабря 2021. Новокузнецк, Кузбасский гуманитарно-педагогический институт



- федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет»: 6–8.
- Базарова С.Б. 2007. Воздействие горнодобывающих предприятий на экосистему региона и оценка эффективности их экологической деятельности. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 2(10): 60–70.
- Басаргин А.А. 2015. Методика создания трехмерных геологических моделей месторождений с использованием геоинформационной системы Micromine. Интерэкспо Гео-Сибирь, 1(1): 15–20.
- Басаргин А.А. 2016. Моделирование месторождений рудных полезных ископаемых с использованием геоинформационной системы micromine. Интерэкспо Гео-Сибирь, 1(2): 151–155.
- Галанина Т.В., Баумгартэн М.И. 2013. Экологические последствия техногенного воздействия при проведении открытых горных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 7: 288–292.
- Гутак Я.М., Каучакова Е.Е., Рубан Д.А. 2009. Структурно-геологические памятники природы: новый подход к фиксации уникальной информации о строении земной коры. Проблемы региональной экологии, 5: 178–184.
- Ефимов В.И., Стась Г.В., Корчагина Т.В., Прохоров Д.О. 2020. Методические положения комплексной экологической оценки воздействия породных отвалов шахт на окружающую среду. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле, 3: 18–28.
- Калиева А.А., Байшуаков А.Т., Ермиенко А.В. 2019. Мониторинг нарушений природной среды техногенными процессами при дешифрировании космоснимков. Интерэкспо Гео-Сибирь, 4(2): 64–72. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-2-64-72>.
- Калиева К.Б., Ишкенов Б.Т. 2017. Воздействие на окружающую среду открытых горных разработок. Инновационная наука, 11: 33–38.
- Лунева Е.В. 2020. Использование общедоступных информационных технологий в защите экологических прав и прав на природные ресурсы. Lex Russica (Русский закон), 73(5(162)): 29–40. <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2020.162.5.029-040>.
- Медведев П.А., Мазуров Б.Т. 2016. Алгоритм прямого вычисления пространственных геодезических координат по прямоугольным координатам. Интерэкспо Гео-Сибирь, 1(2): 59–63.
- Мовчан И.Б., Яковлева А.А., Асянина В.Ю. 2013. Метод опережающего прогноза в задаче снижения нагрузки на ландшафт при планировании детализационных геологических и экологических работ. Записки Горного института, 203: 190–195.
- Наставко Е.В., Наставко А.В., Кайзер Ф.Ю., Соловицкий А.Н. 2023. О цифровой модели угольного месторождения в Кузбассе в ГГИС Micromine. Международный научно-исследовательский журнал, 1(127): 1–6. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.23>.
- Непеклонов В.Б. 2010. Гравиметрия и геодезия. М., Научный мир, 570 с.
- Оленьков В.Д. 2014. Исследование ветрового режима нарушенных территорий. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: строительство и архитектура, 14(1): 9–13.
- Сладкопевцев С.А. 1982. Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации. М., Недра, 216 с.
- Смирнов Л.Е. 1967. Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков. Л., Издательство ленинградского университета, 214 с.
- Соколов Л.А., Лобанов Г.В., Полякова А.В. 2010. Использование возможностей модели SRTM (shuttle radar Satel- Lite mission) в анализе рельефа как фактора почвообразования (на примере Брянского лесного массива). Вестник Брянского государственного университета, 4: 237–243.
- Nikolakopoulos K.G., Kamaratakis E.K., Chrysoulakis N. 2006. SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for Two Regions in Crete, Greece. International Journal of Remote Sensing, 27: 4819–4838. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600835853>.

References

- Andropova V.S. 2021. Research of Anthropogenic Relief on the Territory of Kuzbass Using Remote Sensing. In: Siberia and the Far East of Russia in the Emerging Space of Greater Eurasia. Materials of the XX Anniversary Scientific Conference (with International Participation) of Young

- Geographers of Siberia and the Far East, Irkutsk, 24–29 May 2021. Irkutsk, Publ. Institute of Geography. V.B. Sochava of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: 83–85 (in Russian).
- Andropova V.S. 2022. Pereraspredeleniye poverkhnostnogo stoka v rayonakh vedeniya otkrytykh gornyykh rabot na primere uglerazreza «Raspadskiy» i uchastka razreza «Olzherasskiy» [Redistribution of Surface Runoff in the Areas of Surface Mining Operations on the Example of Coal Cut "Raspadsky" and the Site of the Cut "Olzherassky"]. In: Nauka i molodezh: Problemy. poiski. resheniya [Science and Youth: Problems, Searches, Solutions]. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists Novokuznetsk, 17–18 May 2022. Novokuznetsk, Publ. Sibirskiy gosudarstvennyy industrialnyy universitet: 35–39.
- Andropova V.S., Gutak Y.M. 2022. Methodology for Assessing the Technogenic Transformation of the Relief in the Areas of Open Mining (on the Example of the Raspadskiy Pit, Kuzbass). In: Fundamental and Applied Aspects of Sustainable Development of Resource Regions. Collection of scientific articles of the All-Russian scientific conference with international participation. Novokuznetsk, 07–10 December 2021. Novokuznetsk, Publ. Kuzbasskiy gumanitarno-pedagogicheskiy institut federalnogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya "Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet": 6–8 (in Russian).
- Bazarova S.B. 2007. Vozdeystviye gornodobyvayushchikh predpriyatiy na ekosistemu regiona i otsenka effektivnosti ikh ekologicheskoy deyatel'nosti [The Impact of Mining Enterprises on the Regional Ecosystem and Assessment of the Effectiveness of Their Environmental Activities]. Regional'naya ekonomika i upravleniye: elektronnyy nauchnyy zhurnal, 2(10): 60–70.
- Basargin A.A. 2015. Geological 3d Model-Building by Micromine GIS Techniques. Interexpo Geo-Siberia, 1(1): 15–20 (in Russian).
- Basargin A.A. 2016. Modeling of Ore Mineral Deposits Using Micromine GIS. Interexpo Geo-Siberia, 1(2): 151–155 (in Russian).
- Galanina T.V., Baumgarten M.I. 2013. Ecological Consequences of Technogenic Action at Carrying out of Mountain Operations. Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal), 7: 288–292 (in Russian).
- Gutak Ya.M., Kauchakova E.E., Ruban D.A. 2009. Structural Monuments Nature: a New Approach to Fixation Unique Information about the Earth's Crust. Regional Environmental Issues, 5: 178–184 (in Russian).
- Efimov V.I., Stas G.V., Korchagina T.V., Prokhorov D.O. 2020. Methodological Principals of the Integrated Ecological Evaluating Environmental Influence of Coal Mine Damps. Izvestiya Tula State University. Earth Sciences, 3: 18–28 (in Russian).
- Kaliev A.A., Baishuakov A.T., Ermienko A.V. 2019. Monitoring Natural Environmental Infringements by Technogenous Processes Declining Cosmoses. Interexpo Geo-Siberia, 4(2): 64–72 (in Russian). <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-2-64-72>.
- Kaliev K.B., Ishkenov B.T. 2017. Vozdeystviye na okruzhayushchuyu sredu otkrytykh gornyykh razrabotok [Environmental Impact of Open-Pit Mining]. Innovatsionnaya nauka, 11: 33–38.
- Luneva E.V. 2020. The Use of Public Information Technologies in Protection of Environmental Rights and Rights to Natural Resources. Lex Russica, 73(5(162)): 29–40 (in Russian). <https://doi.org/10.17803/1729-5920.2020.162.5.029-040>.
- Medvedev P.A., Mazurov B.T. 2016. The Algorithm of Direct Calculation of the Spatial Geodetic Coordinates at the Rectangular Coordinates. Interexpo Geo-Siberia, 1(2): 59–63 (in Russian).
- Movchan I.B., Yakovleva A.A., Asyanina V.Yu. 2013. Metod operezhayushchego prognoza v zadache snizheniya nagruzki na landshaft pri planirovaniy detalizatsionnykh geologicheskikh i ekologicheskikh rabot [A Method of Advanced Forecasting in the Problem of Reducing the Load on the Landscape when Planning Detailed Geological and Environmental Work]. Zapiski Gornogo institute, 203: 190–195.
- Nastavko E.V., Nastavko A.V., Kaiser F.Yu., Solovitsky A.N. 2023. On the Digital Model of Coal Deposits in Kuzbass in GMIS Micromine. International Research Journal, 1(127): 1–6 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.23>
- Nepoklonov V.B. 2010. Gravimetry and Geodesy. Moscow, Publ. Nauchny Mir, 570 p. (in Russian).



- Olenkov V.D. 2014. Wind Conditions in Damaged Areas. Bulletin of the South Ural State University. Series «Construction Engineering and Architecture», 14(1): 9–13 (in Russian).
- Sladkovevtsev S.A. 1982. Izucheniye i kartografirovaniye relyefa s ispolzovaniyem aerokosmicheskoy informatsii [Study and Mapping of Relief Using Aerospace Information]. Moscow, Publ. Nedra, 216 p.
- Smirnov L.E. 1967. Teoreticheskiye osnovy i metody geograficheskogo deshifrirovaniya aerosnimkov [Theoretical Foundations and Methods of Geographic Interpretation of Aerial Photographs]. Leningrad, Publ. leningradskogo universiteta, 214 p.
- Sokolov L.A., Lobanov G.V., Polyakova A.V. 2010. Ispolzovaniye vozmozhnostey modeli SRTM (shuttle radar Satel- Lite mission) v analize relyefa kak faktora pochvoobrazovaniya (na primere Bryanskogo lesnogo massiva) [Using the Capabilities of the SRTM (Shuttle Radar Satel-Lite Mission) Model in the Analysis of Relief as a Soil Formation Factor (Using the Example of the Bryansk Forest Massif)]. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 4: 237–243.
- Nikolakopoulos K.G., Kamaratakis E.K., Chrysoulakis N. 2006. SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for Two Regions in Crete, Greece. International Journal of Remote Sensing, 27: 4819–4838. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600835853>.

Поступила в редакцию 30.05.2023;

поступила после рецензирования 21.08.2023;

принята к публикации 29.10.2023

Received May 30, 2023;

Revised August 21, 2023;

Accepted October 29, 2023

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

Андропова Виктория Сергеевна, аспирант кафедры геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности института горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Гутак Ярослав Михайлович, профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности института горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoria S. Andropova, Postgraduate of the Department of Geology, Geodesy and Life Safety of Institute of Mining and Geosystems of Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Yaroslav M. Gutak, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Geology, Geodesy and Life Safety of Institute of Mining and Geosystems of Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia



УДК 504.062.2

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-539-549

Незаконная добыча общераспространённых полезных ископаемых на территории Белгородской области и её последствия

Рагулина О.П., Селюков А.О.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
E-mail: 90483@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье приведены результаты анализа ресурсной базы и существующего территориального планирования Белгородской области, выявленных региональными надзорными органами фактов незаконной разработки карьеров, а также результаты проведённой инвентаризации несанкционированных карьеров с учётом территориального устройства Белгородской области и её отдельных муниципальных образований. С использованием ГИС-технологий выявленные несанкционированные карьеры, а также места лицензионной добычи общераспространённых полезных ископаемых и нанесены на карту. Проанализированы статистические данные об имеющихся фактах нарушений природоохранного законодательства в части охраны недр, а также вреда, нанесённого недрам, как компонентам окружающей среды Белгородской области. В ходе проведённого анализа установлено, что незаконная разработка карьеров оказывает существенное воздействие на состояние окружающей среды, в том числе на состояние земель, атмосферного воздуха, почв в результате складирования отходов жизнедеятельности. Также проведённый анализ позволил оценить недостаточность существующих мер ответственности, которые не решают проблемы незаконного пользования недрами, их охраны. В связи с этим необходим комплексный подход при проведении природоохранных мероприятий, а также совершенствование существующих методов рекультивации несанкционированных карьеров.

Ключевые слова: территориальное планирование Белгородской области, несанкционированные карьеры, охрана недр, незаконное пользование недрами, вред окружающей среде

Для цитирования: Рагулина О.П., Селюков А.О. 2023. Незаконная добыча общераспространённых полезных ископаемых на территории Белгородской области и её последствия. Региональные геосистемы, 47(4): 539–549. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-539-549

Illegal Mining of Common Minerals in the Belgorod Region and Its Consequences

Oksana P. Ragulina, Anton O. Selyukov

Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia
E-mail: 90483@bsu.edu.ru

Abstract. The article presents the results of an analysis of the resource base and existing territorial planning of the Belgorod region, the facts of illegal quarrying identified by regional supervisory authorities, as well as the results of an inventory of unauthorized quarries taking into account the territorial structure of the Belgorod region and its individual municipalities. Using GIS technologies, identified unauthorized quarries, as well as places of licensed mining of common minerals, are mapped. Statistical data on existing facts of violations of environmental legislation regarding the protection of subsoil, as well as damage caused to subsoil as components of the environment of the Belgorod region,



are analyzed. The analysis revealed that illegal quarrying has a significant impact on the environment, including the state of land, atmospheric air, and soil as a result of storing waste. The analysis also made it possible to assess the insufficiency of existing liability measures, which do not solve the problem of illegal use of subsoil and protection of subsoil. In this regard, an integrated approach is required when carrying out environmental protection measures, as well as improving existing methods for the reclamation of unauthorized quarries.

Keywords: Belgorod region territorial planning, unauthorized quarries, subsoil protection, illegal subsoil use, environmental damage

For citation: Ragulina O.P., Selyukov A.O. 2023. Illegal Mining of Common Minerals in the Belgorod Region and Its Consequences. *Regional Geosystems*, 47(4): 539–549. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-539-549

Введение

Главным направлением развития экономики любого региона и его добывающей отрасли в настоящее время является обоснование перспектив рационального использования минерально-сырьевой базы [Агафонов, 2014]. «Стратегией развития геологической отрасли до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 июня 2010 г. № 1039-р [2010], приоритетами в работе российской геологической отрасли на долгосрочную перспективу являются охрана недр и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов для удовлетворения текущих и перспективных потребностей базисной экономики.

Территория Белгородской области обладает такими важными компонентами ресурсного потенциала, как общераспространенные полезные ископаемые (ОПИ). Из данного сырья производят как строительные материалы, так и сырье, которое используют для жилищного, дорожного и промышленного строительства [Фурманова, 2015; Вендина, Белоусова, 2019].

Хозяйственная деятельность строительного комплекса может стать залогом устойчивого развития региона только в том случае, если она будет направлена на достижение высокой экономической эффективности и обеспечение экологической безопасности для каждого компонента окружающей среды [Назаренко и др., 2012].

В связи с постоянно возрастающими объемами строительства и реализацией масштабных проектов, на территории Белгородской области ежегодно повышается уровень добычи песка, песчано-гравийной смеси и иных ОПИ. Вследствие этого происходит неконтролируемое истощение полезных ископаемых, нерациональное их использование оказывает негативное влияние на природные условия и здоровье населения в районах интенсивной добычи ОПИ [Назаренко, 2010].

Проблема незаконной добычи полезных ископаемых в Белгородской области является одной из наиболее острых на сегодняшний день. Всего в области в настоящее время насчитывается 146 безлицензионных (незаконных) карьеров, большая часть из которых образовалась в результате разработки месторождений строительного сырья (песок, глина и мел). Площадь земель, занятая и нарушенная незаконной разработкой ОПИ, превышает 1 км² [Государственный доклад ..., 2021, Управление экологического ..., 2023]. Образование и использование безлицензионных карьеров вызывает не только разрушение почвенного и растительного покрова, трансформацию мезорельефа поверхности природного ландшафта, но и вместе с этим способствует нарушению состояния подземных вод. Констатируется тотальное нарушение функционирования природных геосистем вплоть до их полного уничтожения без возможности восстановления в будущем [Корнилов и др., 2012; Чернявский, Луговской, 2015].

На сегодняшний день можно сказать о том, что восстановление нарушенных в результате добычи земель проводится в недостаточном объеме. Такая ситуация, обуславливает необходимость оперативного принятия управленческих решений в сфере недропользования и дальнейшего использования ОПИ [Назаренко и др., 2011; Артемова и др., 2020].

Все это помогает определить основное направление исследования в области поиска подходов для решения вопросов незаконной добычи недр на территории области и оценки влияния таких разработок ОПИ на состояние окружающей среды, а также для выработки эффективных мер по рекультивации нарушенных земель.

Цель данного исследования заключается в проведении территориального анализа распределения несанкционированных карьеров ОПИ на территории муниципальных образований Белгородской области для совершенствования в последующем подходов к принятию мер по их рекультивации.

Для достижения указанной цели необходимо решить ряд задач. На данном этапе определена главная задача – провести инвентаризацию несанкционированных карьеров в соответствии с территориальным устройством Белгородской области и ее отдельных районов, а также определить необходимость проведения рекультивации.

Объекты и методы исследования

Белгородская область расположена на юго-западе Российской Федерации, входит в состав Центрального федерального округа. Её площадь составляет – более 27 тыс. км². [Мильков, 1961; 1978].

Согласно Схемы территориального планирования [Схема территориального ..., 2011] на территории области разведано 222 месторождения полезных ископаемых, в числе которых также и месторождения ОПИ, например, по разработке мела – 19 месторождений, легкоплавких глин – 65, строительных песков – 13, имеется также цементное сырье (мергель, глины, суглинки) – 2 месторождения.

Таким образом, породы мезозойской эры, которые являются коренными для природных геосистем региона [Мильков и др., 1985], разрабатываются в 21 карьере, а остальные породы, разрабатываемые в карьерах, относятся к чехлу кайнозойских отложений, образованных в палеогеновом, неогеновом и четвертичном периодах. Глубина карьеров первой группы в целом больше, чем второй, и здесь часто складываются наиболее сложные ситуации по изменению уровня и другим характеристикам подземных вод.

Практически из всех месторождений мел пригоден для производства мела дробленого, комового или молотого. Только 11 месторождений разрабатывается из 19 существующих. В соответствии с балансовыми запасами песков различного назначения учтено 15 месторождений. В их числе разрабатывается 13 месторождений. Пески пригодны для строительных и дорожных работ, для производства силикатных изделий, ячеистого бетона, асфальтобетона, строительных растворов. Область располагает значительными запасами цементного сырья – мергеля, глин и суглинков, выветренных сланцев [Схема территориального ..., 2011].

Основанием для возникновения права пользования недрами является лицензия, т. е. специальное разрешение уполномоченного государственного органа по управлению использованием и охраной недр. В настоящее время на территории области насчитывается 51 действующая лицензия на право пользования недрами месторождений ОПИ [О недрах ..., 1992; Автоматизированная система ..., 2023].

Для достижения поставленной задачи проведены натурные исследования несанкционированных карьеров Белгородской области, осуществлен сбор и анализ материалов по результатам исследований, с использованием картографического метода и ГИС-технологий карьеры по добыче ОПИ как лицензионные, так и несанкционированные нанесены на карту.

Результаты и их обсуждение

По результатам проведённого исследования было выявлено, что объёмы добычи ОПИ, а особенно песка и песчано-гравийной смеси, находятся в прямой зависимости от ёмкости рынка строительных материалов определённого региона, а также наличия крупных инфраструктурных проектов, осуществляемых на его территории.

В Белгородской области постоянно увеличивается объём строительства (дорожного и индивидуально-жилищного), в связи с чем возрастает и масштаб добычи ОПИ в том числе и незаконными способами.

При этом находящиеся вблизи крупных строительных объектов лицензированные карьеры зачастую ни по объёму, ни по качеству материалов не могут обеспечить все потребности рынка для проведения строительных работ.

Процедура получения лицензий на новые месторождения, связанная с оформлением большого количества документов и разрешений в разных государственных органах, занимает длительные сроки, зачастую измеряемые годами [О недрах ..., 1992; Об охране окружающей ..., 2002].

По сути складывается ситуация, при которой транспортировка строительного сырья с лицензируемых карьеров обходится поставщику дороже, чем добыча ОПИ. Именно вблизи крупных строительных объектов начинают возникать незаконные карьеры по добыче ОПИ.

Всего в области в настоящее время насчитывается 146 безлицензионных (незаконных) карьеров, распределение их по муниципальным образованиям области представлено в табл. [Географический атлас ..., 2018; Управление экологического ..., 2023] и на рис. 1.

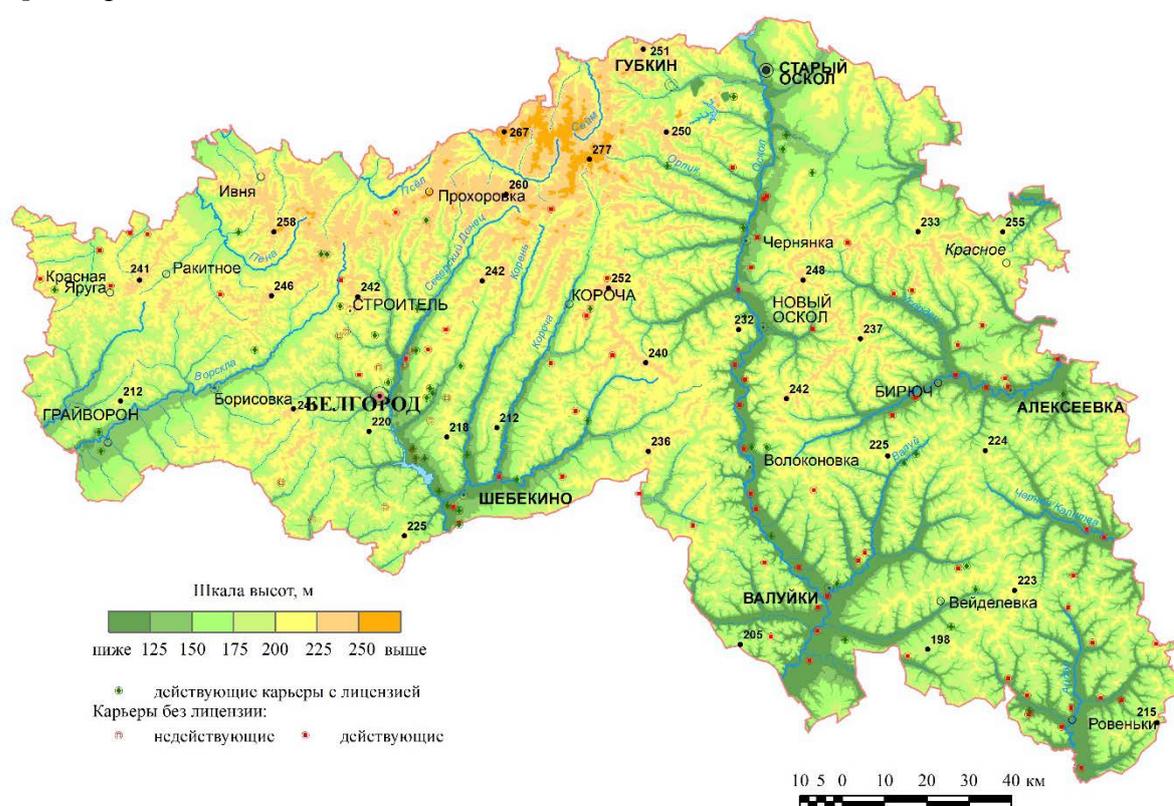


Рис. 1. Расположение лицензионных и несанкционированных карьеров по добыче ОПИ на территории Белгородской области

Fig. 1. Location of licensed and unauthorized OPI mining pits in the Belgorod region

Исходя из территориального планирования на территории области можно выделить 2 крупных промышленных района – Белгородский и Старооскольский, где сосредоточена основная часть проживающего в регионе населения и большая часть крупных промышленных предприятий [Схема территориального ..., 2011].

Информация о несанкционированных карьерах на территории
муниципальных образований Белгородской области
Information about unauthorized quarries on the territory of municipalities of the Belgorod region

| № п/п | Муниципальное образование | Количество действующих лицензий на право пользования недрами | Количество несанкционированных карьеров | | |
|-------|---------------------------|--|---|-------------|---------------|
| | | | Всего | Действующие | Недействующие |
| 1 | Алексеевский ГО | 1 | 8 | 8 | – |
| 2 | г. Белгород | 9 | 3 | 1 | 2 |
| 3 | Белгородский район | | 15 | 5 | 10 |
| 4 | Борисовский район | 2 | 2 | – | 2 |
| 5 | Валуйский ГО | 3 | 14 | 9 | 5 |
| 6 | Вейделевский район | 3 | 11 | 2 | 9 |
| 7 | Волоконовский район | 2 | 7 | 7 | – |
| 8 | Грайворонский район | 2 | 4 | – | 4 |
| 9 | Губкинский ГО | 1 | 2 | – | 2 |
| 10 | Ивнянский район | 1 | 5 | – | 5 |
| 11 | Корочанский район | 2 | 5 | 5 | – |
| 12 | Красненский район | – | 1 | – | 1 |
| 13 | Красногвардейский район | 2 | 5 | 5 | – |
| 14 | Краснояржужский район | 1 | 4 | 2 | 2 |
| 15 | Новооскольский район | 1 | 5 | 4 | 1 |
| 16 | Прохоровский район | 1 | 2 | 2 | – |
| 17 | Ракитянский район | 1 | 8 | 4 | 4 |
| 18 | Ровеньской район | 1 | 20 | 13 | 7 |
| 19 | Старооскольский ГО | 4 | 5 | – | 5 |
| 20 | Чернянский район | 1 | 7 | 6 | 1 |
| 21 | Шебекинский ГО | 8 | 6 | 5 | 1 |
| 22 | Яковлевский ГО | 5 | 7 | 2 | 5 |
| ИТОГО | | 51 | 146 | 80 | 66 |

А значит именно в этих районах должны быть максимальные потребности в строительном сырье с целью обеспечения нужд жителей данных территорий и промышленных предприятий.

Если говорить о Белгородском районе, то помимо 9 организаций, осуществляющих здесь лицензионную добычу ОПИ, имеется ещё 17 несанкционированных карьеров, из которых в 12 периодически осуществляется незаконная добыча полезных ископаемых.

Что касается Старооскольского городского округа, здесь ситуация намного лучше: 4 организации осуществляют добычу ОПИ в соответствии с лицензией и всего 5 несанкционированных карьеров расположено на территории округа, которые фактически не действуют.

Потребность в ОПИ существует и на сельских территориях. Особенно интенсивная незаконная разработка отмечается на территории Ровеньского района. Здесь выявлено 20 несанкционированных карьеров, а это 14 % от общего количества карьеров на территории всей области (рис. 2).

Из них действующими, т. е. где систематически фиксируются факты добычи полезных ископаемых, является 13, а 7 – остаются недействующими. Тем не менее рекультивация на этих участках не проводилась, а значит они являются потенциальными объектами совершения противоправных действий.



Рис. 2. Карьеры ОПИ на территории Ровеньского района Белгородской области
Fig. 2. OPI quarries in the Rovensky district of the Belgorod region

Если говорить о собственниках земель, на которых располагаются несанкционированные карьеры, то в области большинство карьеров находятся на землях, собственниками которых являются муниципалитеты [Управление экологического ..., 2023].

Основным недостатком разработки месторождений ОПИ является негативное воздействие на окружающую среду, выразившееся непосредственно в воздействии на атмосферный воздух, на поверхностные и подземные воды, на земельные ресурсы и др. [Об охране атмосферного ..., 1999; Фурманова, Петина, 2012].

Существенный вред окружающей среде причиняет незаконная разработка карьеров, в которых добыча ОПИ осуществляется бесконтрольными методами, без обязательного инженерного обоснования. Это приводит к полному уничтожению почвы, а также зелёных насаждений [Об утверждении Правил ..., 2013]. Период восстановления плодородия нарушенных почв (если они не уничтожены абсолютно) довольно значительный – сотни лет. С целью минимизация вредного воздействия на окружающую среду необходимо проведение большого количества дорогостоящих рекультивационных и восстановительных работ [Иванова, 2015; Васильченко, 2017; Бортникова и др., 2018; Гуляева, 2018].

При отсутствии документов, подтверждающих право пользования участком недр (лицензии), добыча полезных ископаемых считается нарушением, а, следовательно, могут быть применены меры ответственности, установленные законодательством РФ [Позднякова, 2013; Кольцов, 2017].

В 2022 году за незаконное пользование недрами без лицензии (ч. 1 ст. 7.3 КоАП РФ) [Кодекс РФ ..., 2001] органом власти субъекта, уполномоченным в области охраны недр – управлением экологического и охотничьего надзора Белгородской области, к административной ответственности привлечено 221 виновное лицо, сумма штрафов за данные нарушения составила 2775,0 тыс. рублей. По фактам незаконной добычи недр на территории Ровеньского района в 2022 году составлено 20 протоколов об административных правонарушениях, сумма штрафов составила 105,0 тыс. рублей [Управление экологического..., 2023].

За последние 5 лет по данным управления в указанной сфере выявлено 487 нарушений, общая сумма штрафов за пользование недрами без лицензии составила 9126,0 тыс. рублей. В Ровеньском районе за этот период времени было выявлено 32 факта нарушений, общая сумма штрафов составила 192,0 тыс. рублей [Управление экологического... 2023]. Однако меры ответственности, которые применяются органами власти в рамках существующего законодательства, не решают всех проблем незаконного пользования недрами. Особенно острыми остаются вопросы рекультивации земель, нарушенных незаконными разработками недр.

Согласно действующему законодательству добыча полезных ископаемых без лицензии является самовольным использованием недр, которое приводит к причинению вреда государству. Причиненный вред в результате нарушений природоохранного законодательства подлежит возмещению и за него приходится расплачиваться нарушителю. Иски о возмещении вреда, причиненного компонентам окружающей среды (в том числе и недрам), могут быть предъявлены на протяжении двадцати лет.

В связи с тем, что для проведения оценки размера вреда, причиненного недрам, необходимо проводить дополнительные геодезические и маркшейдерские работы, также необходимо определение вида полезного ископаемого, требуется привлечение сторонних профильных организаций или специалистов для организации и проведения таких мероприятий за отдельную плату. Ввиду отсутствия финансирования на проведение вышеуказанных мероприятий надзорными органами Белгородской области только с 2021 года стало уделяться особое внимание выявлению фактов причинения вреда недрам. За незаконную добычу ОПИ (песка, глины и мела) в период с 2021 по 2023 г. сумма вреда, причиненного недрам, составила более 40,0 млн рублей [Управление экологического... 2023].

Заключение

В процессе полевых исследований установлено, что незаконная разработка карьеров ОПИ оказывает существенное воздействие на состояние окружающей среды. В результате такого воздействия происходит непосредственное уничтожение природных экосистем на земельных участках. К тому же оказывается воздействие в пределах данной территории и на атмосферный воздух в результате его загрязнения веществами, образующимися при работе двигателей автомобилей, и выбросами пыли.

Нерекультивированные незаконные карьеры зачастую жители используют для складирования отходов жизнедеятельности, а это очень плохо влияет на состояние окружающей среды.

Проанализировав текущее состояние нерекультивированных карьеров по добыче ОПИ в области, а также систематические нарушения природоохранного законодательства,



можно сделать вывод о существующей необходимости принятия комплексных мер по проведению рекультивации данных мест.

Проведённая инвентаризация несанкционированных карьеров Белгородской области направлена на разработку плана первоочередных работ по их рекультивации и определения наилучших способов проведения таких работ. По мере продвижения исследований по совершенствованию подходов к рекультивации несанкционированных карьеров ОПИ в Белгородской области необходимо будет составлять проекты их рекультивации и подготовить предложения о выборе предприятий или организаций, которые будут проводить данную рекультивацию. Также необходимо разработать схему контроля за соблюдением норм при проведении рекультивационных работ на несанкционированных карьерах.

Список источников

- Автоматизированная система лицензирования недропользования. Электронный ресурс. URL: [https://asln.rosnedra.gov.ru/reJPFbsHwKMw1elpGGKwa/\\$/](https://asln.rosnedra.gov.ru/reJPFbsHwKMw1elpGGKwa/$/) (дата обращения: 07 июля 2023).
- Васильченко А.В. 2017. Рекультивация нарушенных земель. Оренбург, ОГУ, 230 с.
- Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. 2018. Белгород, Константа, 200 с.
- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Белгородской области. 2021. Электронный ресурс. URL: http://beluprles.ru/media/site_platform_media/2022/10/5/gosdoklad-2021.pdf (дата обращения: 07 июля 2023).
- Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ (ред. от 04.08.2023) Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/?ysclid=ln7v55a9vi740781168 (дата обращения: 07 июля 2023).
- Об охране окружающей среды: Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 04.08.2023). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=lmz7ketdp3202417528 (дата обращения: 08 августа 2023).
- Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон Российской Федерации от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ (в ред. от 13.06.2023). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/?ysclid=lmz7p0g3lz593187087 (дата обращения: 07 июля 2023).
- Об утверждении Правил расчета размера вреда, причиненного недрам вследствие нарушения законодательства РФ о недрах: Постановление Правительства РФ от 4 июля 2013 г. № 564 (ред. от 10.03.2020). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148921/4c57c336697406428c12bf23ddf470a94f51ef75/?ysclid=lmz7rzg9dr719948142 (дата обращения: 07 июля 2023).
- О недрах: Закон РФ от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 (ред. от 28.04.2023). Электронный ресурс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/?ysclid=lmz7xshndv315130072 (дата обращения: 07 июля 2023).
- Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года. Электронный ресурс. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/strategii_i_doktriny/?PAGEN_2=3/ (дата обращения: 07 июля 2023).
- Схема территориального планирования Белгородской области: постановление Правительства Белгородской области от 31 октября 2011 года № 399-пп (ред. от 28.08.2023). Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/469026598?ysclid=lmz83b7dps890670337> (дата обращения: 02 сентября 2023).
- Управление экологического и охотничьего надзора Белгородской области. База данных статистических показателей об административных правонарушениях и причинённого вреда окружающей среде. Электронный ресурс. URL: <http://www.econadzor31.ru/deyatelnost/regionalnyj-nadzor/regionalnyj-gosudarstvennyj-geologicheskij-kontrol-nadzor/> (дата обращения: 08 июня 2023).

Список литературы

- Агафонов В.Б. 2014. Правовое регулирование охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Автореф. дис. ... докт. юр. Наук. Москва, 21 с.
- Артемова Е.А., Клименко К.В., Орлова Т.А. 2020. Рекультивация нарушенных земель в Республике Крым. В кн.: Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 24 апреля 2020. Краснодар, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина: 332–337.
- Бортникова Г.А., Межова Л.А., Луговской А.М., Евдокимов М.Ю., Ткачев А.Ю., Рихардт П.В. 2018. Геоэкологическая рекультивация и санация территорий карьеров строительных материалов. Проблемы региональной экологии, 6: 40–45. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-16040>
- Вендина Т.Н., Белоусова Л.И. 2019. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды Белгородской области под воздействием промышленности по добыче ОПИ. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы VIII Международной научной конференции. Белгород, 22–25 октября 2019. Белгород, Издательский дом «Белгород»: 315–319.
- Гуляева А.А. 2018. Практический опыт использования отработанных карьеров после проведения рекультивации. Молодёжь и наука, 2: 65–71.
- Иванова Л.В. 2015. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 56: 491–498.
- Кольцов Д.В. 2017. Оперативно-розыскное противодействие незаконной добыче общераспространенных полезных ископаемых. Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России, 1(73): 128–133.
- Корнилов А.Г., Новых Л.Л., Колмыков С.Н., Кичигин Е.В., Листопад М.В., Корнилов И.А. 2012. Влияние флотационных технологий на состояние земельных ресурсов. Недропользование XXI век, 4(35): 64–69.
- Мильков Ф.Н., Михно В.Б., Бережной А.В., Чикишев А.Г., Затулей К.С., Протопопов В.В., Ахтырцев Б.П., Скуфьин К.В., Дроздов К.А., Нестеров А.И., Двуреченский В.Н., Бердникова З.П., Федотов В.И., Поросенков Ю.В., Дудник Н.И., Пономарева А.В. 1985. Среднерусское Белогорье. Воронеж, Воронежский государственный университет, 236 с.
- Мильков Ф.Н. 1978. Рукотворные ландшафты: рассказ об антропогенных комплексах. Москва, Мысль, 86 с.
- Мильков Ф.Н. 1961. Физико-географическое районирование центральных черноземных областей. Воронеж, Издательство Воронежского университета, 263 с.
- Назаренко Н.В. 2010. Закономерности пространственного распределения карьеров ОПИ в Белгородской области и их воздействие на окружающую среду. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы IV Международной научной конференции, Белгород, 11–14 октября 2010. Белгород, Константа: 62–65.
- Назаренко Н.В., Петина В.И., Гайворонская Н.И., Белоусова Л.И. 2011. Проблемы рекультивации нарушенных земель на карьерах общераспространенных полезных ископаемых в Белгородской области и пути их решения. Проблемы региональной экологии, 2: 177–183.
- Назаренко Н.В., Петин А.Н., Фурманова Т.Н. 2012. Воздействие разработки месторождений по добыче общераспространенных полезных ископаемых на окружающую природную среду. Современные проблемы науки и образования, 6: 610–618.
- Позднякова Е.А. 2013. Привлечение к уголовной ответственности за безлицензионную добычу общераспространенных полезных ископаемых. В кн.: Юридическая ответственность: современные вызовы и решения. Материалы для VIII Ежегодных научных чтений памяти профессора С.Н. Братуся, Москва, 23 октября 2013. М., Инфра-М: 257–264. <https://doi.org/10.12737/1057>.
- Фурманова Т.Н., Петина В.И. 2012. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды в зоне влияния горнодобывающего комплекса (на примере Белгородской области). В кн.:



- Перспективы геоэкологии после Рио+20. Материалы Всероссийской молодежной научной школы, Москва, 12–14 сентября 2012. М., Издательство Московского университета: 54–60.
- Фурманова Т.Н. 2015. Геоэкологическая оценка воздействия добычи общераспространенных полезных ископаемых на состояние окружающей среды (на примере Белгородской области). Дис. ...канд. геогр. наук. Белгород, 165 с.
- Чернявский Е.А., Луговской А.М. 2015. Современное состояние проблемы создания модифицированных природно-техногенных геосистем карьеров по добыче строительных материалов с учётом зонального характера процессов самовосстановления. Экология урбанизированных территорий, 4: 96–102.

References

- Agafonov V.B. 2014. Pravovoe regulirovanie ohrany okruzhayushchej sredy i obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti [Legal Regulation of Environmental Protection and Ensuring Environmental Safety]. Abstract. dis. ... doc. Legal. Sciences. Moscow, 21 p.
- Artemova E.A., Klimenko K.V., Orlova T.A. 2020. Rekul'tivaciya narushennyh zemel' v Respublike Krym [Reclamation of Disturbed Lands in the Republic of Crimea]. In: Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya zemel'no-imushchestvennyh otnoshenij [Modern Problems and Prospects for the Development of Land and Property Relations]. Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnodar, 24 April 2020. Krasnodar, Publ. Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina: 332–337.
- Bortnikova G.A., Mezхова L.A., Lugovskoy A.M., Evdokimov M.Yu., Tkachev A.Yu., Richardt P.V. 2018. Geo-Environmental Reclamation and Rehabilitation of Areas of the Quarries for Constructional Material Extraction. Problems of regional ecology, 6: 40–45 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-16040>
- Vendina T.N., Belousova L.I. 2019. Geoekologicheskaya ocenka sostoyaniya okruzhayushchej sredy Belgorodskoj oblasti pod vozdejstviem promyshlennosti po dobyche OPI [Geoecological Assessment of the State of the Environment of the Belgorod Region Under the Influence of the Mineral Resource Extraction Industry]. In: Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i na sopredelnykh territoriyakh [Problems of Environmental Management and Environmental Situation in European Russia and Adjacent Territories]. Materials of the VIII International Scientific Conference. Belgorod, 22–25 October 2019. Belgorod, Belgorod Publishing House: 315–319.
- Gulyaeva A.A. 2018. Practical Experience of Using the Territory of Waste Quarries after Recultivation. Youth and Science, 2: 65–71 (in Russian).
- Ivanova L.V. 2015. International Experience of Solving the Problem of Land Reclamation after Mining. Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal), 56: 491–498 (in Russian).
- Koltsov D.V. 2017. The Operative Investigation Activities Performed by Operation Units to Counter Illegal Mineral Production. Vestnik of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1(73): 128–133 (in Russian).
- Kornilov A.G., Novykh L.L., Kolmykov S.N., Kichigin E.V., Listopad M.V., Kornilov I.A. 2012. Influence Flotation Technology on the Land Resources. Subsoil use XXI century, 4(35): 64–69 (in Russian).
- Milkov F.N., Mikhno V.B., Berezhnoy A.V., Chikishev A.G., Zatulley K.S., Protopopov V.V., Akhtyrtsev B.P., Skufin K.V., Drozdov K.A., Nesterov A.I., Dvurechenskiy V.N., Berdnikova Z.P., Fedotov V.I., Porosenkov Yu.V., Dudnik N.I., Ponomareva A.V. 1985. Srednerusskoe Belogor'e [Central Russian Belogorye]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet, 236 p.
- Milkov F.N. 1978. Rukotvornye landshafty: rasskaz ob antropogennyh kompleksah [Man-Made Landscapes: a Story About Anthropogenic Complexes]. Moscow, Publ. Mysl, 86 p.
- Milkov F.N. 1961. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie central'nyh chernozemnyh oblastej [Physico-Geographical Zoning of the Central Chernozem Regions]. Voronezh, Publ. Voronezhskogo universiteta, 263 p.
- Nazarenko N.V. 2010. Zakonomernosti prostranstvennogo raspredeleniya karyerov OPI v Belgorodskoy oblasti i ikh vozdeystviye na okruzhayushchuyu sredu [Patterns of Spatial Distribution of Open-Pit Mines in the Belgorod Region and Their Impact on the Environment]. In: Problemy

- prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredelnykh stranakh [Problems of Environmental Management and the Environmental Situation in European Russia and Neighboring Countries]. Materials of the IV International Scientific Conference, Belgorod, 11–14 October 2010. Belgorod, Publ. Constanta: 62–65.
- Nazarenko N.V., Petina V.I., Gaivoronskaya N.I., Belousova L.I. 2011. Problems of Revegetation on Quarries Common Minerals in the Belgorod Region and Their Solutions. Regional Environmental Issues, 2: 177–183 (in Russian).
- Nazarenko N.V., Petin A.N., Furmanova T.N. 2012. Effects Development of Deposits Common Mineral Resources on the Environment. Modern problems of science and education, 6: 610–618 (in Russian).
- Pozdnyakova E.A. 2013. Criminal Liability for Licence-Free Extraction of Commonly Occurring Mineral Resources. In: Legal Liability: Modern Challenges and Solutions. Materials for the VIII Annual Scientific Readings in Memory of Professor S.N. Bratus, Moscow, 23 October 2013. Moscow, Publ. Infra-M: 257–264 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/1057>.
- Furmanova T.N., Petina V.I. 2012. Geoekologicheskaya ocenka sostoyaniya okruzhayushchej sredy v zone vliyaniya gornodobyvayushchego kompleksa (na primere Belgorodskoj oblasti) [Geoecological Assessment of the State of the Environment in the Zone of Influence of the Mining Complex (Using the Example of the Belgorod Region)]. In: Perspektivy geoekologii posle Rio+20 [Prospects for Geoecology after Rio+20]. Materials of the All-Russian Youth Scientific School, Moscow, 12–14 September 2012. Moscow, Publ. Moscow University Publishing House: 54–60.
- Furmanova T.N. 2015. Geoekologicheskaya ocenka vozdeystviya dobychi obshcherasprostranennykh poleznykh iskopaemykh na sostoyanie okruzhayushchej sredy (na primere Belgorodskoj oblasti) [Geoecological Assessment of the Impact of Mining of Common Minerals on the State of the Environment (Using the Example of the Belgorod Region)]. Dis. ... cand. geogr. Sciences. Belgorod, 165 p.
- Chernyavsky E.A., Lugovskoy A.M. 2015. The Current State of the Problem of Creating a Modified Natural-Technical Geosystems On-Site Quarries of Building Materials Taking Into Account the Nature of the Processes of Self-Healing Zone. Ecology of urban areas, 4: 96–102 (in Russian).

*Поступила в редакцию 03.10.2023;
поступила после рецензирования 22.11.2023;
принята к публикации 04.12.2023*

*Received October 03, 2023;
Revised November 22, 2023;
Accepted December 04, 2023*

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

Рагулина Оксана Петровна, аспирантка кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Селюков Антон Олегович, аспирант кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oksana P. Ragulina, Postgraduate Student of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Anton O. Selyukov, Postgraduate Student of the Department of Environmental Management and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 911.9 +574.5

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений

Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: kornilova@bsu.edu.ru; fnliset@mail.ru; zamuraeva@bsu.edu.ru

Аннотация. Трансграничная река Ворскла на территории России охватывает только 13,5 % общей площади бассейна, где формируется 8 % годового стока реки в устье. Однако именно эта часть водосбора с гидрографической сетью на территории шести муниципальных образований Белгородской области во многом определяет экологическую обстановку на всем протяжении реки. Целью работы было определение современных тенденций изменения водности реки и гидроэкологической ситуации с учетом антропогенного преобразования территории речного бассейна Ворсклы и изменения региональной климатической системы. Анализ непрерывного временного ряда среднегодовых расходов воды за 93 года позволил определить два периода с различной водностью: 1930–1977 и 1978–2022 гг. Второй период отличается увеличением расходов на 10 % при снижении вариации величин на 5 %. Определены приоритетные загрязняющие вещества, связанные с техногенным влиянием (деятельностью АО «Яковлевский ГОК»), для гидроэкологического мониторинга Ворсклы как рыбохозяйственного водоема (железо общее, фториды, никель, хлориды, бром, бор). Результаты изучения химического состава донных отложений по 26 показателям на всем протяжении реки позволили определить участок русла в пределах Яковлевского городского округа как наиболее трансформированный по аккумуляции загрязнителей по сравнению с региональным геохимическим фоном (исток реки). Показано, что климатически обусловленное увеличение экологического стока за последние четыре десятилетия и вклад притоков в среднем и нижнем течении реки в повышение расходов воды благоприятствуют потенциальным возможностям реки Ворсклы к самоочищению.

Ключевые слова: речной бассейн, расход воды, дренажные воды, донные отложения, загрязнители вод

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. 2023. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений. Региональные геосистемы, 47(4): 550–568. DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes

Evgeniya A. Kornilova, Fedor N. Lisetskii, Mariya E. Rodionova

Belgorod National Research University,

85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: kornilova@bsu.edu.ru; fnliset@mail.ru; zamuraeva@bsu.edu.ru

Abstract. The transboundary Vorskla River in Russia covers only 13.5 % of the entire basin area, where 8 % of the annual river flow at the mouth is formed. However, it is precisely this part of the catchment area with a hydrographic network on the territory of six municipalities of the Belgorod region that largely

determines the ecological situation along the entire length of the river. The purpose of the work was to determine the current trends in changes in the water content of the Vorskla River and the hydro-ecological situation, taking into account the anthropogenic transformation of the river basin territory and changes in the regional climate system. The analysis of a continuous time series of average annual water flows for 93 years made it possible to identify two periods with different water content: 1930–1977 and 1978–2022. The second period is characterized by an increase in flow rates by 10 % with a decrease in the variation of values by 5 %. Priority pollutants that are associated with technogenic influence (the activities of Yakovlevsky mining and processing plant) have been identified for hydro-ecological monitoring of Vorskla as a fishery reservoir (total iron, fluorides, nickel, chlorides, bromine, boron). The results of studying the chemical composition of bottom sediments on 26 indicators along the entire length of the river made it possible to determine the section of the riverbed within the Yakovlevsky urban district as the most transformed in terms of the accumulation of pollutants in comparison with the regional geochemical background (the source of the river). The climate-related increase in environmental flow over the past four decades and the contribution of tributaries in the middle and lower reaches of the river in increasing water flows may favor the potential of the Vorskla River to self-purification.

Keywords: river basin, water flow, drainage water, bottom sediments, water pollutants

Acknowledgements: The study was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011.

For citation: Kornilova E.A., Lisetskii F.N., Rodionova M.E. 2023. Hydroecological Features of the Vorskla River in the Context of Natural and Economic Changes. *Regional geosystems*, 47(4): 550–568 (in Russian). DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568

Введение

В результате современной инвентаризации и электронного картографирования бассейнов малых рек на площади около 17 млн км², отраженных на геопортале «Речные бассейны Европейской части России» [2021], было установлено, что количество бассейновых геосистем составляет 388 627 при их средней площади 47,8 км² [Yermolaev et al., 2021; Ермолаев и др., 2023]. С точки зрения способности рек к самоочищению, то есть снижения в речной воде всей совокупности органических и минеральных веществ в результате физико-химических процессов и функционирования гидробионтов, особенно пристальное внимание уделяется маловодным малым рекам и ручьям, которые более восприимчивы к антропогенным воздействиям и обладают низкой способностью к самоочищению [Samarina et al., 2020]. Токсическое действие различных видов загрязнения (тяжелые металлы, пестициды, поверхностно-активные вещества, биогенные элементы при их сверхнормативной концентрации) приводит к разрыву некоторых звеньев трофической цепи и нарушению обмена веществ, что в конечном счете определяет угнетение процесса самоочищения водной среды [Lisetskii, 2022; Lisetskii, Buryak, 2023]. Как показали экологические исследования рек в железорудных районах, проведенные отечественными и зарубежными учеными [Чепелев и др., 2014; Rodrigues et al., 2014; Dos Reis et al., 2019; Samarina et al., 2020], при неизбежном загрязнении вод тяжелыми металлами наблюдается целый ряд гидрохимических взаимодействий, которые нарушают природные биохимические и физико-химические процессы. Установлено, что для рек, в бассейне которых ведется добыча железных руд Курской магнитной аномалии, характерна в наше время нестабильная динамика изменения среднегодовых расходов воды с четко выраженным отрицательным трендом [Чепелев и др., 2014].

Возможности решения взаимосвязанных проблем рационального земле- и водопользования во многом определяются природно-хозяйственной ситуацией на всей водосборной площади конкретного речного бассейна, что определяет перспективность использования речного бассейна в качестве операционной единицы геопланирования сельских территорий в рамках бассейновой концепции природопользования [Лисецкий и др.,



2015]. При изучении ландшафтной организации территории речных бассейнов перспективен комплексный полиструктурный подход, который учитывает пространственную организацию структурных подсистем бассейна [Позаченюк, Власова, 2022]. В особенности это касается склоновой подсистемы, для которой оптимальна позиционно-динамическая структуризация ландшафта, и разнопорядковая бассейновая организация территории, что определяет возможность интегрировать общность пространственных отношений, обусловленных гидрофункционированием. В качестве примера реализации бассейнового подхода на региональном уровне может быть названа Концепция и программа комплексного использования природных ресурсов «ЭКО-ВОРСКЛА-2005» [1997]. Согласно этому экологическому проекту предполагалось за 8 лет разработать схему комплексного использования и охраны водных ресурсов, предусматривающую систему организационных, технических и экономических мер, направленных на предотвращение загрязнения и истощения вод [Лисецкий и др., 1999]. С геоэкологической точки зрения для предотвращения и устранения негативных явлений на водосборной площади бассейновый подход может обеспечить полный охват всех вероятных причин экологических нарушений, а также межотраслевых и территориальных противоречий [Трифоновна, 2005; Лисецкий, Панин, 2013; Yudina et al., 2017; Полулях и др., 2022]. Геопланировочный подход позволяет решить геоэкологические задачи при разработке комплекса проектных решений, как это показано для природно-хозяйственных условий бассейна реки Ворсклы в границах Прохоровского района Белгородской области [Zheltukhina et al., 2023].

Цель работы состояла в установлении современных тенденций изменения водности реки Ворсклы на территории России (Белгородской области) и гидроэкологической ситуации.

Объекты и методы исследования

Длина Ворсклы до места впадения в р. Днепр 464 км, в пределах России – 118 км. Площадь бассейна составляет 14700 км², из которых на территорию России приходится 1980 км². Ворскла и ее основные притоки протекают по территории шести муниципальных образований Белгородской области. На российскую часть водосбора Ворсклы приходится лишь 13,5 % общей площади и 8 % годового стока реки в устье, но именно эта часть водосбора во многом определяет экологическую обстановку на всем протяжении реки. Прежде всего это связано с разработкой одного из богатейших в мире железорудных месторождений Яковлевского рудника. Запасы месторождения оцениваются в 9,6 млрд т руды, содержащей в среднем 61 % железа.

Информационной основой по гидрологическому режиму реки Ворсклы стали опубликованные данные справочника [Ресурсы поверхностных вод, 1967] и более новые материалы, полученные от ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» (Росгидромет). Непрерывность временного ряда расходов воды (из-за отсутствия наблюдений за 1942 и 1943 гг.) была обеспечена расчетными величинами, полученными по уравнению регрессии расходов воды с годовой суммой осадков по данным за 1944–2003 гг. (суммы атмосферных осадков военных лет были восстановлены по данным тыловых метеостанций за эти годы). Таким образом, обобщенный временной ряд величин среднегодовых расходов воды в р. Ворскле для поста Козинка включал 93 года (1930–2022 гг.). С целью выявления периодов с повышенной и пониженной водностью был использован метод построения разностной интегральной кривой среднегодовых расходов, которая предполагает получение для ординаты нарастающей суммы отклонений годовых модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения. Проанализированный ряд гидрохимических наблюдений на гидропосту Росгидромета (с. Козинка) за 2008–2021 гг. включал стандартный набор показателей: хлориды, сульфаты, ХПК, БПК₅, соли аммония, нитраты, железо, медь, цинк, марганец, нефтепродукты, взвешенные вещества. Авторы статьи использовали также собственные данные, которые были получены в 1998 году (на начальный период работы

Яковлевского ГОКа) по четырем створам (от истока в Ивнянском районе до с. Козинка), а также новые данные, полученные в 2019–2021 гг. по экспериментальному створу ниже Крапивненского водохранилища на р. Ворскле. Кроме того, были привлечены результаты международной экологической экспедиции 2001 года по обследованию состояния трансграничных участков бассейна Днепра, включая створ на р. Ворскле (с. Козинка), где отборы проб воды и донных отложений проводили на пограничном участке с расстояниями от ее устья 344–340 км [Васенко и др., 2003]. Эти данные авторы указанной работы считают «базовой линией» для оценки изменения экологической ситуации по гидрохимическим, гидробиологическим и радиационным показателям. Химический состав донных отложений из русла Ворсклы анализировали по отобраным специалистами Центра прикладных исследований и геотехнологий (НИУ «БелГУ») пробам (по 9 створам от истока до Грайворона) в 2022–2023 гг. в рамках выполнения региональной программы «Наши реки» [Китов, Нарожня, 2023]. Перечень тяжелых металлов в донных отложениях определяли с помощью метода рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, остальные показатели по гостированным методикам (всего использовано 26 показателей). В качестве регионального геохимического фона (РГФ) использовали пробу донных отложений в зоне истока (36,450293 N; 50,900528 E).

Результаты и их обсуждение

Гидрографическая сеть в бассейне Ворсклы.

Истоки реки Ворсклы расположены в Ивнянском районе Белгородской области, выше с. Рождественка. Непосредственно русло формируется у с. Покровка от слияния двух ручьев, вытекающих из двух прудов у с. Рождественка, и пруда, который расположен выше с. Покровка (рис. 1А). Таким образом, истоком реки можно считать место слияния у с. Покровка ($50^{\circ}54'31''$ с. ш. $36^{\circ}26'55''$ в. д.), которое находится на высоте 195 м. Разница абсолютных высот между истоком реки и местоположением с. Козинка составляет 75 м, что определяет средний уклон реки 0,7 %.

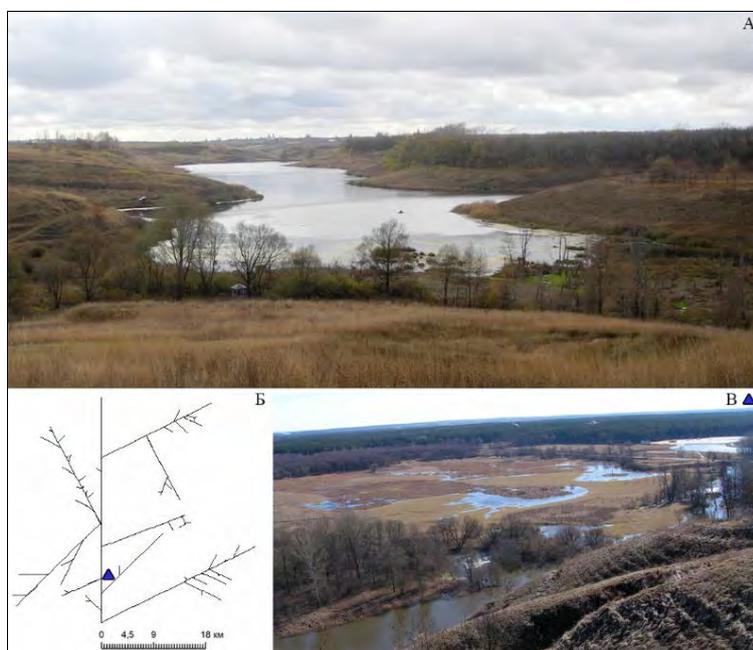


Рис. 1. Зона истока р. Ворсклы у с. Покровка Ивнянского р-на (А); граф гидрографической сети в границах Борисовского р-на (Б); вид на долину реки с детинца Хотмыжского городища (В)

Fig. 1. Source area of the Vorskla River near the village Pokrovka Ivnyansky district (A); graph of the hydrographic network within the boundaries of the Borisovskiy district (B); view of the river valley from the citadel of the Khotmyzh settlement (B)



Выполненное сравнение гидрографической сети Ворсклы по топографическим картам масштаба 1:50000 разных лет показало, что количество постоянных притоков низкого порядка сократилось за последние полвека в среднем на 40 %, а их общая длина – на 30 % [Дегтярь, 2005]. Густота современной речной сети реки составляет в среднем 0,24 км/км², но значительно меняется от верховья и ниже по течению. В границах Яковлевского округа длина Ворсклы 41 км. В этой части бассейна речная сеть за 230 лет сократилась на 25 км (12 %) и составляет в настоящее время 175 км. Наиболее значительным притоком по правому берегу является р. Ворсколец (длиной 16 км с площадью водосбора 112 км²). А уже в пределах Борисовского района по левому берегу водосбора Ворсклы насчитывается 5 водотоков, которые имеют общую длину 82 км с площадью водосбора 299 км², тогда как по правому берегу находится лишь один приток (Готня) длиной 23 км и площадью водосбора 292 км² (рис. 1Б). В границах Грайворонского района наиболее значительны три левых притока, имеющие общую длину 72 км с площадью водосбора 390 км².

Данные по длине реки в пределах Белгородской области различаются в отдельных источниках (от 114 до 118 км). Так, авторы [Лебедева и др., 2013] со ссылкой на справочник [Ресурсы поверхностных вод, 1964] указывают, что в границах области площадь бассейна составляет 2001 км², а длина реки – 114 км. Очевидно, что данные, относительно протяженности реки, ограничиваются территорией до гидрологического поста Козинка. От поста до государственной границы путем картографических измерений нами установлена дополнительная длина отрезка Ворсклы по руслу, которая составила 3,31 км (ранее принималась длина 4 км). Таким образом, принимая во внимание, что водомерный пост в с. Козинка находится в 348 км от устья, а общая длина Ворсклы по общепринятым данным составляет 464 км, на российский участок приходится 119,3 км. Степень учета меандрированности русла, динамичного во времени, накладывается на точность определения его длины. Так, измерение по карте с использованием современных векторных данных OpenStreetMap (выполнено А.О. Полетаевым) показало, что общая длина Ворсклы от истока до гидропоста Козинка составляет 122,5 км.

Природные предпосылки формирования речного стока и его гидрохимии

Асимметрия речной долины Ворсклы, выраженная в возвышенном правом берегу и более низкими высотами на левом берегу, обусловлена тектоникой. Особенно ярко это проявляется в районе Хотмыжской возвышенности, где абсолютные отметки на водоразделах варьируют от 190–200 м до 223 м, а на пойменных участках снижаются до 134–145 м. Купольная структура Хотмыжского изометричного блока, связанного с внедрением крупной интрузии на глубине 1–3 км, ограничена с юга предполагаемым крупным тектоническим нарушением, трассирующимся вдоль русла Ворсклы, а с запада, востока и севера – разрывами более низкого порядка, которые, вероятно, определили русла основных притоков (рис. 1В). При этом, как это было установлено при изучении подземных вод [Бударина и др., 2022], к осевым зонам в разломах кристаллического фундамента приурочены эколого-гидрогеохимические аномалии. В пределах водосборной площади Ворсклы водопроницаемость покровных отложений относительно хорошая и поэтому в средний по водности год инфильтрация атмосферных осадков составляет 70–80 мм, или около 8 % от суммы годовых атмосферных осадков. Подземный сток в средний по водности год составляет 0,39 м³/с. Основной вклад в пополнение запасов подземных вод вносит инфильтрация паводковых вод в эрозионных формах рельефа в период весеннего снеготаяния [Борисовский район..., 2002]. Хотя в структуре водного баланса Ворсклы доля подземного стока составляет в среднем 15–20 %, это важная составляющая экологического стока, поддерживающая способность реки к самоочищению в межень. В этой связи немаловажно обращение к выходам подземных вод (родникам) и их состоянию. Специфика водоносных пород в Ворсклинском речном бассейне определила большую диспропорцию распределения

родников, которые вытекают из четвертичных суглинков и из мелов – 70 % и 2 % соответственно, причем в верховьях бассейна 90 % родников малобитные (до 1 л/с), а высокодебитных (более 10 л/с) нет вовсе [Орехова, Новых, 2017].

Структура основных угодий на водосборе р. Ворсклы

При внедрении бассейновой концепции природопользования в Белгородской области [Лисецкий, Панин, 2013] был использован бассейново-административный подход, который способствует более высокой эффективности взаимодействия между субъектами природопользования на муниципальном уровне (от согласования проектных решений от истока к устью реки до координации финансово-организационных и управленческих решений по внедрению почвоводоохранных мероприятий).

По антропогенной преобразованности бассейна отдельные секторы имеют значительные отличия (табл. 1). Наибольшая распаханность земель отмечается в границах Прохоровского и Белгородского р-нов. Доля площади бассейна под застройкой значительна в Грайворонском р-не, но особенно велика в Яковлевском городском округе. Лесистость в пределах отдельных секторов бассейна меняется от малой облесенности в Белгородском и Прохоровском р-нах до среднеобластной оценки в верховье и повышенной (более 10 %) в нижней части бассейна.

Таблица 1
Table 1

Соотношение площадей основных угодий на территории бассейна р. Ворсклы
в границах муниципальных образований Белгородской области
The ratio of the areas of the main lands in the Vorskla basin within the boundaries
of municipalities of the Belgorod region

| Структура угодий | Районы* | | | | | | Среднее |
|--|---------|------|--------|--------|-------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Площадь бассейна, км ² , в т. ч. (%): | 46,90 | 3,41 | 482,91 | 67,735 | 452,3 | 430,46 | – |
| пашня | 61,4 | 76,5 | 58,1 | 76,9 | 62,5 | 56,3 | 65,3 |
| ЕКУ | 14,9 | 8,1 | 14,1 | 10,5 | 14,3 | 13,1 | 12,5 |
| лесные земли | 9,5 | 5,5 | 10,3 | 5,0 | 10,8 | 14,7 | 9,3 |
| застройка | 8,4 | 2,2 | 15,8 | 5,0 | 8,3 | 10,0 | 8,3 |

*Цифрами обозначены следующие муниципальные образования: 1 – Ивнянский р-н, 2 – Прохоровский р-н, 3 – Яковлевский городской округ, 4 – Белгородский р-н, 5 – Борисовский р-н, 6 – Грайворонский городской округ.

Периодичность изменения водности реки Ворсклы в связи с изменениями климата и ситуации на водосборе.

При разработке статистических моделей модуля водного стока рек для ландшафтных зон ЕТР и, в частности, лесостепи и степи, объясняющими параметрами из климатического блока переменных оказались: годовое количество осадков (мм) и сумма активных температур атмосферного воздуха (°С) [Веденева, 2018]. Анализ временных рядов по данным гидрологических наблюдений на реках, которые испытывают влияние железорудной промышленности [Чепелев и др. 2014], показал, что даже в условиях высокой зарегулированности стока его динамика оценочно на 50 % подчиняется природным закономерностям. Анализ динамики расхода речного стока для малой реки (Болховец) показал, что природное колебание этого показателя можно соотнести с периодом 1947–1980 гг., а стабильное снижение расходов было в 1981–2010 гг., причем климатическая обусловленность формирования речного стока за последние тридцать лет усилилась [Кузьменко и др., 2012]. Однако очевидно, что вклад антропогенного фактора при оценке качества водных масс к настоящему времени возрастает для многих рек региона. Применительно к бассейну Ворсклы установлена тенденция снижения



количества атмосферных осадков за 100 лет на 80 мм, а объемы испарения с поверхности водоемов за теплый период года в 2010 году превышали величину, зафиксированную в 1960 году, в 1,98 раз [Решетникова и др., 2010].

Основной пункт гидрологических наблюдений на реке – это гидрологический пост Гразяда Козинка – р. Ворскла, 80442 (координаты 50°28'25" с.ш., 35°35'37" в.д.); отметка нуля водомерного поста (в Балтийской системе высот): 119,29 м площадь водосбора до поста составляет 1807 км² [Ресурсы поверхностных вод, 1971, с. 587]. Анализ временного ряда среднегодовых расходов воды (Q) р. Ворскла (пост Козинка) за период 1930–2013 гг. позволил получить уравнение линейной регрессии со слабым трендом увеличения водности ($Q = 0,0105t - 14,95$), при этом отмечено, что наиболее длительный период повышенной водности наблюдался с 1977 по 1990 г. [Петина и др., 2014]. Ранее было отмечено, что за период 1944–2011 гг. среднегодовые расходы воды (Q) р. Ворсклы (пост Козинка) (рис. 2) составляли 5,81 м³/с [Лисецкий и др., 2015, с. 106], тогда как временной ряд с привлеченными нами данными за более поздний период (1996–2022 гг.) показывает противоположный тренд, что отражается в величине среднего расхода воды – 4,96 м³/с (рис. 3).

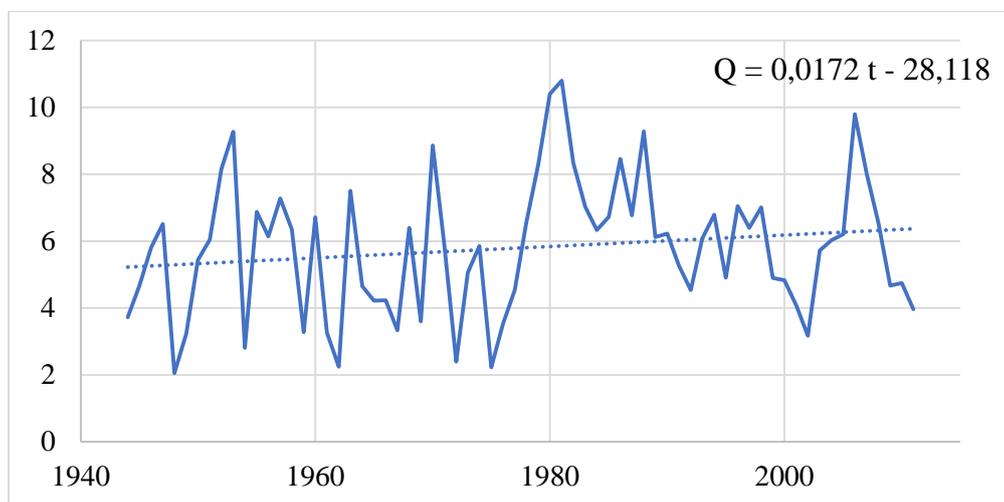


Рис. 2. Среднегодовые расходы воды (Q, м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1944–2011 гг. [Лисецкий и др., 2015, с. 106, рис. 3.2]
 Fig. 2. Average annual water flow (Q, m³/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1944–2011. [Lisetskii et al., 2015, p. 106, fig. 3.2]

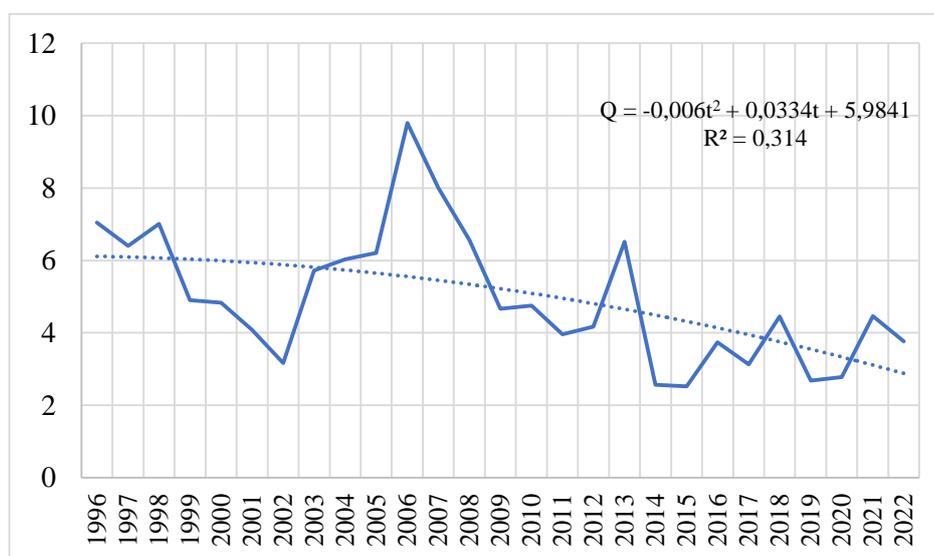


Рис. 3. Среднегодовые расходы воды (Q, м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1996–2022 гг.
 Fig. 3. Average annual water flow (Q, m³/second) river Vorskla (Kozinka post) for 1996–2022.

Наиболее достоверно и полно динамика водности может быть проанализирована, если использовать весь доступный временной ряд наблюдаемых значений расходов воды. Построение разностной интегральной кривой среднегодовых расходов за период 1930–2022 гг. (рис. 4) позволило обосновать два периода водности: 1930–1977 и 1978–2022 гг. (рис. 5 и 6).

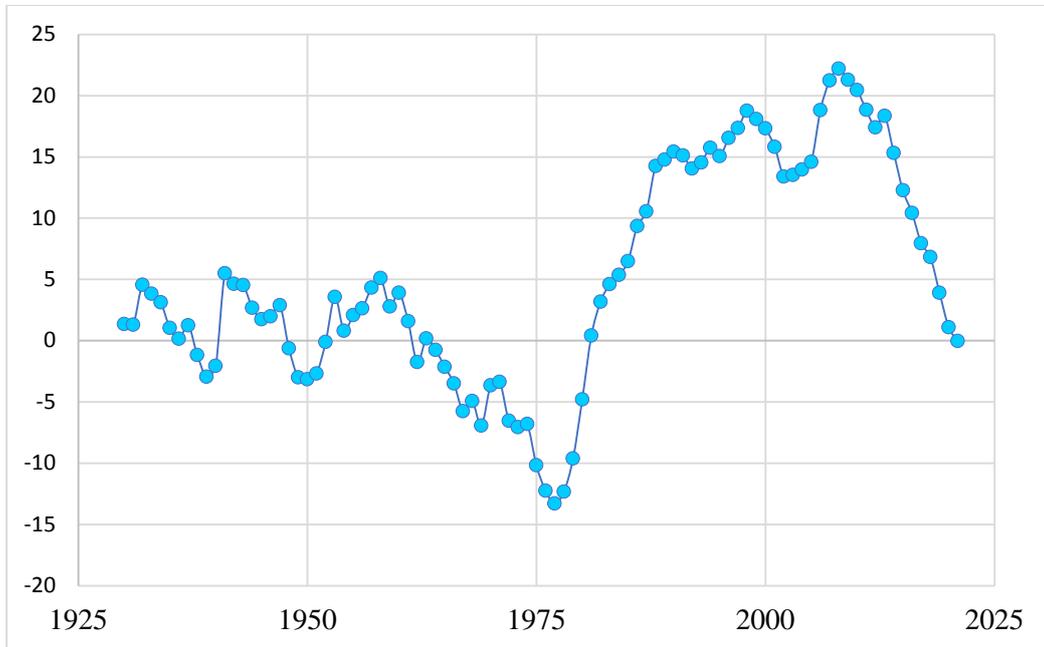


Рис. 4. Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов (Q , $\text{m}^3/\text{с}$) р. Ворсклы (пост Козинка) за период 1930–2022 гг.
Fig. 4. Difference integral curve of average annual flow rates (Q , m^3/s) Vorskla River (Kozinka post) for the period 1930–2022

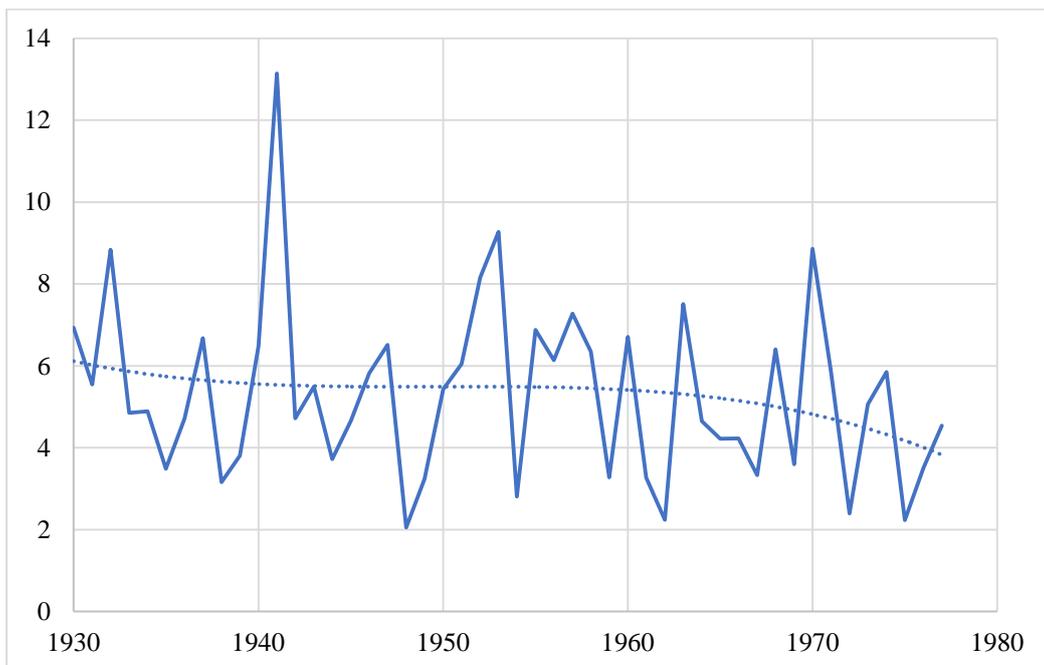


Рис. 5. Динамика среднегодовых расходов воды (Q , $\text{m}^3/\text{с}$) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1930–1977 гг.
Fig. 5. Dynamics of average annual water flow (Q , m^3/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1930–1977

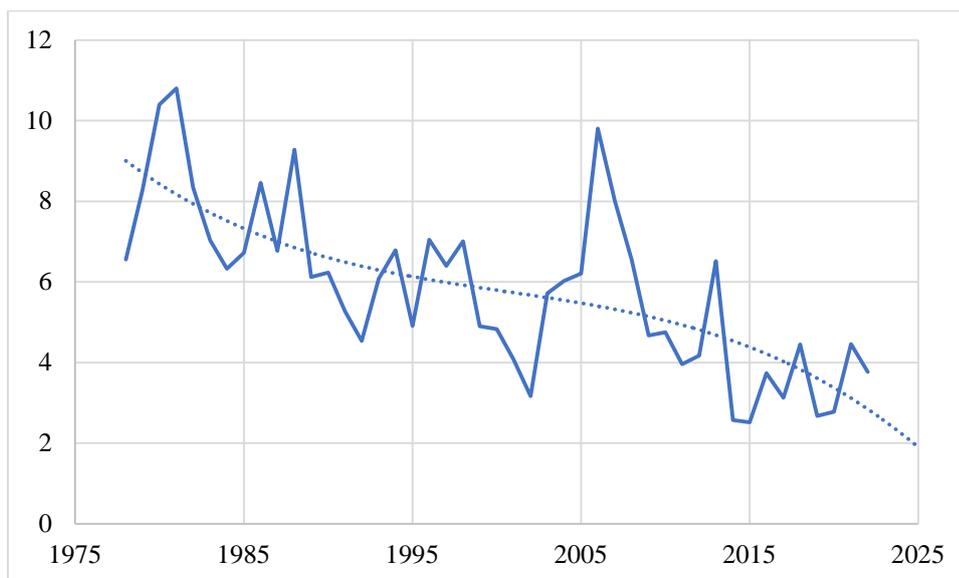


Рис. 6. Динамика среднегодовых расходов воды (Q , м³/с) р. Ворсклы (пост Козинка) за 1978–2022 гг. (прогноз до 2025 года)

Fig. 6. Dynamics of average annual water flow (Q , м³/s) Vorskla River (Kozinka post) for 1978–2022 (forecast until 2025)

Тренды изменения среднегодовых расходов воды показаны полиномами 3-й степени. В частности, выполнен прогноз тренда изменения расходов воды до 2025 года (см. рис. 6).

За период 1978–2022 гг. среднегодовая величина расходов воды увеличилась по сравнению с предшествующим периодом на 10 % (на 0,53 куб. м/с) (табл. 2). При этом в обоих периодах сохранился на 95 % уровне вероятности тот же размах величин между экстремумами, но в 1978–2022 гг. значения минимумов и максимумов стали больше. Для всего временного ряда вариация величин среднегодовых расходов значительная, но снизилась во втором периоде на 5 %.

Таблица 2
Table 2

Основные периоды изменения среднегодовых величин расходов воды в р. Ворскле по данным поста Козинка за 1930–2022 гг.
 The main periods of change in average annual values of water flow in the Vorskla River according to the Kozinka post for 1930–2022

| Периоды | 1930–1977 гг. | 1978–2022 гг. |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Количество лет | 48 | 45 |
| Средняя величина, м ³ /с | 5,31 | 5,84 |
| Диапазон ($X \pm t_{05} s_x$) | 4,68÷5,94 | 5,22÷6,47 |
| Стандартное отклонение | 2,16 | 2,08 |
| Коэффициент вариации, % | 40,72 | 35,66 |

Современные климатические изменения определили в региональной гидрологической системе перераспределение речного стока по сезонам. В частности, менялся во времени вклад весеннего половодья в водном балансе. Так, обработка временного ряда за 1930–1967 гг. по данным гидропоста Козинка показала, что средняя величина стока половодья в % от годового составляла $X \pm t_{05} s_x = 68,00 \pm 5,97$ %. Это приближалось к параметрам вклада стока весеннего половодья в многоводные годы – 70–80 % годового стока [Лисецкий и др., 2015]. Ретроспективный анализ временных рядов

по данным гидропоста с. Козинка показывает, что за период половодья (10.02–19.03) погодичное варьирование гидрологических характеристик было очень значительным: размах величин среднесуточного расхода находился в пределах 11–492 м³/с; суммарный слой стока – от 12 до 128 мм. При этом объем стока за половодье составлял 16,4 млн м³, подъем уровней за половодье достигал 156 см, а уровень выхода воды на пойму доходил до 440 см. Однако в последние десятилетия при направленном изменении климата, как показали исследования формирования поверхностного стока для условий лесостепи [Петелько, Панов, 2019], при слабом промерзании почвы, независимо от снегозапасов и влажности почвы, не наблюдался сток талых вод. Этим условиям для р. Ворсклы может соответствовать ситуация маловодных лет, когда доля стока весеннего половодья сокращалась до 50–60 %. В то же время анализ метеорологических данных за столетний период, включая ряды по мтс. Курск [Демидов, Окулик, 2007], показал, что при снижении стока талых вод и уменьшении величин смыва почвы при снеготаянии, в теплый период года наблюдается возрастание слоя осадков и рост числа дней со стокоформирующими осадками.

Изменения гидрохимических и гидроэкологических показателей воды в р. Ворскле.

Оценка суммарного выноса материала с поверхности речного бассейна обычно включает три основных источника: взвешенные и влекомые наносы и растворенные вещества [Мозжерин и др., 2012]. Однако при наличии техногенного источника, как в случае с верховьем Ворсклы, эта составляющая может приносить существенный вклад в формирование специфических особенностей гидрохимии речных вод. Яковлевский рудник расположен на территории Яковлевского городского округа Белгородской области. Мощная осадочная толща (490–550 м), перекрывающая область оруденения, характеризуется сложными гидрогеологическими условиями, в частности наличием семи водоносных горизонтов. При осушении месторождения необходимо обеспечить откачку дренажных и шахтных вод. Являясь одним из крупных предприятий региона КМА, АО «Яковлевский ГОК» непосредственно влияет на экологическое состояние р. Ворсклы, так как откачиваемые шахтные воды здесь сбрасываются в нее через пруд-отстойник. Однако содержание загрязняющих веществ в реке и в дренажных водах обуславливается не только горнодобывающей деятельностью, но связано и с высоким природным содержанием меди, цинка и железа в почвах Белгородской области, с присутствием многих источников антропогенного поступления таких компонентов, как вышеуказанные, а также свинца в водные объекты.

Так как в марте 1997 года на Яковлевском руднике была поднята на-гора первая руда, а добыча железной руды началась в 2005 году, то этот диапазон можно принять за базовый период гидроэкологического мониторинга. Исследования качества воды, проведенные в НИУ БелГУ в 1998 году для правого и левого истоков Ворсклы и в месте их слияния (табл. 3), показали, что речная вода прозрачная, бесцветная, с рН от 7,0 до 7,8, карбонатной жесткостью 5,77–6,23 ммоль-экв/л, содержанием фтора от 0,65 до 0,82 мг/л при отсутствии железа. Установлено, что практически по всему комплексу показателей, нормируемых для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, включая степень минерализации и содержание микрокомпонентов, вода в истоке Ворсклы соответствует требованиям ГОСТ 2874-73. Но в пробах, взятых в это же время от места сброса дренажных вод АО «Яковлевский рудник» ниже по течению (в 1000 м), отмечалось повышенное содержание фтора (в виде фторид-иона) в пределах 0,18–0,26 мг/л, трехвалентного железа (0,29–0,36 мг/мл) и фосфора (до 5,5 мг/мл). Полученные данные хорошо коррелируют с результатами анализа проб воды из пруда-накопителя дренажных вод Яковлевского рудника, где концентрация фтора и трехвалентного железа достигает порядка 2,5 и 0,45 мг/л соответственно. Таким образом, первоначально было определено, что при оценке влияния сброса



дренажных и рудничных вод на качество воды р. Ворсклы необходимо особое внимание уделить мониторингу стабильных загрязняющих компонентов, таких как фтор, бор, бром, марганец и фосфор.

Таблица 3
Table 3

Гидрохимические показатели воды в р. Ворскле по отдельным створам на начальный период работы Яковлевского ГОКа
Hydrochemical parameters of water in the river. Vorskla at individual sites for the initial period of operation of the Yakovlevsky GOK

| Показатели | 1998 г. | 1998 г. | 1998 г. | 1998 г. | 2001 г.** |
|--|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Створы* | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| рН | 0,85 | 0,93 | 0,88 | 0,85 | – |
| Взвешенные вещества, (мг/дм ³) | 3,84 | 1,07 | 0,89 | 0,24 | – |
| Нитраты (мг/дм ³); | 0,07 | 0,06 | 0,12 | 0,02 | 0,34 |
| Фенолы (мг/дм ³) | 4,1 | 16,3 | 11,8 | 0 | – |
| Zn (мг/дм ³) | 7,4 | 13,2 | 17,2 | 350 | – |
| Pb (мг/дм ³) | 4,22 | 1,12 | 27,0 | – | – |
| Cu (мг/дм ³) | 22,3 | 46,6 | 48,0 | 0 | – |
| Mn (мг/дм ³) | 131,8 | 9,76 | 17,86 | – | – |
| Ca (мг/дм ³) | – | – | – | 124,10 | – |
| Fe (мг/дм ³) | – | – | – | 0,165 | – |
| Mg (мг/дм ³) | – | – | – | 20,05 | – |
| БПК ₅ (мг О/дм ³) | 10,16 | 8,95 | 15,78 | 2,72 | 2,0 |
| ХПК (мг О/дм ³) | 23,62 | 20,8 | 36,7 | – | 28 |
| Кратность превышения рыбохозяйственных ПДК (среднегодовая) по загрязнителям: | | | | | |
| ➤ азоту аммонийному, (мг/дм ³); | 0,98 | 0,45 | 0,73 | 1,04 | 1,5 |
| ➤ нитритам (мг/дм ³); | 0,42 | 0,30 | 0,46 | 0,42 | 2,1 |
| ➤ фосфатам (мг/дм ³); | 0,18 | 0,04 | 0,07 | 0,41 | – |
| ➤ хлоридам (мг/дм ³); | 0,02 | 0,7 | 0,312 | 0,22 | – |
| ➤ ПАВ (в створах городских рек), (мг/дм ³); | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0 | – |
| ➤ нефтепродуктам (в створах городских рек), (мг/дм ³). | 0,2 | 0,61 | 0,53 | 1,0 | 1,2 |

*Створы: 1 – Ивнянский район, исток; 2 – Яковлевский район, с. Кондарево; 3 – Борисовский район, пос. Борисовка; 4 – Грайворонский район, с. Козинка.

По данным табл. 3, кратность превышения рыбохозяйственных ПДК на всем протяжении р. Ворсклы прослеживается по таким загрязнителям, как азот аммонийный, фосфат, хлорид, нефтепродукты, а также по содержанию ряда тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu). От истока до пос. Борисовка наблюдается увеличение содержания нитратов, БПК₅ и ХПК.

Из-за того, что Росгидромет не осуществляет мониторинг по основным маркерам воздействия Яковлевского ГОКа на водную среду (таким, как бор, фтор, бром), авторы привлекли собственные данные по створу к югу от с. Крапивное за 2019–2021 гг. При этом отметим, что косвенными показателями техногенного воздействия можно считать хлориды, сульфаты, железо, медь (незначительно), цинк, нефтепродукты. В то же время источниками поступления перечисленных компонентов в водную среду могут выступать и сточные воды от предприятий иного профиля. На основе базы данных за 2008–2021 гг. среди таких показателей, как хлориды, сульфаты, ХПК, БПК₅, соли аммония, нитраты, железо, медь, цинк, марганец, нефтепродукты, взвешенные вещества был проведен расчет попарных коэффициентов корреляции. В сравнении с реками Оскол и Осколец гидрохимический состав воды в р. Ворскле (створ у с. Козинка) обладает

наиболее слабыми связями между отдельными веществами. В частности, достоверная положительная связь установлена между содержанием хлоридов и нефтепродуктов, а отрицательная связь между содержанием сульфатов и БПК₅. Эту картину дополняют выборочные данные по содержанию загрязняющих веществ в р. Ворскле в районе размещения АО «Яковлевский ГОК», которые были получены в 2019–2021 гг. (рис. 7).

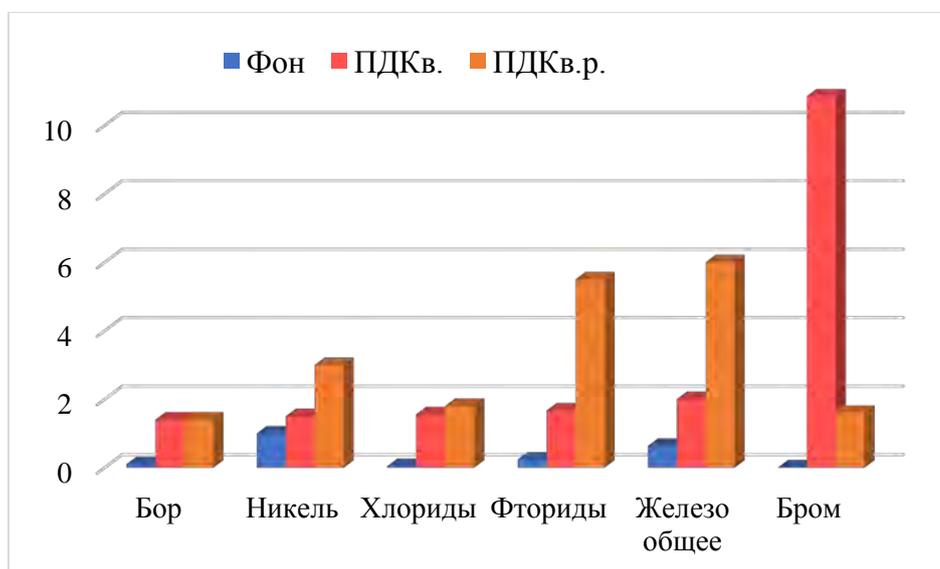


Рис. 7. Превышения предельно допустимых концентраций для питьевого и культурно-бытового водопользования, согласно СанПиН 1.2.3685-21 (ПДКв.) и рыбохозяйственного водопользования (ПДКв.р.) основных загрязняющих веществ в Крапивненском вдхр. и в р. Ворскле у п. Яковлево (Фон) по данным за 2019–2021 гг.

Fig. 7 Exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) for drinking and cultural water use, according to SanPiN 1.2.3685-21 (MPCw.) and fishery water use (MPCw.f.) of the main pollutants in the Krapivnensky Reservoir and in the Vorskla River near the village of Yakovlevo (Background value) according to data for 2019–2021

Из 12 нормируемых загрязняющих веществ были установлены 6, по которым отмечены превышения ПДК по СанПиН 1.2.3685-21 и ПДК для рыбохозяйственного водопользования. В створе у п. Яковлево, который выбран в качестве «Фона» только по содержанию никеля (0,02 мг/л) содержание химических веществ соответствует ПДК, все остальные показатели уступают нормативным уровням. Однако в воде Крапивненского водохранилища по средним величинам превышений по обоим видам ПДК можно определить ранжированный убывающий ряд поллютантов: Бром > Железо общее > Фториды > Никель > Хлориды > Бор.

Река Ворскла протекает в 4–5 км от месторасположения Яковлевского рудника, что обуславливает преимущественное воздействие на гидроэкологическую ситуацию речных вод таких источников сброса сточных вод, как сельскохозяйственные предприятия и селитебные территории. Ниже по течению (Борисовский и Грайворонский районы) основными загрязнителями Ворсклы являются промышленные предприятия и коммунальные службы четырех поселков. В первую очередь такими антропогенными источниками являются п. Томаровка и Томаровский мясокомбинат, п. Борисовка и др. Единственный створ на р. Ворскле находится на значительном удалении от Яковлевского ГОКа, что обуславливает не совсем точные замеры загрязняющих веществ в пункте отбора проб, однако даже в этом случае, некоторые показатели в реке превышают значения ПДК. Ранее [Петина и др., 2014] было показано, что в створе у с. Козинка к характерным и устойчивым загрязняющим веществам относятся органические вещества



по ХПК и БПК₅, сульфаты и фосфаты, азот аммонийный и нитритный, железо общее и медь. Среднегодовые концентрации азота нитритного достигали 1,2–5,2 ПДК, азота аммонийного 1–1,4 ПДК, фосфатов 1,3–1,7 ПДК, сульфатов 1,1–1,2 ПДК. Негативное влияние на р. Ворсклу оказывает Яковлевский рудник по всем представленным компонентам (за исключением нитратов), которое прослеживается на расстояние до 68 км после сброса сточных вод. По фтору это влияние заметно вплоть до пограничного створа в с. Козинка (102 км после сброса) [Корнилов и др., 2010].

В створе пгт. Яковлево (8 км от истока) природный расход воды в среднем составляет 0,23 (0,09±0,43) м³/с. При освоении Яковлевского железорудного месторождения объем откачиваемых из водопонижающих скважин дренажных и рудничных вод, сбрасываемых в реку, колеблется в пределах 0,18–0,23 м³/с. Увеличение природного объема стока у с. Козинка по сравнению с верховьем приводит к снижению концентрации загрязнителей в речной воде. Синхронные ряды наблюдений (1959–1962 гг.) для створа пгт. Яковлево (56 км²) и у с. Козинка (1870 км²) показывают, что на этом протяжении течения Ворсклы среднегодовые расходы воды увеличиваются на порядок (в 10,5 раз). Как отмечалось выше среднегодовые расходы воды за период 1978–2022 гг. увеличились по сравнению с предыдущими пятью десятилетиями на 10 %. Увеличение водности отражается и при анализе характерных уровней воды в р. Ворскле за многолетний период. Так, амплитуда колебания уровня за многолетний период у поста в пгт. Яковлево составляет 155 см, у с. Новоборисовка – 218 см, а у с. Козинка – 305 см. Результаты экспедиции 2001 года показали, что на пограничном участке максимальные превышения ПДК для водотоков рыбохозяйственного назначения были отмечены для Cr (3,8), Pb (1,9), Mn (17 (от уровня ОДК)), а также по нефтепродуктам, фосфатам, нитритам (в 1,5–2,1 раз), а средний класс по гидробиологическим показателям (по четырем индексам), был определен как III (умеренно загрязненная вода) [Васенко и др., 2003].

По результатам более ранних исследований [Kolmykov et al., 2014] был сделан вывод о том, что в целом река Ворскла справляется с нагрузкой, которую оказывает Яковлевский рудник: концентрация загрязняющих веществ не превышает ПДК в р. либо у с. Кустовое (33 км после сброса для брома, хлоридов, бора), либо у с. Хотмыжск (68 км после сброса для фторидов, ионов натрия). Однако очевидно, что гидроэкологическая ситуация в р. Ворскле в значительной мере напряженная, причем, АО «Яковлевский ГОК» вносит существенный вклад в загрязнение водной среды по таким приоритетным загрязняющим веществам, как хлориды, сульфаты, фториды (их влияние прослеживается вплоть до пограничного створа в с. Козинка) и предположительно соединения бора и брома. По данным на 2021 год в черте с. Козинка сохраняется III «б» класс качества речной воды, а сверхнормативное загрязнение определяется такими поллютантами, как органические соединения, сульфаты и медь.

Химический состав донных отложений из русла Ворсклы.

Довольно активно применяемая практика дноуглубительных работ с формированием канализованного русла сопровождается широким спектром экологических издержек. Даже при ответственном отношении к прибрежной древесно-кустарниковой растительности реконструкция русла малых рек гидромеханическим способом с применением землесосных снарядов часто приводит к негативной трансформации водного режима [Лебедева и др. 2013]. Работа земснаряда может катализировать процессы миграции экотоксикантов в системе «ил–вода». По данным 2001 года было установлено, что у государственной границы максимальное содержание радионуклидов (Бк/л) в воде реки (по Cs-137 и Sr-90) было <0,01, а в донных отложениях – 17,0 (по Cs-137) [Васенко и др., 2003]. Особую опасность для Ворсклы представляет миграция в речную воду таких загрязнителей, как марганец, железо, кадмий, медь. С 2022 года по программе «Развитие водного и лесного хозяйства Белгородской

области» проводится масштабный объем работ по расчистке водных объектов, включая русла рек общей длиной 95 км [Китов, Нарожняя, 2023]. Особенность этого подхода заключается в изъятии жесткой водной растительности с корневой системой в составе донных отложений мощностью до 0,5 м. Геохимическая оценка донных отложений по 9 створам (с. Стрелецкое, пгт. Томаровка, п. Стригуны, п. Борисовка, с. Хотмыжск, санаторий «Красиво», с. Головчино, с. Замостье, г. Грайворон) показала, что по значениям соотношения средних величин к показателям РГФ >1 можно сформировать следующий ранжированный убывающий ряд превышений: Zn подв. (> 6) > MnO, азот аммонийный, нефтепродукты, фосфат ионы, Mn, нитриты (3,8–2,0) > карбонаты, нитраты (1,6–1,5) > P₂O₅, рН (1,2–1,1). Участок реки в границах Стрелецкой и Томаровской территории (Яковлевский городской округ) характеризуется наибольшим спектром превышений показателей относительно РГФ (15), из которых формируется следующий ранжированный ряд превышений: Zn подв. (17) > MnO (> 6) > карбонаты, азот аммонийный, P₂O₅, нефтепродукты (3,9–2,0) > нитриты, Zn, Ni (1,9–1,5) > Mg, P₂O₅, нитраты, Cu (1,4–1,2). В Грайворонском городском округе по руслу реки от с. Головчино до Грайворона наибольшие превышения РГФ были отмечены по содержанию нефтепродуктов и азота аммонийного (2,9–2,6), а также по нитритам, нитратам, свинцу и рН (1,8–1,2).

Заключение

Современную антропогенную преобразованность территории речного бассейна Ворсклы характеризуют средние доли площадей основных угодий по муниципальным образованиям: агроландшафты – 77 %, застройка – 8 %, лесные земли – 9 %. По результатам анализа разностной интегральной кривой среднегодовых расходов воды в р. Ворскле за 93 года определены два периода различающейся водности: 1930–1977 и 1978–2022 гг. Во второй период среднегодовая величина расходов воды увеличилась по сравнению с предшествующим периодом на 10 %, вариация величин расходов снизилась на 5 %, а величины среднегодовых экстремумов (минимумов и максимумов) стали больше при сохранении в обоих периодах того же размаха величин между экстремумами. Проведенные инициативные исследования дренажных вод в местах водовыпусков водохранилищ АО «Яковлевский ГОК» в реку Ворскла показали необходимость регулярных гидроэкологических мониторинговых исследований по ансамблю специфических загрязнителей. С учетом того, что река Ворскла относится к рыбохозяйственным водоемам, по величинам превышений предельно допустимых концентраций для рыбохозяйственного водопользования определены приоритетные для гидроэкологического мониторинга загрязняющие вещества, связанные с техногенным влиянием: железо общее, фториды, никель, хлориды, бром, бор. Геохимическая оценка верхнего, наиболее активного слоя донных отложений от истока реки до г. Грайворона показала, что по количеству превышений содержания мониторинговых показателей над уровнями регионального геохимического фона наиболее напряженная экологическая ситуация отмечается для участка в пределах Яковлевского городского округа. Возможностям Ворсклы к самоочищению способствует увеличение водности в среднем и нижнем течении российского участка реки и климатическая обусловленность увеличения экологического стока в последние четыре десятилетия.

Список источников

Борисовский район: природа, население, хозяйство, экология. 2002. Под ред. Г.И. Бондарева. Белгород–Борисовка, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», 114 с.



- Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики. 1967. Т. 6. Украина и Молдавия, вып. 2, Среднее и Нижнее Поднепровье. Л., Гидрометеиздат, 222–223.
- Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. 1971. Т. 6. Украина и Молдавия, вып. 2, Среднее и Нижнее Поднепровье. Л., Гидрометеиздат, 656 с.
- Речные бассейны Европейской части России. Электронный ресурс. URL: <http://bassepr.kpfu.ru/> (дата обращения: 26.05.2021).

Список литературы

- Бударина В.А., Косинова И.И., Лепендин Д.Г. 2022. Эколого-гидрогеохимические особенности подземных вод геотектонических зон Липецкого горнодобывающего района. Региональные геосистемы, 46(2): 284–297. <http://dx.doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297>.
- Васенко А.Г., Колобаев А.Н., Анучкин В.П. 2003. Основные результаты международных экспедиционных исследований качества вод в бассейне Днестра. Харьков, Веста: Издательство «Ранок», 112 с.
- Веденева Е.А. 2018. Моделирование водного стока рек в различных ландшафтных условиях равнинной части европейской территории России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42(4): 540–549. <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549>.
- Дегтярь А.В. 2005. Гидролого-экологический анализ деградационных процессов в речных бассейнах малых рек юго-запада Центрально-Черноземного региона. Дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 247 с.
- Демидов В.В., Окулик Е.В. 2007. Миграция химических веществ с поверхностным стоком талых вод. Агрехимия, 1: 62–67.
- Ермолаев О.П., Мухарамова С.С., Мальцев К.А., Иванов М.А., Гафуров А.М., Савельев А.А., Шынбергенов Е.А., Ермолаева П.О., Бодрова А.О., Янцитов Р.О. 2023. География и геоэкология России в мозаике речных бассейнов. География и природные ресурсы, 44(3): 25–33. <http://dx.doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Китов М.В., Нарожная А.Г. 2023. Экологическое восстановление водных объектов на территории Белгородской области. В кн.: Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Материалы X Международной научной конференции, Белгород, 24–27 октября 2023. Белгород, ИД «БелГУ»: 69–71.
- Концепция и программа комплексного использования природных ресурсов «ЭКО ВОРСКЛА-2005». 1997. Белгород-Борисовка, Крестьянское Дело, 74 с.
- Корнилов А.Г., Колмыков С.Н., Кичигин Е.В., Гордеев Л.Ю. 2010. Сравнительная характеристика воздействия горнодобывающих предприятий КМА на экологическую ситуацию рек Белгородской области. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 6: 134–139.
- Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. 2012. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата. Современные проблемы науки и образования, 6: 619.
- Лебедева М.Г., Петина М.А., Гончаревич Е.В., Колмыкова О.Н., Новикова Ю.И., Вагурин И.Ю. 2013. Влияние дноуглубительных работ на водный режим малых рек (на примере реки Болховец). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 7(160): 168–172.
- Лебедева М.Г., Петина М.А., Новикова Ю.И. 2013. Гидроэкологические характеристики трансграничных рек Белгородской области. Проблемы региональной экологии, 4: 64–68.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Буряк Ж.А., Павлюк Я.В., Нарожная А.Г., Землякова А.В., Маринина О.А. 2015. Реки и водные объекты Белогорья. Белгород, Константа, 362 с.
- Лисецкий Ф.Н., Дегтярь А.В., Голусов П.В. 1999. Геоэкологический подход к почвоводоохранному обустройству бассейна реки Ворсклы. В кн.: Четырнадцатое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Материалы и краткие сообщения, Уфа, 14–16 сентября 1999 г. Уфа, Башкирский государственный университет: 153–154.

- Лисецкий Ф.Н., Панин А.Г. 2013. Бассейновая концепция природопользования на сельских территориях Белгородской области. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1: 48–51.
- Мозжерин В.И., Ермолаев О.П., Мозжерин В.В. 2012. Река Казанка и ее бассейн. Казань, ИД МедДоК, 280 с.
- Орехова Г.А., Новых Л.Л. 2017. Природное разнообразие родников верховий бассейнов рек Северский Донец и Ворскла. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 18(267): 131–139.
- Петелько А.И., Панов В.И. 2019. Влияние основных природных факторов на формирование поверхностного стока талых вод в лесомелиорированных агроландшафтах в лесостепной и степной зонах европейской части России. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43(1): 16–29. <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29>.
- Петина М.А., Петина В.И., Новикова Ю.И. 2014. Гидроэкологическое состояние реки Ворскла в пределах Белгородской области. Современные проблемы науки и образования, 6: 1667.
- Позаченюк Е.А., Власова А.Н. 2022. Ландшафтная организация бассейна реки Салгир. Симферополь, Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 278 с.
- Полулях Н.Н., Попытченко Л.М., Пластунов Д.А., Белолипский В.А. 2022. Противоэрозионная эффективность организации агроландшафтов Луганщины на бассейновой основе. Научный вестник Луганского государственного аграрного университета, 4(17): 43–54.
- Решетникова Л.К., Лебедева М.Г., Петина М.А., Стаценко Г.А. 2010. Оценка величины испарения с водной поверхности на юге Центрально-Черноземного региона. Проблемы региональной экологии, 5: 60–64.
- Трифоновна Т.А. 2005. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях. Почвоведение, 9: 32–39.
- Чепелев О.А., Пичура В.И., Павлюк Я.В., Самофалова О.М., Терехин Э.А. 2014. Оценка влияния добычи железных руд на водность рек Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 17(188): 160–164.
- Dos Reis D.A., Fongaro G., da Silva Lanna M.C., Dias L.C.P., Santiago A.D.F. 2019. The Relationship Between Human Adenovirus and Metals and Semimetals in the Waters of the Rio Doce, Brazil. Archives of environmental contamination and toxicology, 77, 144–153. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00625-w>.
- Kolmykov S.N., Kornilov I.A., Kornilov A.G. 2014. Hydrochemical Situation of the Vorskla River in the Vicinity of the Mine Yakovlevsky. Scientific Reports on Resource Issues, 1: 28–33.
- Lisetskii F. 2022. Water Resources of Rivers and Erosion-Accumulation Processes. Bioscience Biotechnology Research Communications, 15(4): 480–482. <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/15.4.1>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A. 2023. Runoff of Water and Its Quality Under the Combined Impact of Agricultural Activities and Urban Development in a Small River Basin. Water, 15(13): 2443. <https://doi.org/10.3390/w15132443>
- Zheltukhina V., Kulikova M., Melentiev A., Kolesnichenko E. 2023. Project of Basin Nature Management of the Vorskla River within the Boundaries of Prokhorovsky District. In: E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Tajikistan, Uzbekistan, Russia, 19–21 April 2023. Tajikistan, Uzbekistan, Russia, Publ. EDP Sciences, Vol. 392: 02020. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202339202020>.
- Rodrigues A.S.D.L., Malafaia G., Costa A.T., Nalini Júnior H.A. 2014. Iron Ore Mining Promotes Iron Enrichment in Sediments of the Gualaxo do Norte River Basin, Minas Gerais State, Brazil. Environmental earth sciences, 71, 4177–4186. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2808-y>
- Samarina V.P., Skufina T.P., Kostyukhin Y.Y., Savon D.Y. 2020. Relationship Between Iron Ore Deposits and Spread of Heavy Metals in Shallow Water Rivers: Natural and Man-Caused Factors. CIS Iron and Steel Review, 19, 75–80.
- Yermolaev O., Mukharamova S., Vedeneeva E. 2021. River Runoff Modeling in the European Territory of Russia. Catena, 203: 105327.



Yudina Y.V., Narozhnyaya A.G., Bunyaeva A.G., Pavlyuk Y.V. 2017. Ensuring a Rational Nature Management in the Transition of Land Use Onto the Basin Principles and Organization of Large Nature Protection Areas. *International Journal of Green Pharmacy*, 11(3): S543–S548.

References

- Budarina V.A., Kosinova I.I., Lependin D.G. 2022. Ecological and Hydrogeochemical Features of Groundwater of Geotectonic Zones of the Lipetsk Mining Region. *Regional Geosystems*, 46(2): 284–297 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-284-297>.
- Vasenko A.G., Kolobaev A.N., Anuchkin V.P. 2003. *Osnovnye rezul'taty mezhdunarodnykh ekspeditsionnykh issledovaniy kachestva vod v bassejne Dnepra [Main Results of International Expeditionary Studies of Water Quality in the Dnieper Basin]*. Kharkov, Vesta: Ranok Publishing House, 112 p.
- Vedeneeva E.A. 2018. Modeling of River Run-off in the Different Landscape Conditions on Plain Part of the European Part of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 42(4): 540–549 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2018-42-4-540-549>.
- Degtyar A.V. 2005. *Gidrologo-ekologicheskiiy analiz degradatsionnykh protsessov v rechnykh basseynakh malykh rek yugo-zapada Tsentralno-Chernozemnogo regiona [Hydrological-Ecological Analysis of Degradation Processes in the River Basins of Small Rivers in the Southwest of the Central Black Earth Region]*. Dis. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 247 p.
- Demidov V.V., Okulik E.V. 2007. Migration of Chemical Compounds with the Surface Melt-Water Runoff. *Agrochemistry*, 1: 62–67 (in Russian).
- Ermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A., Ivanov M.A., Gafurov A.M., Saveliev A.A., Shynbergenov E.A., Ermolaeva P.O., Bodrova A.O., Yantsitov R.O. 2023. Geography and Geoecology of Russia in the Mosaic of River Basins. *Geography and Natural Resources*, 44(3): 25–33 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.15372/GIPR20230303>.
- Kitov M.V., Narozhnaya A.G. 2023. *Ekologicheskoe vosstanovlenie vodnyh ob'ektov na territorii Belgorodskoy oblasti [Ecological Restoration of Water Bodies in the Belgorod region]*. In: *Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i sopredelnykh stranakh [Problems of Environmental Management and the Environmental Situation in European Russia and Neighboring Countries]*. Materials of the X International Scientific Conference, Belgorod, 24–27 October 2023. Belgorod, Publ. "BelSU": 69–71.
- Koncepciya i programma kompleksnogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov "EKO VORSKLA-2005" [Concept and Program for the Integrated Use of Natural Resources "ECO VORSKLA-2005"]. 1997. Belgorod-Borisovka, Publ. Peasant Business, 74 p.
- Kornilov A.G., Kolmykov S.N., Kichigin E.V., Gordeev L.Yu. 2010. *Sravnitel'naya harakteristika vozdeystviya gornodobyvayushchih predpriyatij KMA na ekologicheskuyu situatsiyu rek Belgorodskoy oblasti [Comparative Characteristics of the Impact of KMA Mining Enterprises on the Environmental Situation of Rivers in the Belgorod Region]*. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 6: 134–139.
- Kuzmenko Ya.V., Lisetskii F.N., Pichura V.I. 2012. Evaluation and Prediction of Small Rivers Flow in Anthropogenic Impacts and Climate Change. *Modern problems of science and education*, 6: 619 (in Russian).
- Lebedeva M.G., Petina M.A., Goncharevich E.V., Kolmykova O.N., Novikova Yu.I., Vagurin I.Yu. 2013. Impact of Dredging on the Water Regime of Small Rivers (on the Example of the River Bolhovets). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 7(160): 168–172 (in Russian).
- Lebedeva M.G., Petina M.A., Novikova Yu.I. 2013. The Hydro-Ecological Characteristics of the Transboundary Rivers of the Belgorod Region. *Problems of regional ecology*, 4: 64–68 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. *Reki i vodnye ob'ekty Belogor'ya [Rivers and Water Bodies of Belogorye]*. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Goleusov P.V. 1999. *Geoekologicheskij podhod k pochvovodoohrannomu obustrojstvu bassejna reki Vorskly [Geoecological Approach to Soil and Water Conservation Management of the Vorskla River basin]*. In: *Chetyrnadtsatoye plenarnoye mezhvuzovskoye koordinatsionnoye soveshchaniye po probleme erozionnykh. ruslovykh i ustyevykh protsessov*

- [Fourteenth Plenary Interuniversity Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuarine Processes]. Materials and brief communications, Ufa, 14–16 September 1999. Ufa, Publ. Bashkir State University: 153–154.
- Lisetskii F.N., Panin A.G. 2013. Basin Conception of Nature Use in Rurl Areas of Belgorod Oblast. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 1: 48–51 (in Russian).
- Mozzherin V.I., Ermolaev O.P., Mozzherin V.V. 2012. Reka Kazanka i ee bassejn [The Kazanka River and Its Basin]. Kazan, Publ. MeDDoK, 280 p.
- Orekhova G.A., Novykh L.L. 2017. Natural Diversity of the Springs in the Upper Basins of the Seversky Donets and Vorskla Rivers. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 18(267): 131–139 (in Russian).
- Petelko A.I., Panov V.I. 2019. The Influence of the Main Natural Factors on the Formation of Surface Flow of Melt Water in Forest-Reclaimed Agricultural Landscapes in the Forest-Steppe and Steppe Zones of the European Part of Russia. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43(1): 16–29 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.18413/2075-4671-2019-43-1-16-29>.
- Petina M.A., Petina V.I., Novikova Yu.I. 2014. Hydroecological Condition of the Vorskla River in the Belgorod Region. *Modern problems of science and education*, 6: 1667 (in Russian).
- Pozachenyuk E.A., Vlasova A.N. 2022. Landshaftnaya organizaciya bassejna reki Salgir [Landscape Organization of the Salgir River Basin]. Simferopol, Publ. Limited Liability Company "Publishing House Printing House "Arial", 278 p.
- Polulyakh N.N., Popytchenko L.M., Plastunov D.A., Belolipsky V.A. 2022. Anti-Erosion Efficiency of Organizing Agricultural Landscapes in the Luhansk Region on a Basin Basis. *Scientific Bulletin of Lugansk State Agrarian University*, 4(17): 43–54 (in Russian).
- Reshetnikova L.K., Lebedeva M.G., Petina M.A., Statsenko G.A. 2010. Assessment of Size of Evaporation from Water Surface in the South of Central Black Earth Region. *Regional environmental problems*, 5: 60–64 (in Russian).
- Trifonova T.A. 2005. Development of a Basin Approach in Pedological and Ecological Studies. *Eurasian Soil Science*, 38(9): 931–937.
- Chepelev O.A., Pichura V.I., Pavlyuk Y.V., Samofalova O.M., Terekhin E.A. 2014. Assessment of Mining Iron Ore on the Water Availability in Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 17(188): 160–164 (in Russian).
- Dos Reis D.A., Fongaro G., da Silva Lanna M.C., Dias L.C.P., Santiago A.D.F. 2019. The Relationship Between Human Adenovirus and Metals and Semimetals in the Waters of the Rio Doce, Brazil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 77, 144–153. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00625-w>.
- Kolmykov S.N., Kornilov I.A., Kornilov A.G. 2014. Hydrochemical Situation of the Vorskla River in the Vicinity of the Mine Yakovlevsky. *Scientific Reports on Resource Issues*, 1: 28–33.
- Lisetskii F. 2022. Water Resources of Rivers and Erosion-Accumulation Processes. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 15(4): 480–482. <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/15.4.1>
- Lisetskii F.N., Buryak Z.A. 2023. Runoff of Water and Its Quality Under the Combined Impact of Agricultural Activities and Urban Development in a Small River Basin. *Water*, 15(13): 2443. <https://doi.org/10.3390/w15132443>.
- Zheltukhina V., Kulikova M., Melentiev A., Kolesnichenko E. 2023. Project of Basin Nature Management of the Vorskla River within the Boundaries of Prokhorovsky District. In: E3S Web of Conferences. II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023), Tajikistan, Uzbekistan, Russia, 19–21 April 2023. Tajikistan, Uzbekistan, Russia, Publ. EDP Sciences, Vol. 392: 02020. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202339202020>.
- Rodrigues A.S.D.L., Malafaia G., Costa A.T., Nalini Júnior H.A. 2014. Iron Ore Mining Promotes Iron Enrichment in Sediments of the Gualaxo do Norte River Basin, Minas Gerais State, Brazil. *Environmental earth sciences*, 71, 4177–4186. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2808-y>
- Samarina V.P., Skufina T.P., Kostyukhin Y.Y., Savon D.Y. 2020. Relationship Between Iron Ore Deposits and Spread of Heavy Metals in Shallow Water Rivers: Natural and Man-Caused Factors. *CIS Iron and Steel Review*, 19, 75–80.
- Yermolaev O., Mukharamova S., Vedeneeva E. 2021. River Runoff Modeling in the European Territory of Russia. *Catena*, 203: 105327.



Yudina Y.V., Narozhnyaya A.G., Bunyaeva A.G., Pavlyuk Y.V. 2017. Ensuring a Rational Nature Management in the Transition of Land Use Onto the Basin Principles and Organization of Large Nature Protection Areas. *International Journal of Green Pharmacy*, 11(3): S543–S548.

*Поступила в редакцию 14.10.2023;
поступила после рецензирования 25.11.2023;
принята к публикации 01.12.2023*

*Received October 14, 2023;
Revised November 25, 2023;
Accepted December 01, 2023*

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 AUTHORS

Корнилова Евгения Андреевна, старший преподаватель кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya A. Kornilova, Senior Lecturer of the Department of Geography, Geo-ecology and Life Safety, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Лисецкий Федор Николаевич, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Fedor N. Lisetskii, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Родионова Мария Евгеньевна, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Mariya E. Rodionova, Assistant Professor of the Department of Nature Management and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 551.5
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-569-579

Динамика основных метеопоказателей на территории Северо-Казахстанской области за 1966–2020 гг.

Седельников И.А., Смагулова Е.Н.

Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
Казахстан, 150000 г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86
E-mail: igor_sko_kz_94@mail.ru, skmeteo2014@gmail.com

Аннотация. На основе статистического блока данных метеостанций о температуре и осадках за период с 1966 по 2020 г. анализируются климатические изменения на территории Северо-Казахстанской области. Рассматривается многолетняя изменчивость годовой температуры воздуха, количества выпавших осадков за холодный (ноябрь – март) и теплый (апрель – октябрь) периоды как за весь временной интервал, так и за базовый и постбазовый периоды, установленные Всемирной метеорологической организацией. Проведен анализ внутригодовых изменений метеорологических параметров, определены средние значения (климатические нормы), стандартное отклонение, максимальные и минимальные значения. За исследуемый период прослеживается увеличение среднегодовых температур и разнонаправленная динамика по осадкам – формируется все более усиливающаяся контрастность между западной и восточной частями региона. Определено, что наибольшим изменениям метеорологических величин подвергся холодный период: все чаще зимы имеют положительные отклонения от нормы как в термическом режиме, так и в количестве атмосферных осадков.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, изменение климата, климатическая норма, Казахстан, тренд

Для цитирования: Седельников И.А. Смагулова Е.Н. 2023. Динамика основных метеопоказателей на территории Северо-Казахстанской области за 1966–2020 гг. Региональные геосистемы, 47(4): 569–579. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-569-579

Dynamics of Main Weather Indicators in the North Kazakhstan Region for 1966–2020

Igor A. Sedelnikov, Ekaterina N. Smagulova

M. Kozybayev North Kazakhstan University
86 Pushkin St, Petropavlovsk, 150000, Kazakhstan
E-mail: igor_sko_kz_94@mail.ru, skmeteo2014@gmail.com

Abstract. Climatic changes on the territory of the North Kazakhstan region are analysed based on the statistical data block of weather stations on the temperature and precipitation for the period from 1966 to 2020. The long-term variability of the annual air temperature, the amount of precipitation for cold (November–March) and warm (April–October) periods are considered both for the entire time interval, and for the base and post-base periods established by the World Meteorological Organization. The analysis of intra-annual changes in meteorological parameters was carried out, average values (climatic norms), standard deviation, maximum and minimum values were determined. During the study period, the increase of average annual temperatures and multidirectional dynamics in precipitation are observed – an increasing contrast between the western and eastern parts of the region is formed. It is determined that the cold period underwent the greatest changes in meteorological values: increasingly, more winters have positive deviations from the norm, both in the thermal regime and in the amount of precipitation.

Key words: air temperature, precipitation, climate change, climatic norm, Kazakhstan, trend



For citation: Sedelnikov I.A. Smagulova E.N. 2023. Dynamics of Main Weather Indicators in the North Kazakhstan Region for 1966–2020. Regional Geosystems, 47(4): 569–579. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-569-579

Введение

Глобальные изменения климата – одна из основных современных проблем, беспокоящих научное сообщество и общество в целом. В последние десятилетия экологические и климатические исследования достигли значительных успехов в понимании многомерных аспектов этой проблемы. Межгосударственная группа экспертов по изменению климата в своем последнем докладе представила убедительные доказательства того, что наша планета сталкивается с серьезными изменениями, вызванными деятельностью человека [МГЭИК, 2021].

В настоящее время опубликовано множество работ, в которых изложены существующие последствия и предложены модельные эксперименты, демонстрирующие усиление засухи, увеличение региональной температуры, изменения в количестве выпавших осадков. Наблюдаемое в течение нескольких последних лет потепление связано с изменениями в крупномасштабном гидрологическом цикле, такими как увеличение содержания водяного пара в атмосфере; изменение режима, интенсивности и экстремальных величин осадков; уменьшение снежного покрова и широкомасштабное таяние льда; изменения в почвенной влаге и стоке [Бэйтс и др., 2008]. Данные процессы объясняются, прежде всего, изменением формы циркуляции атмосферы с субширотной до 1980-х гг., на субмеридиональную в последние десятилетия [МГЭИК, 2021]. Другой причиной называют глобальное потепление в северном полушарии. Резкое изменение температурно-влажностного режима оказывает влияние на многие отрасли экономики, а также влияет на жизнь и деятельность человека в целом.

Несмотря на имеющийся ряд публикаций прикладного характера по динамике агроклиматического потенциала – для более детального изучения и актуализации температурных характеристик и условий увлажнения, от сочетания которых зависит выбор культур и пути развития земледелия в целом [Пашков, Присич, 2020; Пашков, 2021], и медико-климатических условий [Пашков, Мажитова, 2016; Мажитова, Пашков, 2017] территории, фиксируется пробел в актуализированных данных об основных метеорологических показателях и климатических изменениях на территории СКО.

Целью настоящего исследования является анализ изменений основных метеопоказателей на территории Северо-Казахстанской области (СКО) Республики Казахстан с начала постоянных метеонаблюдений до 2020 года.

Объекты и методы исследования

Теоретической и методологической основой исследования послужили многочисленные публикации отечественных, российских и зарубежных авторов, посвященные вопросам изменения климата [Климат Казахстана, 1959; Долгих и др., 2006; Бэйтс и др., 2008; Шерстюков, 2008; Сальников и др., 2014; Perevedentsev et al., 2018; Чередниченко и др., 2019] и обусловленные им региональные климатические процессы и явления [Дубовик, 2009; Ондон, 2016; Горный и др., 2021; Сычев, Налиухин, 2021; Зарубин, 2022; Онуфриева, Коршунов, 2022; Петухова, Кондратьев, 2023].

Основой исследования являлся анализ данных многолетних метеорологических наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками на метеостанциях сети филиала Республиканского государственного предприятия «Казгидромет» по Северо-Казахстанской области [Фондовые материалы..., 1966–2020]. Использована

метеорологическая информация восьми репрезентативных метеостанций (Петропавловск, Явленка, Саумалколь, Сергеевка, Рузаевка, Булаево, Тайынша, Кишкенеколь). Для анализа выбран период, имеющий непрерывный ряд наблюдений с 1966 по 2020 г. Также выбор периода связан с изменением системы наблюдений за атмосферными осадками с 1966 года. Помимо этого, ряды наблюдений дополнены материалами из научно-прикладных справочников [Агроклиматические ресурсы ..., 2017]. Кроме основного периода, рассматривалось сравнение изменений метеопараметров за базовый (1966–1990 гг.) и постбазовый (1991–2020 гг.) периоды, установленные Всемирной метеорологической организацией. Базовый период используется для оценок изменений климата в долгосрочной перспективе, постбазовый – для определения сдвигов климатических параметров.

Анализ региональных изменений климата проводился с применением традиционных в климатологии методов тренд-анализа и корреляционного анализа [Адаменко и др., 1982]. Для оценки скорости изменения метеорологических параметров использовался угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ), позволяющий определить направление и величину изменения изучаемых величин. Коэффициент наклона линии тренда (a) характеризует скорость изменения метеопараметра. Положительное значение коэффициента (a) указывает на рост, а отрицательное – на уменьшение. Коэффициент детерминации (R^2) применялся для количественной оценки вклада линейных трендов в общую изменчивость анализируемых показателей [Аргучинцева, 2007]. Кроме этого, использован картографический метод для визуализации выявленных изменений на территории СКО. Достоверность полученных результатов проверялась с использованием критериев Фишера.

Исследуемая территория расположена между 52° и 55° с.ш. в зоне сочленения Западно-Сибирской равнины и Казахского мелкосопочника (Сарыарка). Территория представляет собой однообразную плоскую лесостепную и степную равнину, слабо наклоненную в северо-восточном направлении. Абсолютные отметки равнины на западе и юге, вблизи предгорной части Урала, Тургайского плато и области Казахского мелкосопочника, колеблются от 150 до 750 м, а на крайнем северо-востоке снижаются до 100 м. Площадь исследуемого региона составляет 98,0 тыс. кв. км.

Результаты и их обсуждение

Температурный режим. Распределение температуры воздуха на изучаемой территории в целом носит зональный характер и меняется с севера на юг. Резкие колебания температур наблюдаются на всей территории не только по сезонам года, но и в течение суток. Наиболее холодными месяцами являются январь ($-17,3^\circ\text{C}$) и февраль ($-15,7^\circ\text{C}$), жарким – июль ($+20,3^\circ\text{C}$). Средняя годовая температура в пределах СКО меняется от $+2,0$ до $+3,2^\circ\text{C}$.

В ходе анализа обнаружено, что на выбранных для анализа метеостанциях эпизодически наблюдались отрицательные значения среднегодовых температур, однако с 1972 года такие случаи перестали регистрироваться. За рассматриваемый период наблюдается заметная тенденция роста среднегодовых температур (рис. 1).

Проведенный анализ изменений температуры воздуха показывает, что на рассматриваемой территории наблюдается устойчивая тенденция к ее росту. Рост средней годовой температуры отчетливо проявляется на всех метеостанциях в регионе. Эти результаты указывают на долгосрочные изменения климатических условий.

Согласно данным в представленной табл. 1, рост температуры за период 1966–2020 г. на территории СКО составляет от 0,31 до 0,42 $^\circ\text{C}/10$ лет. Наибольшая скорость роста выявлена на метеостанциях Петропавловск и Сергеевка, наименьшая – на метеостанции Саумалколь.

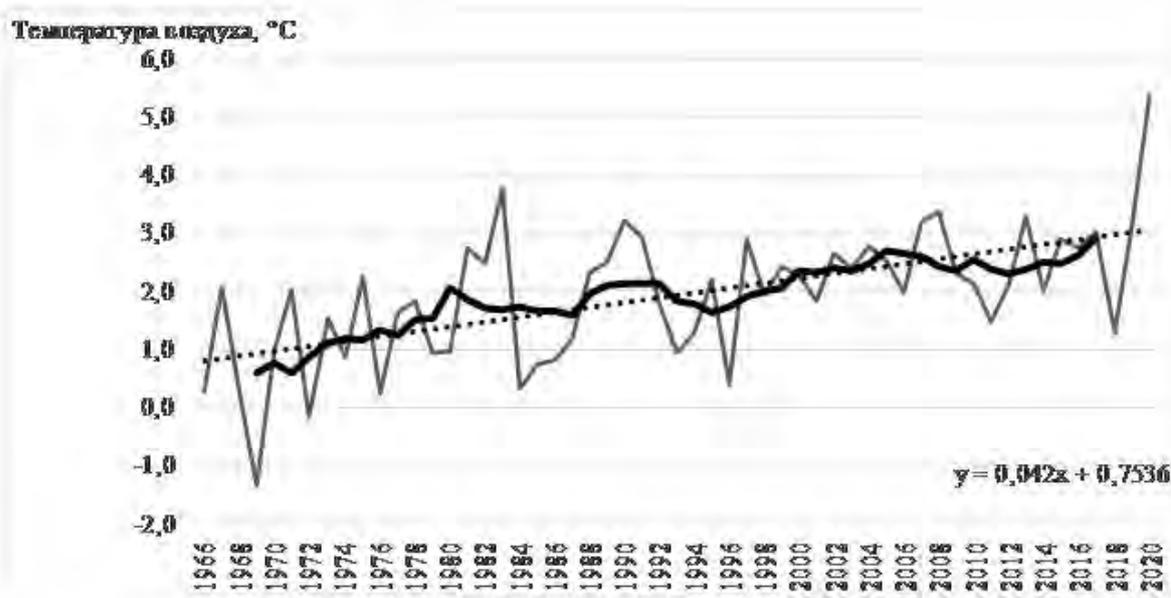


Рис. 1. Многолетний ход средней годовой температуры воздуха за 1966–2020 гг.
 на метеостанции Петропавловск
 Fig.1. Long-term variation of average annual air temperature for 1966–2020
 at the Petropavlovsk weather station

Таблица 1
 Table 1

Уравнения линейного тренда среднегодовой температуры воздуха
 для репрезентативных метеостанций СКО
 Equations for the linear trend of average annual air temperature for representative
 weather stations of the North Kazakhstan region

| Метеостанции | Уравнения линейного тренда | Коэффициент наклона линии тренда, °С/10 лет |
|---------------|-------------------------------|--|
| Петропавловск | $y = 0,042x + 0,7536$ | 0,42 |
| Явленка | $y = 0,0371x + 1,2684$ | 0,37 |
| Саумалколь | $y = 0,0308x + 1,572$ | 0,31 |
| Сергеевка | $y = 0,0421x + 1,1878$ | 0,42 |
| Рузаевка | $y = 0,0322x + 1,5467$ | 0,32 |
| Булаево | $y = 0,0318x + 1,143$ | 0,32 |

Эти результаты подтверждают предположение о стабильной и долгосрочной тенденции к повышению температур в СКО и коррелируют с ранее опубликованными работами [Долгих и др., 2006; Переведенцев и др., 2013; Переведенцев, 2019; Горный и др., 2021].

При рассмотрении максимальных средних годовых температур воздуха выявлено, что их максимум колебался в диапазоне от +4,4 °С (Явленка, Саумалколь) до +5,4 °С (Петропавловск). Для всех станций максимальная величина была отмечена в 2020 году, исключением стала только метеостанция Явленка, где данный показатель достиг своего максимума в 1983 году. Проявление максимальных значений температур в последние десятилетия также указывает на их заметный рост в регионе.

Минимумы средней годовой температуры воздуха характеризуются небольшими значениями и их разброс составляет от –1,4 °С (Петропавловск) до –0,7 °С (Саумалколь и Рузаевка). В большинстве случаев они были зафиксированы в 1969 году. В целом, минимальные средние годовые температуры наблюдались до 1980-х гг. (табл. 2).

Таблица 2
Table 2Абсолютные максимальные и минимальные среднегодовые температуры воздуха, °С
Absolute maximum and minimum average annual air temperatures, °С

| Метеостанции | Максимум | Минимум |
|---------------|-------------|-------------|
| Петропавловск | +5,4 (2020) | –1,4 (1969) |
| Явленка | +4,4 (1983) | –0,8 (1969) |
| Саумалколь | +4,4 (2020) | –0,7 (1969) |
| Рузаевка | +4,6 (2020) | –0,7 (1969) |
| Сергеевка | +5,0 (2020) | –1,1 (1969) |
| Булаево | +4,9 (2020) | –0,8 (1966) |

Средние многолетние значения среднегодовой температуры на всей территории СКО положительные (табл. 3): от +1,9 до +2,4 °С.

Таблица 3
Table 3Средняя многолетняя норма годовых значений температуры воздуха
по исследуемым метеостанциям
Average long-term norm of annual air temperature values at the studied weather stations

| Метеостанции | Петропавловск | Явленка | Саумалколь | Сергеевка | Рузаевка |
|---------------------|---------------|---------|------------|-----------|----------|
| Периоды | | | | | |
| Норма 1966–2020 гг. | +1,9 | +2,3 | +2,4 | +2,3 | +2,4 |
| Норма 1966–1990 гг. | +1,4 | +1,8 | +2,0 | +1,7 | +2,0 |
| Норма 1991–2020 гг. | +2,4 | +2,7 | +2,8 | +2,7 | +2,8 |

По данным табл. 3 видно, что средние годовые температуры на всех метеостанциях в период 1991–2020 гг. значительно выше, чем в период 1966–1990 гг.

Для визуализации изменений норм среднегодовых температур составлена карта (рис. 2), которая позволяет наглядно оценить территориальные изменения в термическом режиме в пределах СКО. Количество наблюдательных пунктов для создания такого рода карты было ограничено, поэтому использовался метод интерполяции. Использование данного метода позволяет заполнить пространственные пробелы в данных и дает возможность создать плавную и непрерывную карту климатических параметров на основе имеющихся наблюдений.

В северной части области наблюдается наименьшее изменение температур – температура выше многолетней нормы базового периода всего на 0,7 °С (Петропавловск, Булаево). Более значительные климатические изменения в среднегодовой температуре произошли в восточной части СКО, где показатель повысился на 1,7 °С (Кишкенеколь).

Режим атмосферных осадков. Осадки, как и другие характеристики климата, испытывают большие изменения во времени и пространстве. Количество выпадающих на ту или иную часть материка осадков в первую очередь зависит от преобладания циклональной или антициклональной циркуляции атмосферы над данной территорией. Это особенно справедливо для равнинных условий рельефа, преобладание которых наблюдается в пределах границ СКО. Глубокое внутриматериковое положение, малая повторяемость циклонов и отсутствие горных преград являются причинами малой увлажненности территории. Годовая сумма осадков в более увлажненных северо-западных районах немногим превышает 400 мм в год.

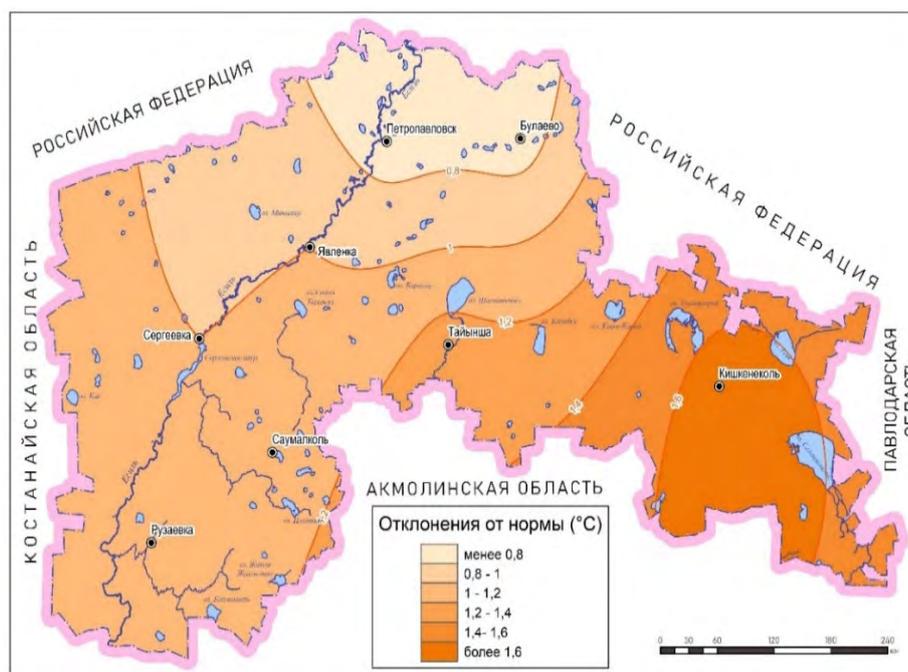


Рис. 2. Отклонения норм среднегодовых температур постбазового периода (1991–2020 гг.) от норм базового периода (1966–1990 гг.)

Fig. 2. Deviations of the norms of average annual temperatures of the post-base period (1991–2020) from the norms of the base period (1966–1990)

Для анализа режима атмосферных осадков на территории СКО рассчитаны многолетняя норма (1966–2020 гг.), а также нормы осадков в теплый и холодный периоды за 1966–1990 гг. и 1991–2020 гг., выявлены максимальные и минимальные значения величины для разных периодов (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Максимальное и минимальное количество осадков на территории СКО, мм
Maximum and minimum precipitation on the territory of the North Kazakhstan region, mm

| Метеостанции | Теплый период | | Холодный период | | Год | |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | R _{min} | R _{max} | R _{min} | R _{max} | R _{min} | R _{max} |
| Явленка | 69,8 | 438,4 | 13,3 | 153,4 | 83,1 | 511,3 |
| Петропаловск | 142,9 | 440,5 | 50,5 | 186,5 | 255,1 | 593,8 |
| Саумалколь | 114,2 | 509,5 | 35,1 | 223,7 | 159,3 | 669,2 |
| Рузаевка | 91,6 | 513,8 | 43,0 | 159,1 | 159,3 | 499,4 |
| Сергеевка | 20,2 | 455,9 | 55,5 | 169,0 | 159,3 | 534,4 |
| Булаево | 130,1 | 507,2 | 39,5 | 168,3 | 203,2 | 589,5 |

Аномально высокие значения в распределении осадков проявлялись в 1990, 2001 и 2016 гг. Исключение наблюдалось на метеостанции Петропавловск, где 2016 год не характеризуется избытком увлажнения в холодный период.

Холодный период года с минимальной суммой осадков на изучаемой территории зафиксирован в 1995 году – 13,3 мм, максимальной – в 2016 году (223,7 мм). Среди месячных значений холодного периода максимальное значение 74,2 мм принадлежит декабрю 2016 года, минимальное – 0,4 мм в декабре 1974 года (Саумалколь).

Многолетняя динамика сумм осадков холодного периода имеет устойчивую тенденцию к росту со скоростью от 3,9 до 18,5 мм/10лет. (табл. 5).

Таблица 5
Table 5

Статистические характеристики режима атмосферных осадков (мм)
для репрезентативных метеостанций СКО
Statistical characteristics of atmospheric precipitation regime (mm)
for representative meteorological stations of North Kazakhstan region

| Метеостанции | Осадки холодный период (ХП) | | Осадки теплый период (ТП) | |
|---------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| | Уравнения линейного тренда | КНЛТ мм/ 10 лет | Уравнения линейного тренда | КНЛТ мм/ 10 лет |
| Петропавловск | $y = 0,4737x + 91,654$ | 4,7 | $y = 0,1813x + 267,51$ | 1,8 |
| Явленка | $y = 0,385x + 72,87$ | 3,9 | $y = 0,8067x + 250,65$ | 8,1 |
| Саумалколь | $y = 1,8509x + 63,006$ | 18,5 | $y = 1,0186x + 279,74$ | 10,2 |
| Сергеевка | $y = 0,6537x + 82,131$ | 6,5 | $y = 0,6987x + 254,12$ | 7,0 |
| Рузаевка | $y = 1,0565x + 66,935$ | 10,6 | $y = 0,0241x + 255,86$ | 0,2 |
| Булаево | $y = 0,4365x + 86,512$ | 4,4 | $y = 0,01191x + 283,27$ | 0,1 |

Самым влажным месяцем теплого периода за весь период наблюдений является июль 1994 года, в котором на метеостанции Петропавловск выпало 207,8 мм, что составило 360 % нормы. Самый сухой месяц этого периода май 1980 года, в котором не наблюдалось выпадения осадков на метеостанции Явленка.

Анализ многолетней динамики атмосферных осадков показал, что наибольшие и наименьшие суммы осадков отличаются от среднемноголетних значений в 1,5–2 раза. Помимо этого, четко прослеживается преобладание осадков теплого периода над осадками холодного периода (в 2,5–3 раза).

Разница между нормами 1966–1990 гг. и 1991–2020 гг. также значительна. В теплый период года максимальное увеличение нормы осадков фиксируется на метеостанции Саумалколь (на 53,3 мм). Уменьшение нормы наблюдается на метеостанции Кишкенеколь (на 56,9 мм). Таким образом, разница составила 110,2 мм, что говорит о сильном контрасте в территориальном распределении атмосферного увлажнения между западной и восточной частями области. Это связано с тем, что нахождение последней приходится на подветренную сторону в положении дождевой тени [Пашков, 2021] (рис. 3).

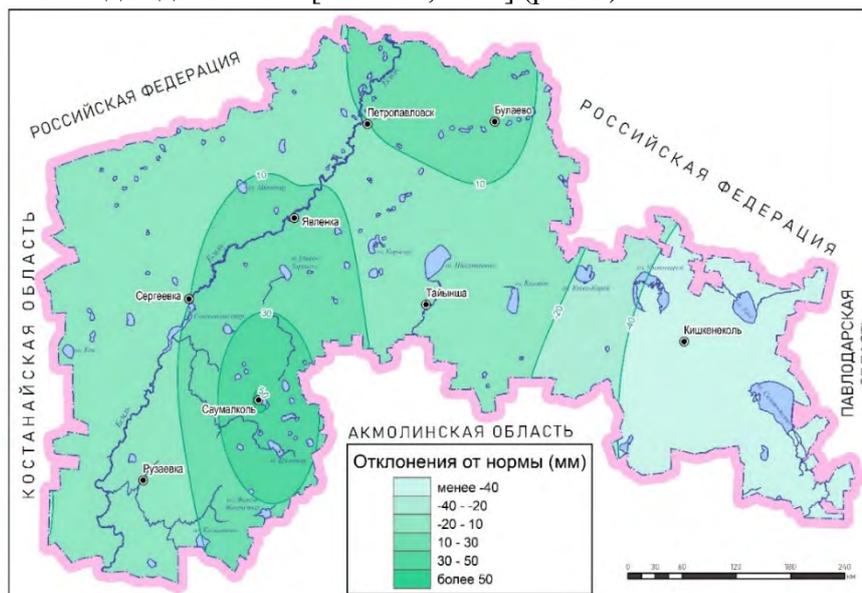


Рис. 3. Отклонения норм осадков теплого времени года постбазового периода от норм базового периода
Fig. 3. Deviations of precipitation norms for the warm season of the post-base period from the norms of the base period

При анализе режима осадков в холодное время года были выявлены следующие динамические закономерности. Наибольшая динамика роста осадков отмечается на метеостанции Саумалколь, где зафиксировано увеличение их количества на 52,2 мм. Этот факт указывает на то, что западная часть исследуемой территории стала более влажной в холодный период, что может сказаться на аграрных производственных процессах и гидрологическом балансе этой зоны. С другой стороны, в восточной части региона выявлена отрицательная тенденция изменения суммы осадков. Максимальное уменьшение осадков зафиксировано на метеостанции Кишкенеколь, где норма снизилась на 7,5 мм (рис. 4).

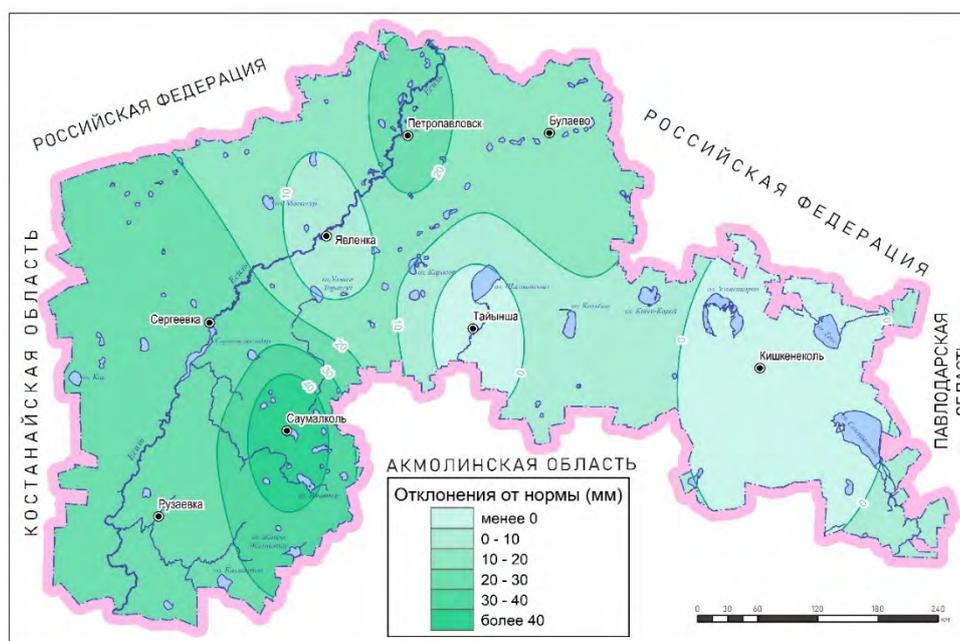


Рис. 4. Отклонения норм осадков холодного времени года постбазового периода (1991–2020 гг.) от норм базового периода (1966–1990 гг.)

Fig.4. Deviations of precipitation norms for the cold season of the post-base period (1991–2020 гг.) from the norms of the base period (1966–1990 гг.)

На всех метеостанциях региона наблюдается увеличение количества осадков за холодный период года. Наиболее наглядно это демонстрирует график, составленный по данным наблюдений на метеостанции Саумалколь (рис. 5).

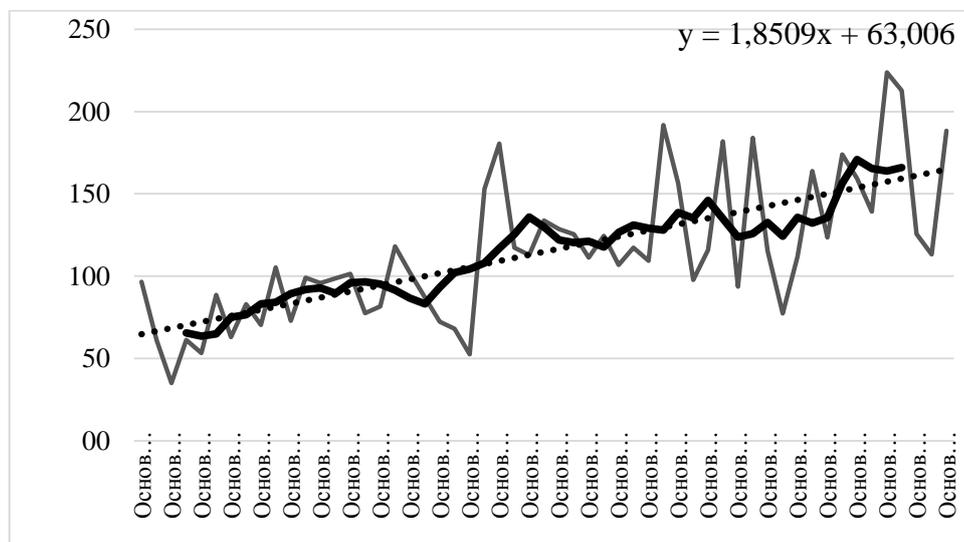


Рис. 5. Осадки за холодный период года на метеостанции Саумалколь, мм

Fig.5. Precipitation during the cold period of the year at the Saumalkol weather station, mm

Заключение

Анализ метеорологических показателей на территории Северо-Казахстанской области за период 1966–2020 гг. выявил систематические изменения в термическом режиме, соответствующие глобальным тенденциям, начавшимся в 70-х годах XX века. Это свидетельствует о взаимосвязи климатических процессов на планете. В ходе исследования выявлено, что с 1972 года отрицательные значения среднегодовых температур стали отсутствовать, а с 1980-х годов началась стабильная тенденция к их повышению. Температура увеличивается на всех рассмотренных метеостанциях, включая те, которые подвержены воздействию холодных воздушных масс. Рост температур составил от 0,31 до 0,42 °С/10 лет с наибольшей скоростью в Петропавловске и Сергеевке. Максимальные температуры также увеличиваются, особенно в последние десятилетия.

В многолетней динамике атмосферных осадков наблюдаются разнонаправленные изменения. Суммарное количество осадков в холодном периоде растет, особенно на западе региона (метеостанция Саумалколь), в то время как восточная часть (метеостанция Кишкенеколь) испытывает отрицательную тенденцию. Различия между периодами 1966–1990 гг. и 1991–2020 гг. в теплом периоде также значительны, указывая на контраст в территориальном распределении атмосферного увлажнения в регионе.

Таким образом, самые значительные изменения замечены в холодный период, характеризующийся увеличением положительных отклонений от нормы как в термическом режиме, так и в количестве атмосферных осадков.

В целом, результаты свидетельствуют о долгосрочных изменениях климатических условий в СКО, с повышением температур и переменами в режиме атмосферных осадков, что может иметь важные последствия для сельского хозяйства и экосистем региона.

Список источников

- Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области. 2017. Научно-прикладной справочник. Астана, 125 с.
- Аргучинцева А.В. 2007. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений. Иркутск, ИГУ, 105 с.
- Бэйтс Б.К., Кундцевич З.В., Палютикоф Ж.П. 2008. Изменение климата и водные ресурсы. Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Женева, Секретариат МГЭИК, 228 с.
- Климат Казахстана. 1959. Ленинград, Гидрометеиздат, 371 с.
- МГЭИК. 2021: Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Кембридж юниверсити пресс. 48 с.
- Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеев А.В. 2013. Теория общей циркуляции атмосферы. Казань, Казанский университет, 224 с.
- Фондовые материалы филиала РГП «Казгидромет» по СКО. 1966–2020. Суточные данные по температуре и осадкам метеостанций Северо-Казахстанской области за 1966–2020 гг.

Список литературы

- Адаменко В.Н., Масанова М.Д., Четвериков А.Ф. 1982. Индикация изменений климата, методы анализа и интерпретации. Ленинград, Гидрометеиздат, 110 с.
- Горный В.И., Киселев А.В., Крицук А.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. 2021. Спутниковое картирование тепловой реакции подстилающей поверхности Северной Евразии на изменение климата. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 18(6): 155–164. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-6-155-164>.
- Долгих С.А., Смирнова Е.Ю., Сабитаева А.У. 2006. К вопросу о построении сценариев изменения климата Казахстана. Гидрометеорология и экология, 1(40): 7–19.
- Дубовик О.Л. 2009. Изменение климата и его воздействие на динамику и функционирование экосистем. Право и политика, 4: 909–916.



- Зарубин Д.А. 2022. Изменение климата как эколого-правовая проблема. *Сибирский антропологический журнал*, 6 (4): 171–174. <https://doi.org/10.31804/2542-1816-2022-6-4-171-174>.
- Мажитова Г.З., Пашков С.В. 2017. Оценка влияния природных условий на комфортность проживания населения Северо-Казахстанской области. В кн.: *Современные проблемы географии и геологии. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*, Томск, 16–19 октября 2017. Томск, НИ ТГУ, Т. 1: 558–561.
- Ондон К. 2016. Продовольственная безопасность и изменение климата. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, 42: 205–210.
- Онуфриева О.А., Коршунов Г.В. 2022. Изменение климата: глобальные тренды и Российская повестка. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 5–1(137): 115–119.
- Пашков С.В. 2021. Агрландшафтное районирование Северо-Казахстанской области: экологические предпосылки. *Геосферные исследования*, 3: 92–103. <https://doi.org/10.17223/25421379/20/7>.
- Пашков С.В., Присич М.В. 2020. Актуализация природного агропотенциала Северо-Казахстанской области в свете интенсификации земледелия. В кн.: *Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Т.С. Мальцева*, Курган, 05 ноября 2020. Курган, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева: 261–267.
- Пашков С.В., Мажитова Г.З. 2016. Медико-географическая оценка комфортности климатических условий Северо-Казахстанской области. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, 3: 88–98.
- Переведенцев Ю.П. 2019. Современные изменения климата и их последствия. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2: 98–102.
- Петухова М.С., Кондратьев М.В. 2023. Изменение климата, сельские территории и сельское хозяйство в Сибири: форсайт-прогноз. *ЭКО*, 53(8): 155–171. <https://doi.org/10.30680/ЕСО0131-7652-2023-8-155-171>.
- Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Петрова Е.Е. 2014. Изменение климата и его региональные проявления в Казахстане. *Гидрометеорология и экология*, 2(73): 17–31.
- Сычев В.Г., Налиухин А.Н. 2021. Изменение климата и углеродная нейтральность: современные вызовы перед аграрной наукой. *Плодородие*, 5(122): 3–7. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.122.01>.
- Чередниченко А.В., Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. 2019. Климатические колебания температуры и осадков в Северном Казахстане. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2: 17–31.
- Шерстюков Б.Г. 2008. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск, ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 246 с.
- Perevedentsev Y.P., Shantalinskii K.M., Guryanov V.V., Eliseev A.V. 2018. Thermodynamic Parameter Variations in the Troposphere and Stratosphere in 1979–2016. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1 (211): 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012015>

References

- Adamenko V.N., Masanova M.D., Chetverikov A.F. 1982. *Indikacija izmenenij klimata, metody analiza i interpretacii* [Climate Change Indications, Methods of Analysis and Interpretation]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 110 p.
- Gornyy V.I., Kiselev A.V., Kritsuk S.G., Latypov I.Sh., Tronin A.A. 2021. Satellite Mapping of the Thermal Response of Ecosystems of Northern Eurasia to Climate Change. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, 18(6): 155–164 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-6-155-164>.
- Dolgikh S.A., Smirnova E.Yu., Sabitaeva A.U. 2006. On the Issue of Constructing Climate Change Scenarios for Kazakhstan. *Hydro meteorology and ecology*, 1(40): 7–19 (in Russian).
- Dubovik O.L. 2009. *Izmeneniye klimata i ego vozdeystviye na dinamiku i funktsionirovaniye ekosistem* [Climate change and its impact on the dynamics and functioning of ecosystems]. *Law and politics*, 4: 909–916.
- Zarubin D.A. 2022. Climate Change as an Ecological and Legal Problem. *Siberian Journal of Anthropology*, 6(4): 171–174 (in Russian). <https://doi.org/10.31804/2542-1816-2022-6-4-171-174>.



- Mazhitova G.Z., Pashkov S.V. 2017. Assessment of the Impact of Natural Conditions on the Standard of Living in North Kazakhstan Region. In: Modern Problems of Geography and Geology. Materials of the IV All-Russian Scientific and practical conference with international participation, Tomsk, 16–19 October 2017. Tomsk, Publ. NI TSU, Vol. 1: 558–561 (in Russian)
- Ondon K. 2016. Prodovolstvennaya bezopasnost i izmeneniye klimata [Food Security and Climate Change]. News of the St. Petersburg State Agrarian University, 42: 205–210.
- Onufrieva O.A., Korshunov G.V. 2022. Climate Change: Global Trends and Russian National Agenda. News of the St. Petersburg State Economic University, 5–1(137): 115–119 (in Russian)
- Pashkov S.V. 2021. Agrolandscape Division of North Kazakhstan Region: Econological Premises. Geosphere Research, 3: 92–103 (in Russian) <https://doi.org/10.17223/25421379/20/7>.
- Pashkov S.V., Prisich M.V. 2020. Updating of Natural Agrarian Potential in North Kazakhstan Region in Connection with Agricultural Intensification. In: Development and Implementation of Modern High-Tech Technologies for the Modernization of the Agro-Industrial Complex. Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 125th anniversary of the birth of T.S. Maltseva, Kurgan, 05 November 2020. Kurgan, Publ. Kurganskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya im. T.S. Maltseva: 261–267 (in Russian).
- Pashkov S.V., Mazhitova G.Z. 2016. Medical and Geographical Assessment of Comfort of Climatic Conditions in the North Kazakhstan Region. Izvestiya Tula State University. Nauki o Zemle, 3: 88–98 (in Russian).
- Perevedentsev Yu.P. 2019. Current Climate Change and Its Effects. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 98–102 (in Russian).
- Petukhova M.S., Kondratiev M.V. 2023. Climate Change, Rural Areas and Agriculture in Siberia: Foresight Projection. ECO, 53(8): 155–171 (in Russian). <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2023-8-155-171>.
- Salnikov V.G., Turulina G.K., Polyakova S.E., Petrova E.E. 2014. Izmeneniye klimata i ego regionalnyye proyavleniya v Kazakhstane [Climate Change and Its Regional Manifestations in Kazakhstan]. Gidrometeorologiya i ekologiya, 2(73): 17–31.
- Sychev V.G., Naliukhin A.N. 2021. Climate Change and Carbon Neutrality: Modern Challenges for Agriculture. Plodorodie, 5(122): 3–7 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.122.01>.
- Cherednichenko A.V., Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S. 2019. Climatic Fluctuations in Temperature and Precipitation in Northern Kazakhstan. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2: 17–31 (in Russian).
- Sherstyukov B.G. 2008. Regional'nye i sezonnye zakonomernosti izmenenij sovremennogo klimata [Regional and Seasonal Patterns of Changes in Modern Climate]. Obninsk, Publ. GU VNIIGMI-MTsD, 246 p.
- Perevedentsev Y.P., Shantalinskii K.M., Guryanov V.V., Eliseev A.V. 2018. Thermodynamic Parameter Variations in the Troposphere and Stratosphere in 1979–2016. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1 (211): 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012015>

*Поступила в редакцию 23.10.2023;
поступила после рецензирования 22.11.2023;
принята к публикации 05.12.2023*

*Received October 23, 2023;
Revised November 22, 2023;
Accepted December 05, 2023*

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

Седельников Игорь Александрович, преподаватель кафедры географии и экологии, Северо-Казакстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казакстан

Смагулова Екатерина Николаевна, магистрант кафедры географии и экологии, Северо-Казакстанский университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казакстан

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor A. Sedelnikov, Lecturer of the Department of Geography and Ecology, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

Ekaterina N. Smagulova, Master's student of the Department of Geography and Ecology, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan



УДК 551.24+504.5+504.064.37
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-580-592

Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным Sentinel-5P TROPOMI)

Гусев А.П.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
Республика Беларусь, 246019, г. Гомель, ул. Советская, 104
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – изучение взаимосвязи потоков метана (измеряемых с помощью дистанционного зондирования Земли) с геологическими и антропогенными источниками. По результатам съемки Sentinel-5P TROPOMI (лето 2022 года) получены содержания метана в тропосфере над регионами Восточной Европы, Юго-Западной Азии и Средней Азии. Повышенные концентрации метана (более 1900 ppb) характерны для Катара, Афганистана, Кувейта, Туркменистана, Пакистана и других стран, находящихся в зоне столкновения литосферных плит и обладающих высокой нефтегазоносностью недр. Установлена положительная корреляция между средним и медианным содержаниями тропосферного метана и сейсмической активностью (коэффициенты корреляции соответственно 0,756 и 0,786), запасами природного газа (0,745 и 0,759), поголовьем крупного рогатого скота (0,403 и 0,336), плотностью населения (0,322 и 0,447). Среднее содержание метана над городами положительно коррелирует с сейсмической активностью (0,557) и с численностью населения (0,355).

Ключевые слова: метан, Sentinel-5P, TROPOMI, корреляция, сейсмическая активность

Для цитирования: Гусев А.П. 2023. Потоки метана в тропосфере: геологические и антропогенные источники (по данным Sentinel-5P TROPOMI). Региональные геосистемы, 47(4): 580–592. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-580-592

Methane Flows in the Troposphere: Geological and Anthropogenic Sources (According to Sentinel-5P TROPOMI Data)

Andrei P. Gusev

F. Skorina Gomel State University
104 Sovetskaya St, Gomel 246019, Republic of Belarus
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to study the relationship between methane flows (measured by remote sensing of the Earth) and geological and anthropogenic sources. The results of the Sentinel-5P TROPOMI survey (summer 2022) made it possible to obtain data on the methane concentrations in the troposphere over the regions of Eastern Europe, Southwest Asia, and Central Asia. Increased methane concentrations (more than 1900 ppb) are characteristic of Qatar, Afghanistan, Kuwait, Turkmenistan, Pakistan and other countries located in the collision zone of lithospheric plates and possessing high oil and gas subsoil. A positive correlation between the average and median concentrations of tropospheric methane and seismic activity (correlation coefficients 0.756 and 0.786, respectively), natural gas reserves (0.745 and 0.759), cattle population (0.403 and 0.336), population density (0.322 and 0.447) was established. The average methane content over the cities positively correlates with seismic activity (0.557) and population density (0.355).

Key words: methane, Sentinel-5P, TROPOMI, correlation, seismic activity

For citation: Gusev A.P. 2023. Methane Flows in the Troposphere: Geological and Anthropogenic Sources (According to Sentinel-5P TROPOMI Data). *Regional Geosystems*, 47(4): 580–592. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-580-592

Введение

Метан (CH₄) играет важную роль в биосфере, что обусловлено взаимодействием метанового цикла с другими биогеохимическими циклами, влиянием метана на климат планеты, на перенос радиации и химические процессы в атмосфере [Елисеев, 2018; Семенов и др., 2018; Киселев, Кароль, 2019; Метан и климатические..., 2022]. Распространенные оценки эмиссии метана базируются на численном моделировании и инструментальных измерениях на локальных ключевых участках [Елисеев, 2018; Гречушникова, Школьный, 2019; Степаненко и др., 2020; Власов и др., 2021]. Считается, что на глобальном, континентальном и субконтинентальном уровнях наиболее надежными являются оценки, основанные на использовании моделей переноса и химических реакций в атмосфере, а на местном уровне – оценки, основанные на непосредственных измерениях [Елисеев, 2018].

Естественные потоки метана составляют от 183 до 248 млн т/год с наиболее вероятной оценкой 215 млн т/год. Среди природных источников метана доминируют: болота и переувлажненные земли, пресноводные водоемы, термиты. На геологические источники приходится 33–75 млн т/год [Киселев, Кароль, 2019; Метан и климатические..., 2022]. По другим данным вклад геологических источников в глобальную эмиссию метана составляет 30 ± 5 % от его глобальной эмиссии или от 40 до 64 млн т/год [Гаркуша, Федоров, 2019].

Антропогенные потоки метана в атмосферу оцениваются в 336–375 млн т/год [Семенов и др., 2018; Киселев, Кароль, 2019; Метан и климатические..., 2022]. Антропогенные процессы выделения метана: пищеварение домашних жвачных животных, рисоводство (деятельность анаэробных метаногенных бактерий), выделения из мест складирования отходов – свалок и сточных вод, выбросы при добыче угля, горение биомассы и топлива, выбросы при добыче, переработке, транспортировке, использовании природного газа, выбросы попутного нефтяного газа [Семенов и др., 2018; Киселев, Кароль, 2019; Monster et al., 2019; Метан и климатические..., 2022].

Отмечается заметная неопределенность оценок потоков метана, особенно в случае природных источников [Елисеев, 2018]. Так, по оценке [Сывороткин, 2002] ежегодный поток метана может составлять 1000–5000 млн т. Однако, как указывается в работе [Гаркуша, Федоров, 2019], большая часть метана, выделяющегося из подводных источников, окисляется микроорганизмами в верхних слоях донных осадков и водной толще. Поток метана, достигающий атмосферы, здесь зависит от глубины, скорости выброса метана, насыщенности метаном донных отложений. На суше поток метана зависит от микроорганизмов-метанотрофов, населяющих почву.

Космические методы играют важную роль в изучении геологических процессов¹. На основе спутниковых наблюдений стало возможно изучение выбросов метана на региональном и глобальном уровнях [Hu et al., 2018; Lunt et al., 2019; Maasackers et al., 2019; Schneising et al., 2020; Varay et al., 2021; Lorente et al., 2021; Chen et al., 2022; Shen et al., 2022]. На основе анализа комплекса данных (в том числе спутниковых наблюдений) проведена оценка эмиссии метана на территории США, Канады и Мексики в 2010–2017 гг. Обнаружена тенденция снижения антропогенных выбросов в Канаде и Мексике, обусловленных добычей и транспортировкой нефти и газа [Varay et al., 2021, Lu et al.,

¹ Гусев А.П. 2022. Спутниковый мониторинг геодинамики. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины, 90 с.



2022]. Измерения содержания метана с высокой точностью и исключительным временным и пространственным разрешением обеспечивает сенсор *TROPOMI* спутника *Sentinel-5P*, что делает эти данные весьма ценными для оценки выбросов [Lorente et al., 2022]. Проведена валидация данных *Sentinel-5P TROPOMI* с помощью наземных наблюдений [Lorente et al., 2023]. В работе [Shen et al., 2022] показано, что *TROPOMI* может служить эффективным инструментом мониторинга выбросов метана в нефтегазовых бассейнах. Съемка *TROPOMI* была использована для оценки выбросов метана в городах США [Plant et al., 2022]. В ряде случаев показано, что поток метана, определяемый дистанционным зондированием Земли, выше, чем полученный с помощью моделирования или расчетов. Так, изучение эмиссии метана со свалок Буэнос-Айреса, Дели, Лахора и Мумбаи установило, что выбросы метана, зафиксированные спутниковой съемкой, на уровне города в 1,4–2,6 раза больше, чем по кадастровым данным [Maasackers et al., 2022].

Цель исследований – выяснить связь потоков метана, измеряемых с помощью спутника *Sentinel-5P TROPOMI*, с геологическими и антропогенными источниками. Решаемые задачи: 1) обработка и преобразование данных дистанционного зондирования (съемка сенсора *TROPOMI* спутника *Sentinel-5P*); 2) определение содержаний тропосферного метана над различными территориальными единицами (страны, крупные города); 3) изучение корреляционной связи между содержанием метана и сейсмической активностью, нефтегазоносностью недр, плотностью населения, численностью поголовья крупного рогатого скота (на примере стран), с сейсмической активностью и численностью населения (на примере городов).

Объекты и методы исследования

Потоки метана изучались над территориями: а) стран Восточной Европы, Юго-Западной и Средней Азии, в пределах Российской Федерации – субъектов европейской части страны (85 объектов); б) крупных городов – столиц, областных центров (всего 40 городов).

В ходе работы были использованы данные космической съемки спутника *Sentinel-5P* с сенсором *TROPOMI* (*TROPospheric Monitoring Instrument*), который определяет общее содержание метана в вертикальном столбе тропосферы. Измерения осуществляются ежедневно с октября 2017 года. Пространственное разрешение съемки 7x5,5 км. Величина случайной ошибки определения метана сенсором *TROPOMI* составляет не более 1 %. Данные находятся в свободном доступе на сайте NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov/>) и представлены в виде архива (xxx.nc) значений концентрации сухого метана в толще атмосферы в миллиардных долях от объема (ppb). Архив преобразовывался нами с помощью модуля *Sentinel-5P data explorer* для *QGIS* в векторные слои точечного типа.

Поскольку атмосферные циркуляции на разных высотах рассеивают и перемешивают по горизонтали поток метана, то использовался метод осреднения измерений в заданном временном отрезке (лето 2022 года), что позволяет сгладить случайные колебания и выделить регулярную составляющую потока метана от земной поверхности. По данным съемок в течение июня – августа 2022 года получали временной ряд содержаний метана, для которого рассчитывали статистические характеристики – среднее, медиана, ошибка среднего, стандартное отклонение, интервал колебаний, минимальное и максимальное значения.

Для оценки связи между содержанием метана и характеристиками вероятных источников использованы непараметрический корреляционный анализ (рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и метод множественной регрессии. Для статистического анализа применяли программу *STATISTICA 6.0*.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований были получены усредненные за летний период содержания тропосферного метана по регионам Восточной Европы, Юго-Западной Азии и Средней Азии (рис. 1). В табл. 1 приведены данные по наиболее характерным регионам, существенно отличающимся в тектоническом отношении. Так, Беларусь, Литва и Польша находятся в пределах древней Восточно-Европейской платформы, их территории удалены от зон современной сейсмической активности и вулканизма на сотни километров. Страны Юго-Западной Азии представляют область столкновения Африканской, Аравийской, Индостанской и Евразийской литосферных плит [Collision and Collapse..., 2009]. Видно, что содержание метана в условиях древней платформы ниже, чем в регионах современного тектогенеза. Кроме того, повышенные концентрации метан наблюдаются над территориями стран-лидеров по добыче нефти и природного газа – Ираном, Ираком, Катаром, Кувейтом, Саудовской Аравией, Туркменистаном.

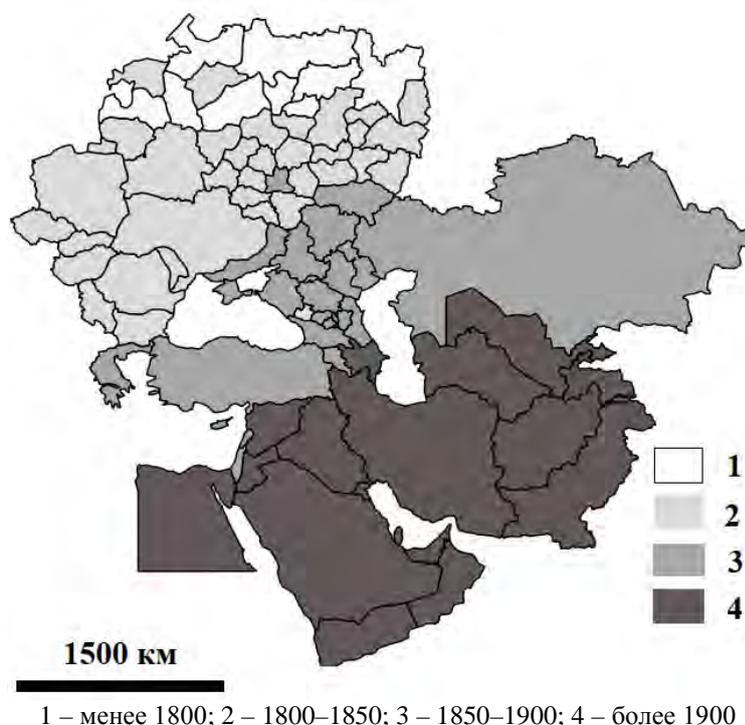


Рис. 1. Содержание метана в тропосфере над странами – лидерами по добыче нефти и природного газа летом 2022 года по данным съемки Sentinel-5P TROPOMI (ppb)

Fig. 1. Methane content in the troposphere over leading countries in oil and natural gas production in the summer of 2022 according to Sentinel-5P TROPOMI survey data (ppb)

Среди субъектов Российской Федерации наибольшая концентрация метана наблюдалась над Дагестаном ($1895,8 \pm 4,7$ ppb), Чеченской Республикой ($1890,9 \pm 6,0$ ppb), Республикой Калмыкией ($1892,2 \pm 2,9$ ppb), Астраханской областью ($1888,8 \pm 3,0$ ppb). Минимальные концентрации метана (менее 1800 ppb) были характерны для Ивановской, Ярославской, Кировской, Костромской, Псковской, Тверской и Вологодской областей.

При этом, повышенные концентрации тропосферного метана наблюдаются над странами, которые характеризуются незначительными площадями болот (Туркменистан, Афганистан и т. д.), являющихся по распространенным оценкам [Елисеев, 2018] ведущими источниками эмиссии метана. И, наоборот, над регионами с широким распространением болот (Республика Беларусь, Ленинградская, Новгородская, Тверская и другие области Российской Федерации) концентрации метана относительно невысоки.

Таблица 1
 Table 1

Содержание тропосферного метана над странами (в ppb)
 Tropospheric methane content over countries (in ppb)

| Регион | Статистическая характеристика | | |
|--------------|-------------------------------|---------|---------------|
| | Среднее и ошибка | Медиана | Интервал |
| Беларусь | 1815,4 ± 7,1 | 1827,1 | 1693,2–1888,1 |
| Литва | 1811,3 ± 7,1 | 1820,1 | 1695,7–1891,4 |
| Польша | 1819,6 ± 8,5 | 1837,4 | 1690,5–1886,4 |
| Азербайджан | 1903,8 ± 4,3 | 1908,1 | 1782,0–1941,9 |
| Ирак | 1911,4 ± 1,7 | 1911,8 | 1881,5–1933,6 |
| Иран | 1911,1 ± 2,2 | 1913,1 | 1882,3–1940,3 |
| Катар | 1925,3 ± 3,1 | 1924,6 | 1891,4–1966,4 |
| Кувейт | 1921,5 ± 2,9 | 1925,0 | 1800,9–1953,5 |
| Турция | 1881,7 ± 2,5 | 1883,8 | 1828,5–1912,7 |
| Сирия | 1910,2 ± 1,8 | 1913,6 | 1881,4–1933,7 |
| Афганистан | 1924,6 ± 4,2 | 1926,6 | 1891,4–1959,0 |
| Пакистан | 1918,3 ± 4,7 | 1910,3 | 1886,0–1963,4 |
| Туркменистан | 1924,9 ± 2,0 | 1927,2 | 1894,7–1946,4 |
| Узбекистан | 1912,2 ± 2,5 | 1911,3 | 1877,6–1932,1 |

Схожая пространственная закономерность характерна для максимальных концентраций метана (2000–2500 ppb) – разовых выбросов из мощных источников (рис. 2). Видно, что наиболее частые выбросы метана приурочены к регионам столкновения литосферных плит и нефтегазоносным областям.

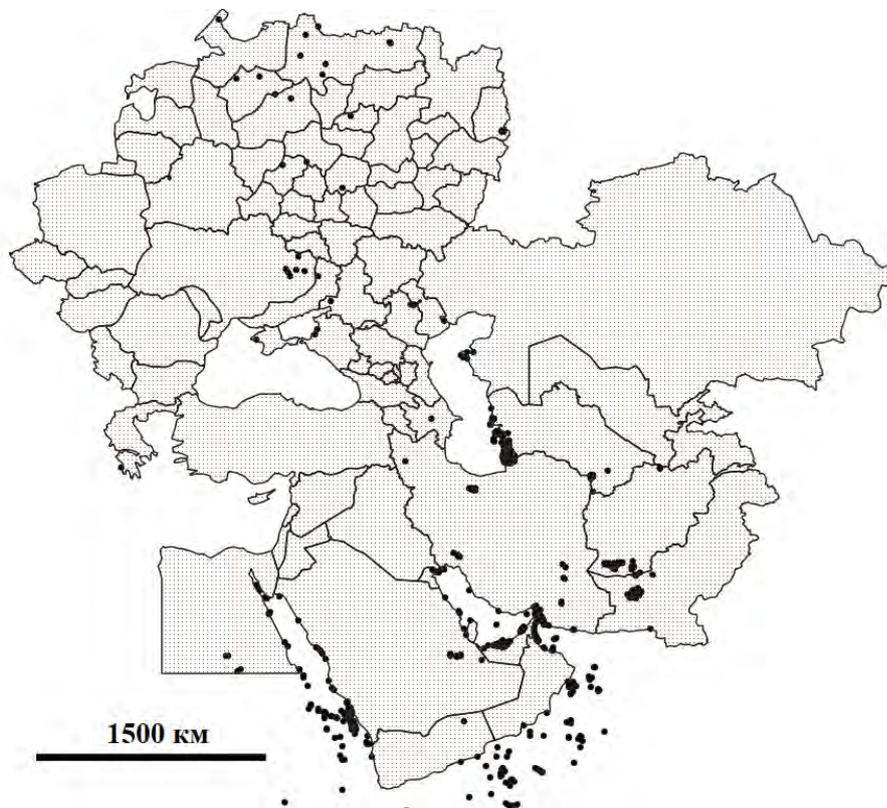


Рис. 2. Точки с максимальными концентрациями метана (более 2000 ppb) в августе 2022 года, по данным съемки Sentinel-5P TROPOMI
 Fig. 2. Points with maximum methane concentrations (more than 2000 ppb) in August 2022 according to Sentinel-5P TROPOMI survey data

Было изучено содержание метана над крупными городами (рис. 3). В табл. 2 приведены результаты по некоторым городам, представляющим различные регионы. Максимальные средние содержания отмечены над городами Тегеран (1933,6 ppb), Ашхабад (1926,1 ppb), Баку (1924,2 ppb), Эль-Кувейт (1920,1 ppb), Каир (1912,9 ppb), Ташкент (1911,2 ppb). Максимальные медианные содержания наблюдались также над этими же городами (Тегеран – 1932,9 ppb, Ашхабад – 1929,2 ppb, Баку – 1925,0 ppb и т. д.). Наибольший интервал колебаний концентраций метана в течение лета имел место в случае Санкт-Петербурга (480,5 ppb), Витебска (427,5 ppb), Могилева (405,8 ppb), Кишинёва (381,2 ppb), минимальный – Астрахани (77,8 ppb), Ашхабада (84,2 ppb), Ташкента (88,4 ppb), Волгограда (84,9 ppb), Баку (97,6 ppb). Кроме того, единичные максимальные концентрации метана наблюдались над Тегераном (2034,3 ppb), Воронежем (1972,8 ppb), Баку (1963,5 ppb), Эль-Кувейтом (1960,8 ppb), Каиром (1959,5 ppb), Ташкентом (1955,2 ppb).

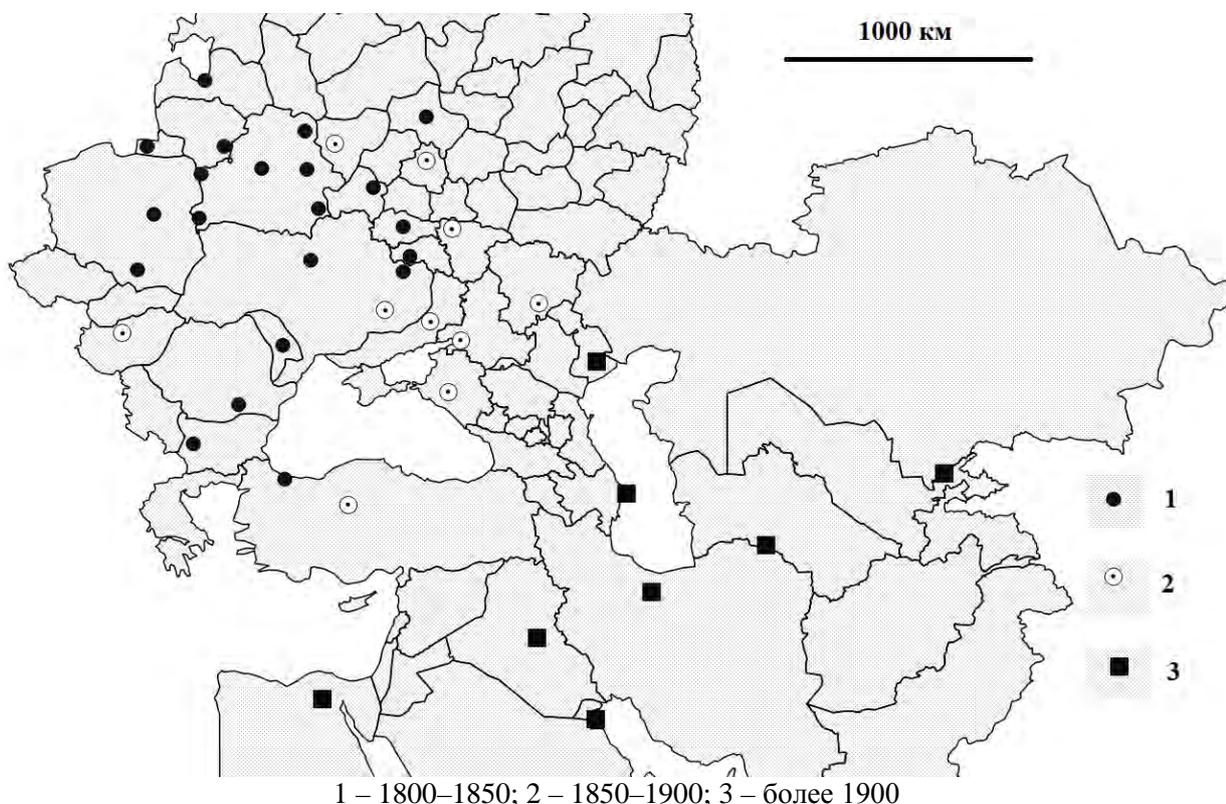


Рис. 3. Содержание метана в тропосфере над городами летом 2022 года, по данным съемки Sentinel-5P TROPOMI (ppb)

Fig. 3. Methane content in the troposphere over cities in the summer of 2022 according to Sentinel-5P TROPOMI survey data (ppb)

Содержание метана над городами сравнивалось с фоновым содержанием, т. е. средней концентрацией над территорией соответствующей страны (табл. 2). Выше фоновых значений среднее содержание метана над такими городами, как Астрахань (на 12,5 ppb), Баку (на 20,4 ppb), Брянск (на 32,9 ppb), Краснодар (30,6 ppb), Смоленск (60,1 ppb), Тегеран (22,5 ppb), Воронеж (25,0 ppb), Санкт-Петербург (41,6 ppb) и другие (всего в 59,0 % изученных городов). Среднее значения превышения фона для этой группы городов составляет 23,7 ppb. Однако превышения фонового содержания метана над городами в большинстве случаев статистически не достоверно. Кроме того, не превышают фоновые для всей страны значения содержания метана над Ашхабадом, Багдадом, Ташкентом, Белгородом, Курском, Каиром, Киевом, Стамбулом и т. д. (всего в 41,0 % городов).



В качестве факторов, влияющих на содержание метана в тропосфере, были рассмотрены: сейсмическая активность (оценивалась по риску максимальной интенсивности сейсмических сотрясений с вероятностью 10 % за 50 лет по шкале MSK-64 в баллах), запасы природного газа в месторождениях и добыча природного газа, поголовье крупного рогатого скота, плотность населения. Для городов – сейсмическая активность и численность населения.

Таблица 2
 Table 2

Содержание тропосферного метана над городами (в ppb)
 The content of tropospheric methane above the mountains (in ppb)

| Город | Среднее и ошибка | Фоновое значение и его ошибка |
|-----------------|------------------|-------------------------------|
| Анкара | 1896,3 ± 2,2 | 1881,7 ± 2,5 |
| Астрахань | 1901,3 ± 3,7 | 1888,8 ± 3,0 |
| Ашхабад | 1926,1 ± 1,4 | 1924,9 ± 2,0 |
| Баку | 1924,2 ± 0,8 | 1903,8 ± 4,3 |
| Будапешт | 1866,9 ± 4,0 | 1829,3 ± 3,2 |
| Варшава | 1804,0 ± 11,1 | 1819,5 ± 8,1 |
| Воронеж | 1875,0 ± 4,5 | 1850,0 ± 5,3 |
| Каир | 1912,9 ± 1,1 | 1908,3 ± 1,8 |
| Киев | 1817,2 ± 7,0 | 1839,4 ± 7,3 |
| Минск | 1840,7 ± 6,1 | 1817,8 ± 10,1 |
| Москва | 1832,3 ± 5,2 | 1809,5 ± 8,1 |
| Санкт-Петербург | 1838,1 ± 3,6 | 1796,5 ± 7,9 |
| Ташкент | 1911,2 ± 2,6 | 1912,2 ± 2,5 |
| Тегеран | 1933,6 ± 1,1 | 1911,1 ± 2,2 |

Сейсмическая активность отражает геодинамические процессы, обусловленные преимущественно тектоникой литосферных плит. Рост сейсмической активности приурочен к границам литосферных плит – зонам субдукции и коллизии, трансформным границам, рифтам¹. Здесь имеет место максимальное проявление дегазации земных недр, в том числе, метановой [Сывороткин, 2002]. Контролируют дегазацию глубинные разломы, причем в случае «сквозных» разломов (выходящих на земную поверхность) дегазация имеет концентрированный характер, а в случае разломов, перекрытых мощным осадочным чехлом, – рассредоточенный. В сейсмоактивных районах к зонам разломов тяготеют очаги землетрясений. Между сейсмическими процессами и дегазацией (и глубинным флюидопереносом в целом) существует тесная взаимосвязь. Потоки газов (в том числе метана) в морских бассейнах указывают на зоны разломов, а динамика их содержания коррелирует с сеймотектоническими процессами [Шакиров, 2018].

Тесно связана с геодинамическими процессами нефтегазоносность недр. Так, согласно рифтогенной модели нефтегазообразования, генерация углеводородов в рифтовых бассейнах протекает за счет термолиза органического вещества осадочной толщи. Субдукционно-обдукционная модель нефтегазообразования предусматривает мобилизацию органики осадочной толщи континентальной окраины при надвигании на нее островной дуги или края другого континента.

По запасам природного газа в месторождениях можно косвенно судить о метанона-

¹ Гаврилов В.П. 2007. Геодинамика. М., МАКС Пресс, 346 с.

сыщенности недр, по добыче природного газа – о возможных утечках метана при извлечении из недр и транспортировке. Метан составляет 70–98 % добываемого природного газа [Шевелева, 2020]. Метан используется в бытовых целях, в качестве газомоторного топлива для промышленного органического синтеза, для получения продуктов хлорирования и т. д. Структура выбросов метана в нефтегазовом комплексе: добыча газа – 47 %, добыча нефти – 20 %, транспортировка и хранение – 19 %, распределение – 7 %, переработка – 7 % [Шевелева, 2020]. Имеются сведения, что над районами активной нефтегазодобычи в США съемка *Sentinel-5P TROPOMI* зафиксировала повышенные содержания метана [Schneising et al., 2020]. Как указывалось выше, высокие концентрации тропосферного метана устойчиво наблюдаются над городами, расположенными в пределах нефтегазовых месторождений (Баку, Эль-Кувейт).

Поголовье крупного рогатого скота обуславливает величину потока метана, связанного с данным фактором. Плотность населения – один из важных показателей антропогенной нагрузки в целом, поскольку коррелирует с величиной выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, объемами образования твердых коммунальных отходов, объемами используемого газа в жилищно-коммунальном хозяйстве. В случае городов использовалась численность населения, которая также характеризует уровень антропогенной нагрузки. На территории городов имеются разнообразные источники эмиссии метана, однако их вклад в общий поток практически не изучен [Кулачкова, Коваленко, 2021].

В разных регионах вклад того или иного фактора может существенно варьироваться. Так, например, в случае Пакистана повышенный поток метана может объясняться наличием как значительных по запасам газовых месторождений и сейсмоструктурной активностью, так и антропогенной составляющей, обусловленной высокой плотностью населения (280,9 чел./км²) и самым большим среди всех рассматриваемых стран поголовьем крупного рогатого скота (53,9 млн голов). В случае Катара или Кувейта роль крупного рогатого скота в повышенном потоке метана будет минимальна, а нефтегазоносности недр (и соответственно утечек метана при добыче и транспортировке углеводородов) – максимальна.

Для оценки влияния указанных факторов на потоки метана был проведен корреляционный анализ (рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Установлено, что содержание метана в тропосфере положительно коррелирует с сейсмической активностью, запасами природного газа в месторождениях, добычей природного газа, численностью поголовья крупного рогатого скота и плотностью населения (табл. 3).

Однако величина коэффициентов корреляции существенно различается. Наибольшая – между содержанием метана и сейсмической активностью (0,756 – для среднего содержания, 0,786 – для медианного). Величина коэффициентов корреляции между содержанием метана и запасами природного газа чуть меньше (0,745 – для среднего, 0,759 – для медианного содержания). Существенно ниже коэффициенты корреляции содержания метана с поголовьем крупного рогатого скота (соответственно 0,403 и 0,336) и плотностью населения (соответственно 0,322 и 0,447).

Для выяснения того, какие из рассматриваемых факторов вносят больший вклад был использован метод множественной регрессии, который показал следующие результаты. В качестве зависимого фактора выступало среднее содержание метана за летний период 2022 года, в качестве независимых факторов – сейсмическая активность, плотность населения, численность поголовья крупного рогатого скота, запасы природного газа в месторождениях. В уравнение множественной регрессии достоверно вошли только сейсмическая активность и запасы природного газа в месторождениях. Коэффициент детерминации R^2 составил 0,573. Для медианного значения содержания метана был получен аналогичный результат.



Таблица 3
 Table 3

Корреляция между содержанием метана в тропосфере и показателями источников потенциального метанообразования (коэффициент корреляции Спирмена)
 Correlation between the content of methane in the troposphere and indicators of sources of potential methane production (Spearman correlation coefficient)

| Показатель | Среднее содержание метана | Медианное содержание метана |
|--|---------------------------|-----------------------------|
| Страны | | |
| Сейсмическая активность (максимальная интенсивность сейсмических сотрясений с вероятностью 10 % за 50 лет, балл по шкале MSR-64) | 0,756, $p < 0,00001$ | 0,786, $p < 0,00001$ |
| Запасы природного газа в месторождениях (трлн т) | 0,745, $p < 0,00001$ | 0,759, $p < 0,00001$ |
| Добыча природного газа (млрд т в год) | 0,653, $p < 0,00001$ | 0,672, $p < 0,00001$ |
| Численность поголовья крупного рогатого скота (млн голов) | 0,403, $p < 0,001$ | 0,336, $p < 0,01$ |
| Плотность населения (чел./км ²) | 0,322, $p < 0,01$ | 0,447, $p < 0,001$ |
| Города | | |
| Сейсмическая активность (максимальная интенсивность сейсмических сотрясений с вероятностью 10 % за 50 лет, балл по шкале MSR-64) | 0,557, $p < 0,001$ | 0,504, $p < 0,01$ |
| Численность населения, млн человек | 0,355, $p < 0,05$ | 0,166, $p > 0,05$ |

Среднее содержание метана над городами положительно коррелирует с баллом сейсмической активности (коэффициент корреляции Спирмена составляет 0,557) и с численностью населения (0,355). Медианное содержание тропосферного метана над городами достоверно коррелирует только с баллом сейсмической активности (0,504). Статически значимая корреляция между медианным содержанием метана и численность населения отсутствует. Кроме того, содержание метана над городами положительно коррелирует со средним содержанием метана над территорией соответствующей страны (для среднего коэффициент Спирмена составил 0,702, для медианного – 0,687).

Заключение

Таким образом, на основе анализа съемки спутника *Sentinel-5P TROPOMI* в летний период 2022 года получены следующие выводы:

- наибольшие концентрации тропосферного метана отмечаются над странами, расположенными в областях повышенной сейсмической активности и нефтегазоносности недр, приуроченных к зонам столкновения литосферных плит (Туркменистан, Афганистан, Катар, Кувейт, Пакистан);
- наименьшие концентрации тропосферного метана наблюдаются над странами, расположенными в пределах древних платформ (Беларусь, Польша, Литва и другие);
- содержания метана над городами в большинстве случаев статистически достоверно не отличаются от фоновых содержаний для соответствующих стран;
- установлена корреляция между содержанием метана и сейсмической активностью, запасами природного газа в месторождениях, численностью поголовья крупного рогатого скота и плотностью населения стран изучаемых регионов;
- содержание метана над городами достоверно коррелирует с сейсмической активностью и в меньшей степени с численностью населения.

Исходя из полученных результатов, можно сделать заключение, что повышенные концентрации метана в тропосфере над рассматриваемыми регионами, вероятно, могут быть обусловлены в значительной степени современной геодинамической активностью и нефтегазоносностью недр (включая эмиссии метана при разработке месторождений углеводородов).

Список литературы

- Власов С.В., Коновалова О.В., Чудовская И.В., Власова И.В., Колотилова Н.Н., Снакин В.В. 2021. Метан в атмосфере, метанотрофы и развитие нефтегазовой промышленности. М., МАКС Пресс, 140 с. <https://doi.org/10.29003/m1986.978-5-317-06580-5>.
- Гаркуша Д.Н., Федоров Ю.А. 2019. Глобальная эмиссия метана геологическими источниками. Международный научно-исследовательский журнал, 3(81): 37–51. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.81.3.006>.
- Гречушникова М.Г., Школьный Д.И. 2019. Оценки эмиссии метана водохранилищами России. Водное хозяйство России. 2: 58–71.
- Елисеев А.В. 2018. Глобальный цикл метана: обзор. Фундаментальная и прикладная климатология. 1: 52–70. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-52-70>.
- Киселев А.А., Кароль И.Л. 2019. С метаном по жизни. Санкт-Петербург, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 73 с.
- Кулачкова С.А., Коваленко А.В. 2021. Городские почвы одного из районов новой Москвы как источники поступления метана и углекислого газа в атмосферу. Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 4: 31–46.
- Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты. 2022. М., РАН, 388 с.
- Семенов С.М., Говор И.Л., Уварова Н.Е. 2018. Роль метана в современном изменении климата. М., НИИПЭ, 106 с.
- Степаненко В.М., Гречушникова М.Г., Репина И.А. 2020. Численное моделирование эмиссии метана из водохранилищ. Фундаментальная и прикладная климатология, 2: 76–99. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-2-76-99>.
- Сывороткин В.Л. 2002. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М., Геоинформцентр, 250 с.
- Шакиров Р.Б. 2018. Газогеохимические поля окраинных полей Восточной Азии. М., ГЕОС, 341 с.
- Шевелева Н.А. 2020. Управление выбросами метана в нефтегазовом секторе. Научный журнал Российского газового общества, 3(26): 48–59.
- Baray S., Jacob D.J., Maasackers J.D., Sheng J.-X., Sulprizio M.P., Jones D.B.A., Bloom A.A., McLaren R. 2021. Estimating 2010–2015 Anthropogenic and Natural Methane Emissions in Canada Using ECCS Surface and GOSAT Satellite Observations. Atmospheric Chemistry and Physics, 21: 18101–18121. <https://doi.org/10.5194/acp-21-18101-2021>.
- Chen Z., Jacob D.J., Nesser H., Melissa P. Sulprizio, Alba Lorente, Daniel J. Varon, Xiao Lu, Lu Shen, Zhen Qu, Elise Penn, and Xueying Yu. 2022. Methane Emissions from China: a High-Resolution Inversion of TROPOMI Satellite Observations. Atmospheric Chemistry and Physics, 22: 10809–10826. <https://doi.org/10.5194/acp-22-10809-2022>.
- Collision and Collapse at the Africa–Arabia–Eurasia Subduction Zone 2009. Geological Society. Special Publications, 311: 368.
- Hu H., Landgraf J., Detmers R., Borsdorff T., de Brugh J.A., Aben I., Butz A., Hasekamp O. 2018. Toward Global Mapping of Methane with TROPOMI: First Results and Intersatellite Comparison to GOSAT. Geophysical Research Letters, 45: 3682–3689. <https://doi.org/10.1002/2018GL077259>
- Lorente A., Borsdorff T., Butz A., Hasekamp O., de Brugh J.A., Schneider A., Wu L., Hase F., Kivi R., Wunch D., Pollard D.F., Shiomi K., Deutscher N.M., Velasco V.A., Roehl C.M., Wennberg P.O., Warneke T., Landgraf J. 2021. Methane Retrieved from TROPOMI: Improvement of the Data Product and Validation of the First 2 Years of Measurements. Atmospheric Measurement Techniques, 14: 665–684.
- Lorente A., Borsdorff T., Martinez-Velarte M.C., Butz A., Hasekamp O.P., Wu L., Landgraf J. 2022. Evaluation of the Methane Full-Physics Retrieval Applied to TROPOMI Ocean Sun Glint



- Measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15: 6585–6603. <https://doi.org/10.5194/amt-15-6585-2022>
- Lorente A., Borsdorff T., Martinez-Velarte M.C., Landgraf J. 2023. Accounting for Surface Reflectance Spectral Features in TROPOMI Methane Retrievals. *Atmospheric Measurement Techniques*, 16: 1597–1608.
- Lu X., Jacob D.J., Wang H., Maasackers J.D., Zhang Y., Scarpelli T.R., Shen L., Qu Z., Sulprizio M.P., Nesser H., Bloom A.A., Ma S., Worden J.R., Fan S., Parker R.J., Boesch H., Gautam R., Gordon D., Moran M.D., Reuland F., Villasana C.A.O., Andrews A. 2022. Methane Emissions in the United States, Canada, and Mexico: Evaluation of National Methane Emission Inventories and 2010–2017 Sectoral Trends by Inverse Analysis of in Situ (GLOBALVIEWplus CH₄ ObsPack) and Satellite (GOSAT) Atmospheric Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 395–418. <https://doi.org/10.5194/acp-22-395-2022>
- Lunt M.F., Palmer P.I., Feng L., Taylor C.M., Boesch H., Parker R.J. 2019. An Increase in Methane Emissions from Tropical Africa between 2010 and 2016 Inferred from Satellite Data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(23): 14721–14740. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14721-2019>
- Maasackers J.D., Jacob D.J., Sulprizio M.P., Scarpelli T.R., Nesser H., Sheng J.-X., Zhang Y., Hersher M., Bloom A.A., Bowman K.W., Worden J.R., Janssens-Maenhout G., Parker R.J. 2019. Global Distribution of Methane Emissions, Emission Trends, and OH Concentrations and Trends Inferred from an Inversion of GOSAT Satellite Data for 2010–2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19: 7859–7881. <https://doi.org/10.5194/acp-19-7859-2019>
- Maasackers J.D., Varon D.J., Elfarsdyttir A., McKeever J., Jervis D., Mahapatra G., Pandey S., Lorente A., Borsdorff T., Foorhuis L.R., Schuit B.J., Tol P., van Kempen T.A., van Hees R., Aben I. 2022. Using Satellites to Uncover Large Methane Emissions from landfills. *Science advances*, 8: 1–8.
- Monster J., Kjeldsen P., Scheutz C. 2019. Methodologies for Measuring Fugitive Methane Emissions from Landfills: A Review. *Waste Management*, 87: 835–859.
- Plant G., Kort E.A., Murray L.T., Maasackers J.D., Aben I. 2022. Evaluating Urban Methane Emissions from Space Using TROPOMI Methane and Carbon Monoxide Observations. *Remote Sensing of Environment*, 268: 112756. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112756>
- Shen L., Gautam R., Omara M., Zavala-Araiza D., Maasackers J.D., Scarpelli T.R., Lorente A., Lyon D., Sheng J., Varon D.J., Nesser H., Qu Z., Lu X., Sulprizio M.P., Hamburg S.P., Jacob D.J. 2022. Satellite Quantification of Oil and Natural Gas Methane Emissions in the US and Canada Including Contributions from Individual Basins. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 11203–11215. <https://doi.org/10.5194/acp-22-11203-2022>
- Schneising O., Buchwitz M., Reuter M., Vanselow S., Bovensmann H., Burrows J.P. 2020. Remote Sensing of Methane Leakage from Natural Gas and Petroleum Systems Revisited. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20: 9169–9182.

References

- Vlasov S.V., Konovalova O.V., Chudovskaya I.V., Vlasova I.V., Kolotilova N.N., Snakin V.V. 2021. Methane in the Atmosphere, Methanotrophs and Development of Oil and Gas Industry. Moscow, Publ. MAKS Press, 140 p. (in Russian).
- Garkusha D.N., Fedorov Yu.A. 2019. Global Emission of Methane by Geological Sources. *International Scientific Research Journal*, 3(81): 37–51 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.81.3.006>
- Grechushnikova M.G., Shkolny D.I. 2019. Estimation of Methane Emission from Reservoirs of Russia. *Water Sector of Russia*, 2: 58–71 (in Russian).
- Eliseev A.V. 2018. Global Methane Cycle: a Review. *Fundamental and Applied Climatology*, 1: 52–70 (in Russian). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-52-70>.
- Kiselev A.A., Karol I.L. 2019. S metanom po zhizni [With methane through life]. Sankt-Peterburg, Publ. Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I. Voyeykova, 73 p.
- Kulachkova S.A., Kovalenko A.V. 2021. Urban Soils of One of the New Moscow Districts as Sources of Methane and Carbon Dioxide to the Atmosphere. *Lomonosov Soil Science Journal*, 4: 31–46 (in Russian).
- Metan i klimaticheskkiye izmeneniya: nauchnyye problemy i tekhnologicheskkiye aspekty [Methane and Climate Change: Scientific Problems and Technological Aspects]. 2022. Moscow, Publ. RAN, 388 p.

- Semenov S.M., Govor I.L., Uvarova N.E. 2018. Rol' metana v sovremennom izmenenii klimata [The Role of Methane in Modern Climate Change]. Moscow, Publ. NIPE, 106 p.
- Stepanenko V.M., Grechushnikova M.G., Repina I.A. 2020. Numerical Simulation of Methane Emission from an Artificial Reservoir. *Fundamental and Applied Climatology*, 2: 76–99 (in Russian). <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2020-2-76-99>.
- Syvorotkin V.L. 2002. Glubinnaya degazatsiya Zemli i global'nyye katastrofy [Deep Degassing of the Earth and Global Disasters]. Moscow, Publ. Geoinformatsentr, 250 p.
- Shakirov R.B. 2018. Gasgeochemical Fields of the Eastern Asia Marginal Seas. Moscow, Publ. GEOS, 341 p. (in Russian)
- Sheveleva N.A. 2020. Methane Emissions Control in the Oil and Gas Industry. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo gazovogo obshchestva*, 3(26): 48–59 (in Russian).
- Baray S., Jacob D.J., Maasackers J.D., Sheng J.-X., Sulprizio M.P., Jones D.B.A., Bloom A.A., McLaren R. 2021. Estimating 2010–2015 Anthropogenic and Natural Methane Emissions in Canada Using ECCO Surface and GOSAT Satellite Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21: 18101–18121. <https://doi.org/10.5194/acp-21-18101-2021>.
- Chen Z., Jacob D.J., Nesser H., Melissa P. Sulprizio, Alba Lorente, Daniel J. Varon, Xiao Lu, Lu Shen, Zhen Qu, Elise Penn, and Xueying Yu. 2022. Methane Emissions from China: a High-Resolution Inversion of TROPOMI Satellite Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 10809–10826. <https://doi.org/10.5194/acp-22-10809-2022>.
- Collision and Collapse at the Africa–Arabia–Eurasia Subduction Zone 2009. Geological Society. Special Publications, 311: 368.
- Hu H., Landgraf J., Detmers R., Borsdorff T., de Brugh J.A., Aben I., Butz A., Hasekamp O. 2018. Toward Global Mapping of Methane with TROPOMI: First Results and Intersatellite Comparison to GOSAT. *Geophysical Research Letters*, 45: 3682–3689. <https://doi.org/10.1002/2018GL077259>
- Lorente A., Borsdorff T., Butz A., Hasekamp O., de Brugh J.A., Schneider A., Wu L., Hase F., Kivi R., Wunch D., Pollard D.F., Shiomi K., Deutscher N.M., Velasco V.A., Roehl C.M., Wennberg P.O., Warneke T., Landgraf J. 2021. Methane Retrieved from TROPOMI: Improvement of the Data Product and Validation of the First 2 Years of Measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14: 665–684.
- Lorente A., Borsdorff T., Martinez-Velarte M.C., Butz A., Hasekamp O.P., Wu L., Landgraf J. 2022. Evaluation of the Methane Full-Physics Retrieval Applied to TROPOMI Ocean Sun Glint Measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15: 6585–6603. <https://doi.org/10.5194/amt-15-6585-2022>
- Lorente A., Borsdorff T., Martinez-Velarte M.C., Landgraf J. 2023. Accounting for Surface Reflectance Spectral Features in TROPOMI Methane Retrievals. *Atmospheric Measurement Techniques*, 16: 1597–1608.
- Lu X., Jacob D.J., Wang H., Maasackers J.D., Zhang Y., Scarpelli T.R., Shen L., Qu Z., Sulprizio M.P., Nesser H., Bloom A.A., Ma S., Worden J.R., Fan S., Parker R.J., Boesch H., Gautam R., Gordon D., Moran M.D., Reuland F., Villasana C.A.O., Andrews A. 2022. Methane Emissions in the United States, Canada, and Mexico: Evaluation of National Methane Emission Inventories and 2010–2017 Sectoral Trends by Inverse Analysis of in Situ (GLOBALVIEWplus CH₄ ObsPack) and Satellite (GOSAT) Atmospheric Observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 395–418. <https://doi.org/10.5194/acp-22-395-2022>
- Lunt M.F., Palmer P.I., Feng L., Taylor C.M., Boesch H., Parker R.J. 2019. An Increase in Methane Emissions from Tropical Africa between 2010 and 2016 Inferred from Satellite Data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19 (23): 14721–14740. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14721-2019>
- Maasackers J.D., Jacob D.J., Sulprizio M.P., Scarpelli T.R., Nesser H., Sheng J.-X., Zhang Y., Hersher M., Bloom A.A., Bowman K.W., Worden J.R., Janssens-Maenhout G., Parker R.J. 2019. Global Distribution of Methane Emissions, Emission Trends, and OH Concentrations and Trends Inferred from an Inversion of GOSAT Satellite Data for 2010–2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19: 7859–7881. <https://doi.org/10.5194/acp-19-7859-2019>
- Maasackers J.D., Varon D.J., Elfarsdyttir A., McKeever J., Jervis D., Mahapatra G., Pandey S., Lorente A., Borsdorff T., Foorthuis L.R., Schuit B.J., Tol P., van Kempen T.A., van Hees R., Aben I. 2022. Using Satellites to Uncover Large Methane Emissions from landfills. *Science advances*, 8: 1–8.



- Monster J., Kjeldsen P., Scheutz C. 2019. Methodologies for Measuring Fugitive Methane Emissions from Landfills: A Review. *Waste Management*, 87: 835–859.
- Plant G., Kort E.A., Murray L.T., Maasackers J.D., Aben I. 2022. Evaluating Urban Methane Emissions from Space Using TROPOMI Methane and Carbon Monoxide Observations. *Remote Sensing of Environment*, 268: 112756. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112756>
- Shen L., Gautam R., Omara M., Zavala-Araiza D., Maasackers J.D., Scarpelli T.R., Lorente A., Lyon D., Sheng J., Varon D.J., Nesser H., Qu Z., Lu X., Sulprizio M.P., Hamburg S.P., Jacob D.J. 2022. Satellite Quantification of Oil and Natural Gas Methane Emissions in the US and Canada Including Contributions from Individual Basins. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 11203–11215. <https://doi.org/10.5194/acp-22-11203-2022>
- Schneising O., Buchwitz M., Reuter M., Vanselow S., Bovensmann H., Burrows J.P. 2020. Remote Sensing of Methane Leakage from Natural Gas and Petroleum Systems Revisited. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20: 9169–9182.

Поступила в редакцию 03.10.2023;
поступила после рецензирования 29.10.2023;
принята к публикации 09.11.2023

Received October 03, 2023;
Revised October 29, 2023;
Accepted November 09, 2023

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

Гусев Андрей Петрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии и географии, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель, Беларусь

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andrei P. Gusev, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geology and Geography of Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus



УДК 528.92

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-593-606

Using GIS Tools to Detect the Land Use/Land Cover Changes in Ha Nam province, Vietnam

Bui B. Thien

Southern Federal University,
40 Zorge St, Rostov-on-Don 344090, Russia
E-mail: buibaothienha@gmail.com

Abstract. Land is a crucial natural resource for any country. The study of land use and land cover (LULC) change has been instrumental in various areas such as natural resource management, monitoring, land planning, landslides, erosion, and addressing global change issues. In this study, geographic information systems (GIS) and remote sensing (RS) techniques were used to monitor LULC changes in Ha Nam province, Vietnam from 1992 to 2022. The supervised classification method in ArcGIS 10.8 software was applied to Landsat satellite data (Landsat 5-TM for 1992 and 2003, and Landsat 8-OLI/TIRS for 2022) to detect and classify five main LULC types: agricultural land, barren land, built-up, forest, and waterbodies. The classification accuracy was evaluated using kappa coefficients, which were 0.886, 0.905, and 0.933 for 1992, 2003, and 2022, respectively. During the period of 1992–2022, the agricultural land, forest, and waterbodies classes areas decreased by 102.85 km², 48.57 km², and 5.25 km², respectively. Meanwhile, the built-up and barren land classes areas increased by 150.08 km² and 6.59 km², respectively. Population growth, urbanization, urban planning policies, and the transition from an agricultural to an industrial economy have contributed to the expansion of built-up areas and the reduction of agricultural land, forests, and waterbodies in Ha Nam province. Moreover, we utilized the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Index (NDBI) to rapidly evaluate LULC changes, and we observed that their trends aligned with the results obtained from supervised classification. The environment faces substantial risks due to these LULC changes, and the outcomes of this study can provide valuable insights for upcoming land management and planning initiatives in the area.

Key words: Landsat, GIS, land use/land cover change, supervised classification, Ha Nam province

For citation: Thien B.B. 2023. Using GIS Tools to Detect the Land Use/Land Cover Changes in Ha Nam province, Vietnam. Regional Geosystems, 47(4): 593–606. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-593-606

Использование инструментов ГИС для обнаружения изменений в использовании и покрытии земли в провинции Ханам, Вьетнам

Тхиен Б.Б.

Южный федеральный университет,
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40
E-mail: buibaothienha@gmail.com

Аннотация. Почва – это важный природный ресурс для любой страны. Изучение изменений в использовании и покрытии земли (LULC) играет важную роль в различных областях, таких как управление природными ресурсами, мониторинг, земельное планирование и решение проблем глобальных изменений. В этом исследовании использовались географические информационные системы (ГИС) и технологии дистанционного зондирования (ДЗ) для мониторинга изменений LULC в провинции Ханам, Вьетнам с 1992 по 2022 год. Метод классификации с обучением в программном обеспечении ArcGIS 10.8 применялся к данным спутника Landsat (Landsat 5-TM для 1992 и 2003 годов, и Landsat 8-OLI/TIRS для 2022 года) для выявления и классификации пяти основных типов LULC: сельскохозяйственные угодья, бесплодные угодья, застроенные территории, лес и водоемы. Точность классификации оценивалась с использованием



коэффициентов каппа, которые составили 0,886, 0,905 и 0,933 для 1992, 2003 и 2022 годов, соответственно. За период с 1992 по 2022 годы площади классов сельскохозяйственных угодий, леса и водоемов уменьшились на 102,85 км², 48,57 км² и 5,25 км², соответственно. В то время как площади классов застроенных территорий и бесплодных угодий увеличились на 150,08 км² и 6,59 км², соответственно. Рост населения, урбанизация, политика городского планирования и переход от аграрной к индустриальной экономике способствовали расширению застроенных территорий и сокращению сельскохозяйственных земель, лесов и водоемов в провинции Ханам. Кроме того, мы использовали индекс нормализованной разницы вегетационного покрытия (NDVI) и индекс нормализованной разницы застроенных территорий (NDBI) для быстрой оценки изменений в LULC и обнаружили, что их тенденции соответствуют результатам, полученным с помощью надзорной классификации. Эти изменения в LULC представляют серьезные риски для окружающей среды, и результаты этого исследования могут предоставить ценные исследовательские данные для предстоящих инициатив по управлению и планированию земельных ресурсов в этом регионе.

Ключевые слова: Landsat, ГИС, изменение использования земли/покрытия земли, классификация с обучением, провинция Ханам

Для цитирования: Тхиен Б.Б. 2023. Использование инструментов ГИС для обнаружения изменений в использовании и покрытии земли в провинции Ханам, Вьетнам. Региональные геосистемы, 47(4): 593–606. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-593-606

Introduction

In recent years, studies on global environmental changes have increasingly focused on the issue of land use and land cover (LULC) changes [Msofe et al., 2019]. Researchers recognize LULC as primary factors that impact ecosystems and landscape values. As a result, LULC changes has gained significant attention in the global academic community [Tariq et al., 2022]. The research has primarily concentrated on comparing methodologies using GIS methods, fuzzy sets, and landscape metrics. Additionally, there has been an effort to develop a new approach that combines ecological, geographical, and social anthropological data in LULC changes studies [Vadrevu et al., 2019]. A study was presented by scientists, employing a high-resolution land use change model to downscale land use changes from macro-scale models to the landscape level [Aghsaei et al., 2020]. This approach aims to provide valuable insights for future land use change analysis. Understanding the relations and interactions between anthropogenic factors and the natural environment is crucial in comprehending LULC changes [Zadbagher et al., 2018; Thien et al., 2022]. Both these factors influence LULC changes to varying degrees. However, the current trends indicate a general degradation of the environment and significant fragmentation of the landscape. Numerous studies conducted globally highlight the rapid pace of LULC changes resulting from population growth, intensive land use, and the loss of natural areas [Thien, Phuong, 2023].

Studying urban dimensions, including LULC mapping, urban density, urban modeling, and the environmental effects of urban development over time intervals, can be effectively carried out using powerful tools such as the geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) [Mehdi et al., 2016; Majeed et al., 2021]. RS data offers timely, reliable, and accurate information on degraded lands during specific time periods in a cost-effective manner. By utilizing GIS technology, spatial data can be managed and analyzed according to the requirements of the case study [Phuong, Thien, 2023b]. RS data proves valuable for conducting LULC inventory and mapping. Landsat sensors like Landsat-5 Thematic Mapper (TM), Landsat-7 Enhanced TM Plus (ETM+), and Landsat-8 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor (OLI/TIRS) provide a range of satellite data that plays a crucial role in detecting changes in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and LULC for LULC planners [Zheng et al., 2021; Florim et al., 2021; Dash et al., 2023]. Change detection involves quantitatively analyzing the previous effects of an occurrence

using RS information, thereby assisting in identifying changes related to LULC properties with reference to various satellite datasets. Supervised classifications rely on prior knowledge of the scene regions, areas containing materials of interest, and training sites, which are stored and delineated for use in the supervised classification algorithm.

This study used GIS and RS technology to monitor LULC changes from 1992 to 2022 in Ha Nam province, Vietnam. The purpose of our research is (1) to identify and classify LULC types and to quantitatively analyze LULC changes from 1992 to 2022; (2) then conduct *NDVI* and *NDBI* change detection, mapping and analysis using satellite data; and (3) to evaluate the factors affecting the change of LULC in the study area in the period 1992–2022.

Materials and methods

Study area

Ha Nam province, located in the North of Vietnam, is situated at geographical coordinates with latitude $20^{\circ}23'N - 20^{\circ}52'N$ and longitude $105^{\circ}49'E - 106^{\circ}25'E$, covering a total area of 861.92 km^2 (Fig. 1)¹. The landscape of Ha Nam province is diverse, encompassing plains, hills, and river valleys. The majority of the province's land area consists of plains, while hilly terrain and rivers make up the remaining portions. The province experiences a humid subtropical climate, characterized by four distinct seasons: spring, summer, autumn, and winter. The average annual temperature ranges from 23°C to 25°C , with hot and humid summers and relatively cold winters. As of the latest available data, the population of Ha Nam province was approximately 878,306 people in 2022. The urban population accounts for around 45 % of the total population, residing in cities and towns, while the remaining 55 % represents the rural population. The province has been witnessing ongoing urbanization and economic development. Ha Nam province's economy is diverse, with agriculture, industry, and services being the main sectors. The province is known for its agricultural production, particularly in rice cultivation. Industrial activities are also prominent, with various industrial zones attracting investments and contributing to the economic growth of the province. Additionally, the services sector, including commerce, healthcare, and education, plays a vital role in the local economy.

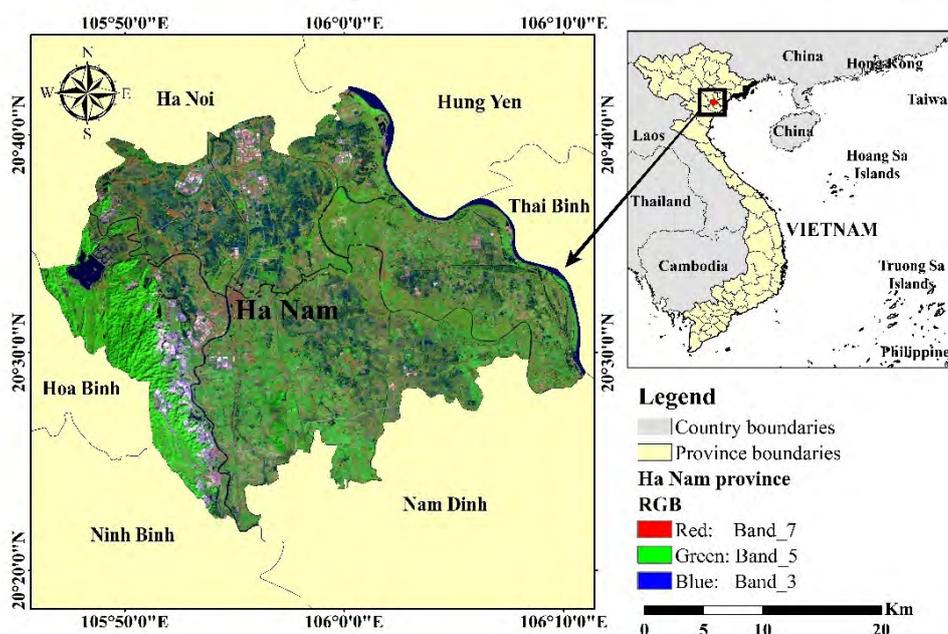


Fig. 1. Study area map of Ha Nam province

Рис. 1. Карта территории исследования провинции Ханам

¹ General Statistics Office. 2022. Statistical Yearbook of Viet Nam 2022. Statistical Publishing House. URL: https://www.gso.gov.vn/wp-content/uploads/2023/06/Sach-Nien-giam-TK-2022-update-21.7_file-nen-Water.pdf



Data collection

We used satellite images obtained from the USGS Glovis website (<https://glovis.usgs.gov>) to map LULC in Ha Nam province and assess LULC changes from 1992 to 2022. In this study, we employed *Landsat 5-TM* images for the years 1992 and 2003, while *Landsat 8-OLI/TIRS* images were utilized for 2022. To evaluate the accuracy of the LULC classification map, we collected point data, consisting of 300 points per year. For 1992 and 2003, *Google Earth Pro* software was employed to collect these points, while for 2022, we conducted field surveys and used GPS devices. Throughout the study, we utilized *ArcGIS 10.8* and *Microsoft Excel 2016* software. A comprehensive data summary can be found in Table 1.

Table 1
Таблица 1

Detailed data summary of satellite imagery used in the study
 Подробные данные спутниковых снимков, использованных в исследовании

| Satellite image | Sensor | Acquisition data | Path/row | Landsat scene ID |
|-----------------|----------|------------------|----------|-----------------------|
| Landsat 5 | TM | 01/12/1992 | 126/046 | LT51260461992336BJC00 |
| | | 21/10/1992 | 127/046 | LT51270461992295BJC02 |
| Landsat 5 | TM | 16/12/2003 | 126/046 | LT51260462003350BJC00 |
| | | 23/12/2003 | 127/046 | LT51270462003357BKT01 |
| Landsat 8 | OLI/TIRS | 17/10/2022 | 126/046 | LC81260462022290LGN00 |
| | | 16/10/2022 | 127/046 | LC81270462022289LGN01 |

Image pre-processing and supervised classification

We combined distinct bands from *Landsat 5-TM* and *Landsat 8-OLI/TIRS* through layer stacking to create a comprehensive image of the study area. During the subset setup process, we delineated the desired study area using extract by mask tools within *ArcGIS 10.8* [Kumari et al., 2019; Phuong, Thien, 2023a]. Referring to the scheme proposed by Anderson et al. [1976] and verifying it through field surveys, we identified five primary LULC categories in the study area: agricultural land, barren land, built-up areas, forest, and waterbodies (Table 2). Using *ArcGIS 10.8* software, we drew polygons around pixels with similar reflectance values for each category, forming training samples [Verma et al., 2020]. Pixels enclosed by these polygons in each *Landsat* image were marked to extract spectral signatures for different LULC classes [Thien et al., 2023]. Next, we applied a maximum likelihood classification algorithm to classify LULC based on these spectral signatures [Verma et al., 2020; Isma'il et al., 2023]. Fig. 2 provides a detailed illustration of the methodology employed in this research.

Table 2
Таблица 2

Classes delineated from field survey
 Классы, выделенные на основе полевых исследований

| Class | Description |
|-------------------|---|
| Agricultural land | Cropland and paddy field |
| Barren land | Fallow land, sands and earth dumps |
| Built-up | Residential, industrial, roads and other manmade structures |
| Forest | Natural forest, plantations and mixed forest lands |
| Waterbodies | Reservoirs, rivers and lakes |

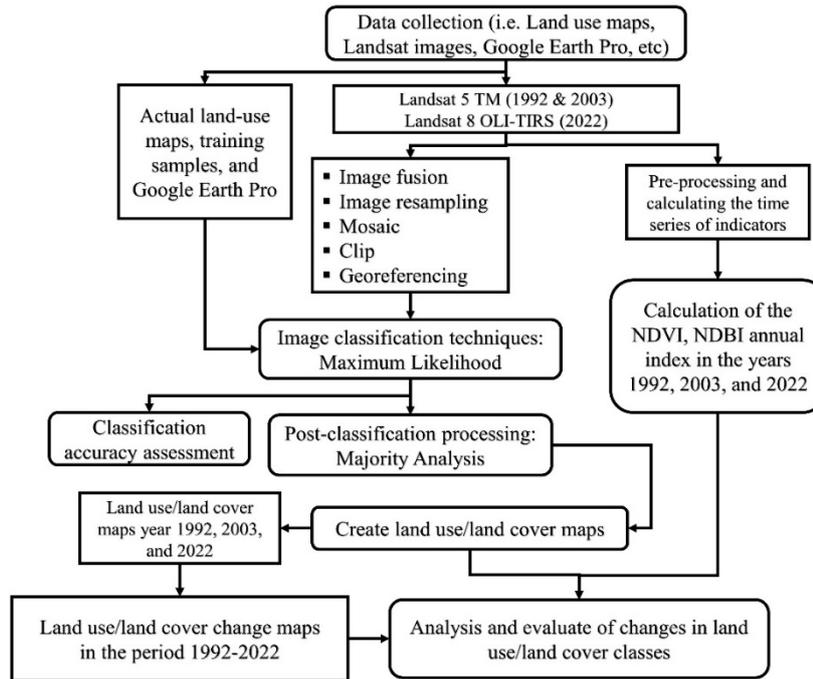


Fig. 2. Flow chart for methodology
 Рис. 2. Блок-схема методологии

Classification accuracy assessment

During the LULC classification process, it is important to evaluate the accuracy to account for potential misclassifications between pixels [Zadbagher et al., 2018; Thien, Phuong, 2023a]. To assess the accuracy of the classification results, we utilized an error matrix and compared the results with 150 reference data points collected for each year. We calculated various metrics based on the error matrix for each respective year, including user's accuracy, producer's accuracy, overall accuracy, and kappa coefficient [Vadrevu et al., 2019; Phuong, Thien, 2023a]. These metrics provide valuable insights into the reliability of the classification results by measuring the agreement between the predicted and actual classifications. Formulas (1), (2), (3), and (4) were employed to calculate the user's accuracy, producer's accuracy, overall accuracy, and kappa coefficient, respectively.

$$\text{User's accuracy} = \frac{\text{Number of correctly classified pixels in each category}}{\text{Total number of reference pixels in each category (row total)}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{\text{Number of correctly classified pixels in each category}}{\text{Total number of reference pixels in each category (column total)}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Number of sampling classes classified correctly}}{\text{Number of reference sampling classes}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Kappa} = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (4)$$

where P_o is the agreement ratio between the predicted classification results and the actual classification results. P_e is the random agreement ratio between the predicted classification results and the actual classification results.

Estimation and correlation between NDVI and NDBI

By utilizing satellite imagery, we can estimate the *NDVI* and *NDBI*, which provide valuable information for monitoring vegetation health and urbanization processes [Florim et al., 2021]. The *NDVI* serves as a vegetation index, utilizing the near-infrared (NIR) and red (RED) bands of satellite images to distinguish vegetation [Florim et al., 2021]. As vegetation cover ex-

pands, the *NDVI* value increases, while it decreases with diminishing vegetation cover. On the other hand, the *NDBI* serves as an urban index, utilizing the shortwave infrared (SWIR) and near-infrared (NIR) bands of satellite images to detect built-up areas [Zheng et al., 2021]. The *NDBI* value increases as built-up areas expand and decreases with a reduction in built-up areas. We calculate the *NDVI* and *NDBI* indices using formulas (5) and (6), respectively.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (6)$$

We utilized regression analysis to quantify the correlation between *NDVI* and *NDBI* in Ha Nam province for the years 1992, 2003, and 2022. The regression analysis yielded correlation coefficient values within the range of -1 to $+1$ [Pal, Ziaul, 2017]. To conduct the regression analysis, we employed the random point generator feature within *ArcGIS 10.8* software to generate 200 random point data within the study area boundaries. The extract multi values to points tool facilitated the extraction of a value for each point data from the *NDVI* and *NDBI* pixels. Subsequently, we exported these values to *Microsoft Excel 2016* software (Microsoft, USA) to estimate the regression equation between *NDVI* and *NDBI*.

Results and discussion

Land use/land cover classification

The map of LULC status in Ha Nam province in the three years 1992, 2003 and 2022 is shown in Fig. 3. Table 3 shows the area and proportions of each LULC type respectively. From Fig. 3 and the data in Table 3, it can be seen that significant changes have occurred in agricultural land and built-up classes over the 30 years in the study area.

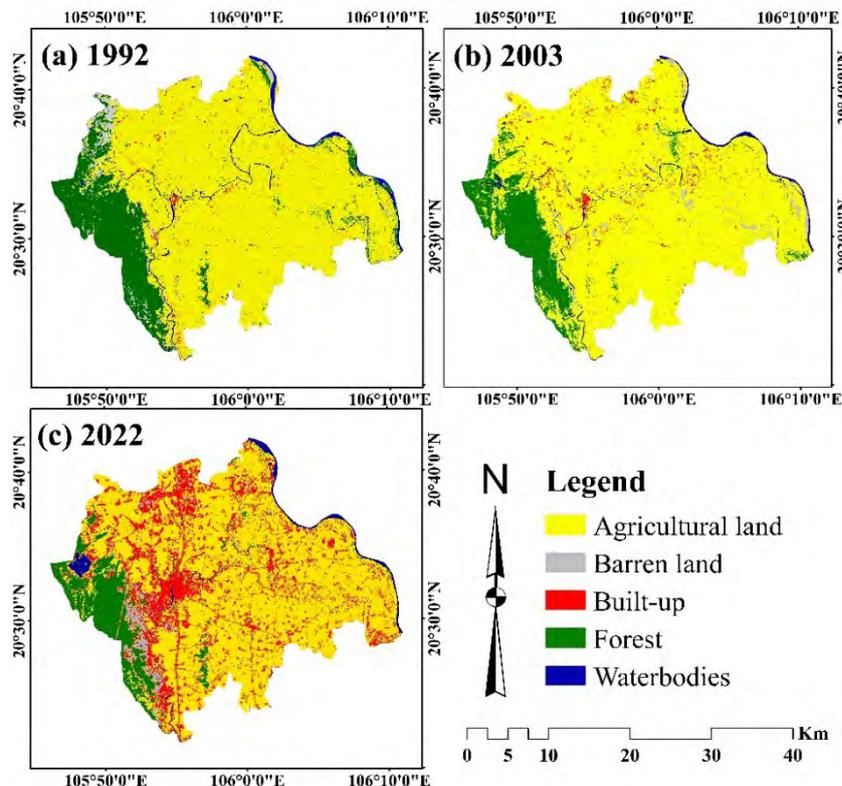


Fig. 3. Land use/land cover maps for Ha Nam province in 1992 (a), 2003 (b), and 2022 (c)

Рис. 3. Карты землепользования/земельного покрова провинции Ханам в 1992 г. (a), 2003 г. (b) и 2022 г. (c)

Based on the LULC classification results in Table 3, in the year 1992, agricultural land class accounted for the largest area in Ha Nam province, accounted for 78.17 % (673.75 km²) of the total area. Forest class area accounted for 15.88 % (136.85 km²), waterbodies class area accounted for 2.80 % (24.16 km²), barren land class area accounted for 2.05 % (17.71 km²), and built-up class area had the smallest coverage at only 1.10 % (9.45 km²) (Table 3). By 2003, the areas of forest and waterbodies classes had decreased to 11.47 % (98.85 km²), and 2.03 % (17.53 km²), respectively (Table 3). In contrast, the areas of agricultural land, barren land, and built-up classes had increased to 81.12 % (699.21 km²), 3.15 % (27.12 km²), and 2.23 % (19.21 km²), respectively (Table 3). By 2022, the area of built-up class had further increased and accounted for 18.51 % (159.53 km²). Additionally, the area of waterbodies class had continued to increase and accounted for 2.19 % (18.91 km²) in 2022. Meanwhile, the areas of agricultural land, barren land, and forest classes had decreased to 66.24 % (570.90 km²), 2.82 % (24.30 km²), and 10.24 % (88.28 km²), respectively (Table 3).

Table 3
Таблица 3

The land use/land cover area distribution from 1992 to 2022 in Ha Nam province
Распределение землепользования/земельного покрова с 1992 по 2022 год в провинции Ханам

| Class | 1992 | | 2003 | | 2022 | |
|-------------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | Area (km ²) | % | Area (km ²) | % | Area (km ²) | % |
| Agricultural land | 673.75 | 78.17 | 699.21 | 81.12 | 570.90 | 66.24 |
| Barren land | 17.71 | 2.05 | 27.12 | 3.15 | 24.30 | 2.82 |
| Built-up | 9.45 | 1.10 | 19.21 | 2.23 | 159.53 | 18.51 |
| Forest | 136.85 | 15.88 | 98.85 | 11.47 | 88.28 | 10.24 |
| Waterbodies | 24.16 | 2.80 | 17.53 | 2.03 | 18.91 | 2.19 |
| Total | 861.92 | 100.00 | 861.92 | 100.00 | 861.92 | 100.00 |

The assessment of the post-classification accuracy in this study was performed by comparing the classified LULC classes with the reference data [Islami et al., 2022; Thien, Phuong, 2023a]. The results of the classification evaluation showed that the overall accuracy of the years 1992, 2003, and 2022 was 91.58 %, 93.00 %, and 95.00 %, respectively (Table 4). Overall, the producer's accuracy and the user's accuracy for each soil layer in all 3 years were above 80 % (Table 4). The kappa coefficient values in 1992, 2003 and 2022 in the study area were recorded as 0.886, 0.905, and 0.933, respectively (Table 4). Kappa coefficients ranging from 0.81 to 1.00 are considered almost perfect in LULC classification [Regasa et al., 2021; Wahla et al., 2023]. These results show reliable land cover classification and good consistency between referenced and classified maps.

Table 4
Таблица 4

Accuracy assessments for classified maps
Оценка точности классифицированных карт

| LULC classes | 1992 | | 2003 | | 2022 | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | Producer's accuracy (%) | User's accuracy (%) | Producer's accuracy (%) | User's accuracy (%) | Producer's accuracy (%) | User's accuracy (%) |
| Agricultural land | 94.87 | 91.36 | 94.87 | 90.24 | 95.83 | 95.83 |
| Barren land | 90.91 | 83.33 | 91.67 | 84.62 | 93.33 | 82.35 |
| Built-up | 83.33 | 88.24 | 88.89 | 92.31 | 96.61 | 98.28 |
| Forest | 90.57 | 96.00 | 93.75 | 97.83 | 93.33 | 96.55 |
| Waterbodies | 90.32 | 93.33 | 91.43 | 96.97 | 91.67 | 91.67 |
| Overall accuracy (%) | 91.58 | | 93.00 | | 95.00 | |
| Kappa Coefficient | 0.886 | | 0.905 | | 0.933 | |



Land use/land cover change

Fig. 4 illustrates the specific changes in each LULC class during the period of 1992–2022 in Ha Nam province. The analysis of area changes for each LULC class in different periods (1992–2003, 2003–2022, and 1992–2022) is also presented in Table 5. During the period of 1992–2003, the forest area experienced the highest decrease by 4.41 % (38.00 km²) compared to the initial area. The decrease in forest area could be attributed to illegal logging, conversion of forests to agricultural or built-up land, and urban expansion. The waterbodies also decreased by 0.77 % (6.63 km²). The reduction in waterbodies could be due to drought, water mismanagement, and climate change. The decrease in waterbodies may impact water availability for domestic use and agricultural irrigation. In contrast, the agricultural land, barren land, and built-up areas increased by 2.95 % (25.46 km²), 1.09 % (9.41 km²), and 1.13 % (9.76 km²), respectively. The increase in agricultural land could be a result of agricultural expansion to meet the growing demands for food production and population growth. Meanwhile, the built-up area has increased possibly due to urban development, infrastructure construction and other construction projects to accommodate population and economic growth. Examining the LULC change model during the period of 2003–2022, a significant decrease of 14.89 % (128.31 km²) was observed in agricultural land. The decrease in agricultural land could be due to the conversion of agricultural land to built-up or other land types, shifting economic structure with increased industrial and service activities. Additionally, the barren land and forest areas decreased by 0.33 % (2.82 km²) and 1.23 % (10.57 km²) respectively. The reasons for the decrease in barren land might include climate change, unsustainable resource exploitation, and the expansion of other activities on barren land. Meanwhile, the built-up area continued to increase during the 2003–2022 period, reaching 16.28 % (140.32 km²) (Table 5). The increase in built-up areas could be a result of urban development, expansion of industrial zones, and other construction projects. Furthermore, in the period of 2003–2022, the waterbodies experienced a slight increase, with a total increase of 0.16 % (1.38 km²) (Table 5). The slight increase in waterbodies could be attributed to improved water resource management, environmental restoration efforts, and conservation measures.

Table 5
Таблица 5

The land use/land cover change analysis from 1992 to 2022 in Ha Nam province
 Анализ землепользования/изменения земельного покрова с 1992 по 2022 год в провинции Ханам

| Class | 1992–2003 | | 2003–2022 | | 1992–2022 | |
|-------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | Area (km ²) | % | Area (km ²) | % | Area (km ²) | % |
| Agricultural land | 25.46 | 2.95 | -128.31 | -14.89 | -102.85 | -11.93 |
| Barren land | 9.41 | 1.09 | -2.82 | -0.33 | 6.59 | 0.76 |
| Built-up | 9.76 | 1.13 | 140.32 | 16.28 | 150.08 | 17.41 |
| Forest | -38.00 | -4.41 | -10.57 | -1.23 | -48.57 | -5.64 |
| Waterbodies | -6.63 | -0.77 | 1.38 | 0.16 | -5.25 | -0.61 |

In general, over the past 30 years (1992–2022) in the study area, there have been significant changes in LULC. Fig. 4 and Table 5 show that the built-up area has continuously increased, with a total increase of 17.41 % (150.08 km²), and the highest increase occurred during the period of 2003–2022. There are several factors contributing to the expansion of built-up areas, with the main factors being population growth, urbanization, and urban planning policies [Waiyasuri, 2021; Singh et al., 2022]. The population growth during this period has led to an increasing demand for housing, driving the expansion and development of urban areas and residential areas in Ha Nam province [Niu et al., 2022].

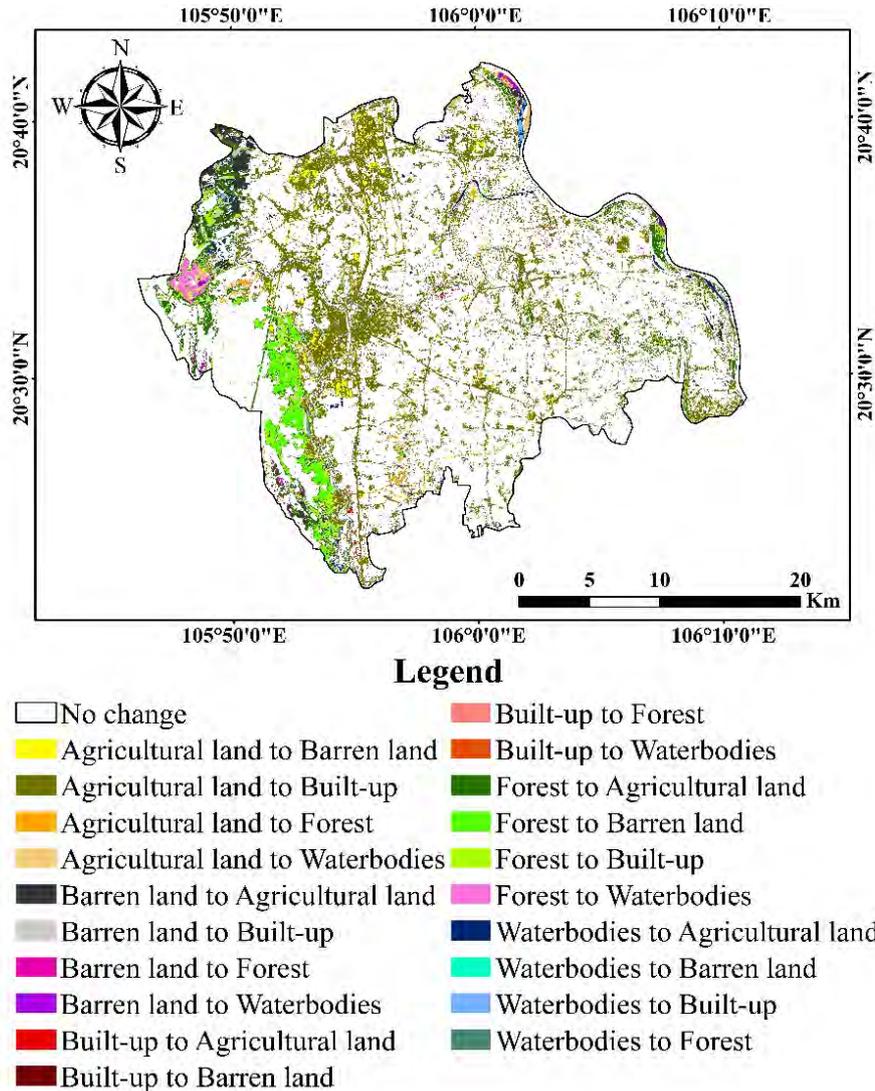


Fig. 4. Land use/land cover changes map for Ha Nam province from 1992 to 2022

Рис. 4. Карта изменений землепользования/земного покрова провинции Ханам с 1992 по 2022 год

Additionally, the process of urbanization and the expansion of urban areas have resulted in the development of new urban areas, the renovation and expansion of urban infrastructure, and the construction of urban areas outside existing urban centers [Wang et al., 2021]. During the period of 1992–2022, due to rapid urbanization, a significant portion of agricultural land, forests, and water bodies had to be converted for construction purposes [Getu Engida et al., 2021; Herrera Arango et al., 2022]. The total area of agricultural land, forest, and waterbodies decreased by 11.93 % (102.85 km²), 5.64 % (48.57 km²), and 0.61 % (5.25 km²), respectively (Table 5). Furthermore, previously, the main economic activity in the study area was rice cultivation, but water shortages for irrigation due to drought conditions led the local authorities to gradually shift towards an industrial economy. Meanwhile, the area of barren land increased by 0.76 % (6.59 km²) during the period of 1992–2022, mainly resulting from housing and industrial construction projects. Overall, the increase in built-up areas in Ha Nam province from 1992 to the present can be attributed to population growth, urbanization, and urban planning policies. The conversion of agricultural land, forests, and waterbodies for construction purposes was driven by the rapid urbanization process. Additionally, the shift from an agricultural to an industrial economy and the presence of abandoned land from housing and industrial projects also contributed to the expansion of built-up areas [Thekkeyil et al., 2023; Thien et al., 2023].

The NDVI and NDBI

The high *NDVI* index values indicate denser and healthier vegetation, while lower values correspond to sparse or no vegetation [Florim et al., 2021]. In 1992, the *NDVI* value ranged from -0.51 to $+0.65$ (Fig. 5a); in 2003, *NDVI* values ranged from -0.99 to $+0.97$ (Fig. 5b); and in 2022, *NDVI* values ranged from -0.17 to $+0.55$ (Fig. 5c). Significant spatial changes in vegetation cover and green area were observed between the lowest and highest *NDVI* values recorded in 2003, along with improved agricultural productivity in areas such as forests and vegetation cover (Figs. 5 a, b, c). The *NDBI* index is used to assess the level of urban development in the study area, the *NDBI* values increase as the built-up area increases and decreases when the built-up area decreases [Degerli, Çetin, 2022]. In 1992, the *NDBI* value ranged from -0.96 to $+0.78$ (Fig. 5d); in 2003, *NDBI* values ranged from -0.97 to $+0.98$ (Fig. 5e); and in 2022, the *NDBI* values ranged from -0.41 to $+0.31$ (Fig. 5f) The red areas in Figs. 5d, 5e, and 5f show minimal vegetation cover, such as built-up and barren land.

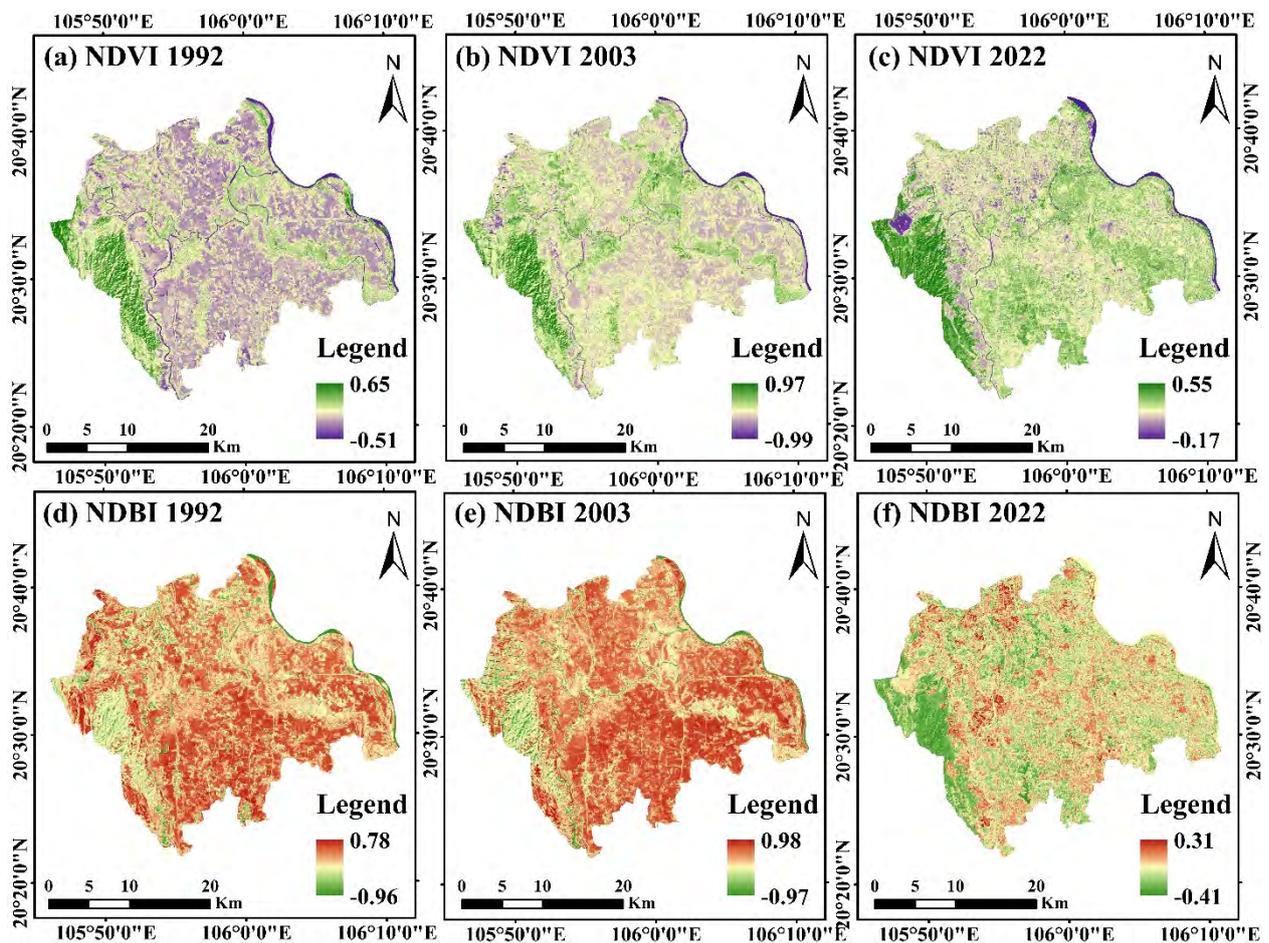


Fig. 5. NDVI and NDBI maps for Ha Nam province in 1992, 2003, and 2022
Рис. 5. Карты NDVI и NDBI провинции Ханам в 1992, 2003 и 2022 годах

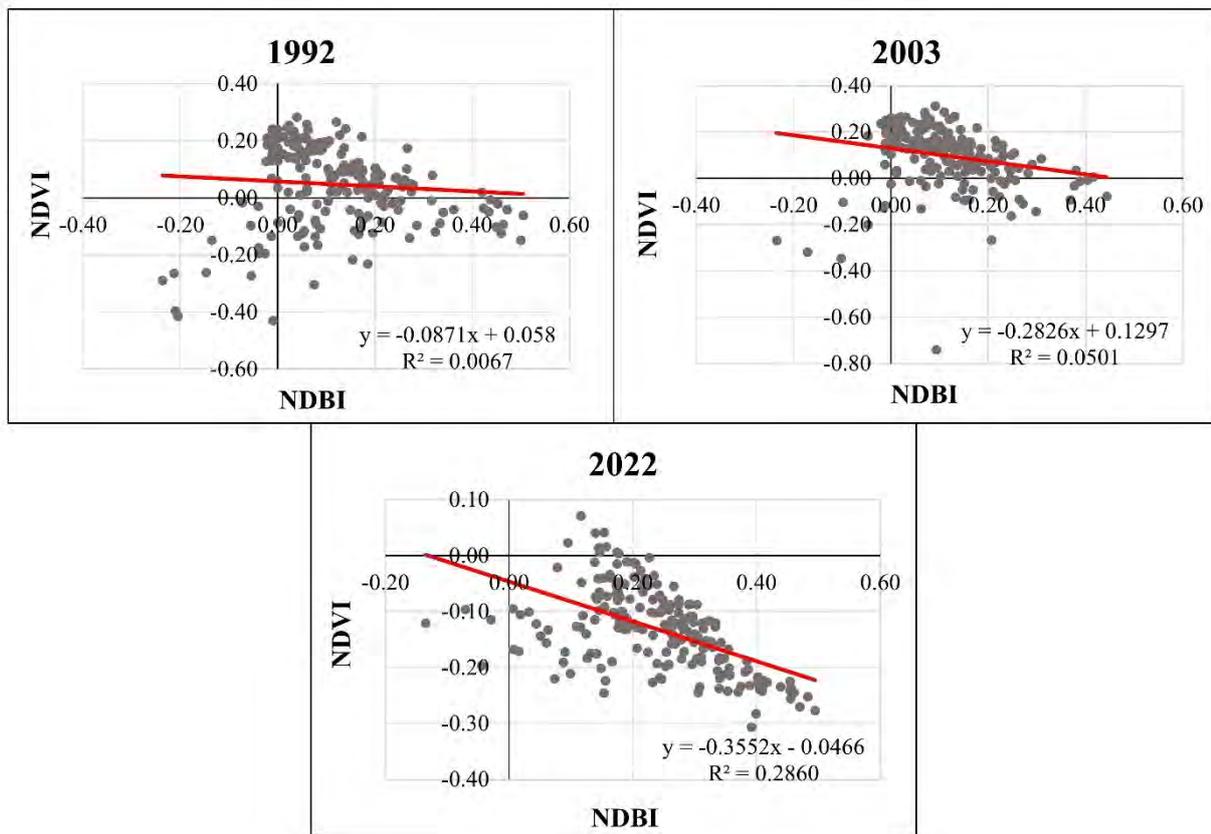


Fig. 6. Regression analyses between *NDVI* and *NDBI* in Ha Nam province
Рис. 6. Регрессионный анализ между *NDVI* и *NDBI* в провинции Ханам

A linear regression analysis was conducted to demonstrate the relationship between two indices (*NDVI* and *NDBI*) [Florim et al., 2021]. The changes in *NDBI* values related to land use were assessed by evaluating the variations in land use intensity within the LULC units through regression analysis (R^2) [Majeed et al., 2021]. Furthermore, a negative correlation between *NDVI* and *NDBI* was identified. Specifically, correlation coefficients of $R^2 = 0.0067$ for 1992, $R^2 = 0.0501$ for 2003, and $R^2 = 0.2860$ for 2022 were depicted in Fig. 6. As observed in Fig. 6, this illustrates the relationship between the vegetation index (*NDVI*) and the integrated component derived from *NDBI*. In addition, linear regression analysis shows that R^2 values have gradually increased, which indicates that urbanization has negatively affected vegetation covers. The regression analysis also revealed that the highest *NDBI* values corresponded to areas with the lowest *NDVI* values, and vice versa. This clearly indicates that the increase in built-up areas and barren land leads to a decrease in vegetation coverage.

Conclusion

The study highlights that the combined use of GIS and RS techniques provides valuable insights into LULC changes. Ha Nam province has undergone significant LULC changes from 1992 to 2022, the study area has experienced a decline in agricultural land, forest, and waterbodies classes, with area decreases of 11.93 %, 5.64 %, and 0.61 %, respectively. In addition, there has been a significant increase in the areas of built-up and barren land classes from 1992 to 2022, with a total increase of 17.41 % and 0.76 % respectively. These changes are primarily driven by rapid urbanization, leading to deforestation, and conversion of agricultural land. In general, the effects of urbanization, population growth, and climate change create negative trends in land use, which causes a number of medical, economic, and environmental problems for research area. The *NDVI* and *NDBI* indices were also employed to evaluate changes



in land cover characteristics, revealing a strong correlation between impervious surfaces and vegetation cover. The data also indicated that there are limited natural resources and significant environmental areas that authorities could designate as hotspots for conservation or mitigation. The study emphasizes the importance of understanding these changes for effective conservation and mitigation efforts, utilizing spatial-temporal analysis enabled by GIS and RS technologies. The findings have implications for future policies promoting sustainable land use practices in Ha Nam province.

References

- Aghsaei H., Dinan N.M., Moridi A., Asadolahi Z., Delavar M., Fohrer N., Wagner P.D. 2020. Effects of Dynamic Land Use/Land Cover Change on Water Resources and Sediment Yield in the Anzali Wetland Catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712: 136449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449>.
- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. In: Geological Survey Professional Paper, U.S. Government Printing Office. Washington DC: 1–28.
- Dash P., Sanders S.L., Parajuli P., Ouyang Y. 2023. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data in an Agricultural Watershed. *Remote Sensing*, 15(16): 4020. <https://doi.org/10.3390/rs15164020>.
- Degerli B., Çetin M. 2022. Evaluation from Rural to Urban Scale for the Effect of NDVI-NDBI Indices on Land Surface Temperature, in Samsun, Türkiye. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(12): 2446–2452. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i12.2446-2452.5535>.
- Florim I., Albert B., Shpejtim B. 2021. Measuring UHI Using Landsat 8 OLI and TIRS Data with NDVI and NDBI in Municipality of Prishtina. *Disaster Adv*, 14: 25–36.
- Getu Engida T., Nigussie T.A., Aneseyee A.B., Barnabas J. 2021. Land Use/Land Cover Change Impact on Hydrological Process in the Upper Baro Basin, Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021: 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/6617541>.
- Herrera Arango J., Senent-De Frutos J.A., Molina E.H. 2022. Murky Waters: The Impact of Privatizing Water Use on Environmental Degradation and the Exclusion of Local Communities in the Caribbean. *International Journal of Water Resources Development*, 38(1): 152–172. <https://doi.org/10.1080/07900627.2021.1931052>.
- Islami F.A., Tarigan S.D., Wahjunie E.D., Dasanto B.D. 2022. Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 950(1): 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012091>.
- Isma'il M., Zubairu S.M., Aliyu A., Ahmed M.H., Ibrahim S., Magaji A., Hassan I.M. 2023. Evaluating the Performance of Machine Learning Algorithms and Maximum Likelihood Classifier for Land-Use and Land-Cover Change Detection in Yola, Nigeria. *SLU Journal of Science and Technology*, 7(1): 97–115. <https://doi.org/10.56471/slujst.v7i.380>.
- Kumari M., Sarma K., Sharma R. 2019. Using Moran's I and GIS to Study the Spatial Pattern of Land Surface Temperature in Relation to Land Use/Cover Around a Thermal Power Plant in Singrauli District, Madhya Pradesh, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15: 100239. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100239>.
- Majeed M., Tariq A., Anwar M.M., Khan A.M., Arshad F., Mumtaz F., Farhan M., Zhang L., Zafar A., Aziz M., Abbasi S., Rahman G., Hussain S., Waheed M., Fatima K., Shaukat S. 2021. Monitoring of Land Use–Land Cover Change and Potential Causal Factors of Climate Change in Jhelum District, Punjab, Pakistan, Through GIS and Multi-Temporal Satellite Data. *Land*, 10(10): 1026. <https://doi.org/10.3390/land10101026>.
- Mehdi S.M., Pant N.C., Saini H.S., Mujtaba S.A.I., Pande P. 2016. Identification of Palaeochannel Configuration in the Saraswati River Basin in Parts of Haryana and Rajasthan, India, Through Digital Remote Sensing and GIS. *Episodes Journal of International Geoscience*, 39(1): 29–38. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2016/v39i1/89234>.

- Msofe N.K., Sheng L., Lyimo J. 2019. Land Use Change Trends and Their Driving Forces in the Kilombero Valley Floodplain, Southeastern Tanzania. *Sustainability*, 11(2): 505. <https://doi.org/10.3390/su11020505>.
- Niu X., Hu Y., Lei Z., Yan H., Ye J., Wang H. 2022. Temporal and Spatial Evolution Characteristics and Its Driving Mechanism of Land Use/Cover in Vietnam from 2000 to 2020. *Land*, 11(6): 920. <https://doi.org/10.3390/land11060920>.
- Pal S., Ziaul S.K. 2017. Detection of Land Use and Land Cover Change and Land Surface Temperature in English Bazar Urban Centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1): 125–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>.
- Phuong V.T., Thien B.B. 2023a. A Multi-Temporal Landsat Data Analysis for Land-Use/Land-Cover Change in the Northwest Mountains Region of Vietnam Using Remote Sensing Techniques. *Forum Geografic*, 22 (1): 54–66. <https://doi.org/10.5775/fg.2023.030.i>.
- Phuong V.T., Thien B.B. 2023b. Using Landsat Satellite Images to Detect Forest Cover Changes in the Northeast Region of Vietnam. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 16(1): 19–36. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.2>.
- Regasa M.S., Nones M., Adeba D. 2021. A Review on Land Use and Land Cover Change in Ethiopian Basins. *Land*, 10(6): 585. <https://doi.org/10.3390/land10060585>.
- Singh P., Sarkar Chaudhuri A., Verma P., Singh V.K., Meena S.R. 2022. Earth Observation Data Sets in Monitoring of Urbanization and Urban Heat Island of Delhi, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1): 1762–1779. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2097452>.
- Tariq A., Yan J., Mumtaz F., 2022. Land Change Modeler and CA-Markov Chain Analysis for Land Use Land Cover Change Using Satellite Data of Peshawar, Pakistan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128: 103286. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103286>.
- Thekkeyil A., George A., Abdurazak F., Kuriakose G., Nameer P.O., Abhilash P.C., Joseph S. 2023. Land Use Change in Rapidly Developing Economies – a Case Study on Land Use Intensification and Land Fallowing in Kochi, Kerala, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9): 1089. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11731-7>.
- Thien B.B., Huong D.T.V., Liem N.D. 2022. Assessment of Mangroves Forest Change from Satellite Images in Can Gio District, Ho Chi Minh City in Period of 1990-2020. In: *Proceeding of the 13th National Conference on Geography Science*, Hanoi, 133–140.
- Thien B.B., Phuong V.T. 2023. Using Landsat Satellite Imagery for Assessment and Monitoring of Long-Term Forest Cover Changes in Dak Nong Province, Vietnam. *Geographica Pannonica*, 27(1): 69–82. <https://doi.org/10.5937/gp27-41813>
- Thien B.B., Yachongtou B., Phuong V.T. 2023. Long-Term Monitoring of Forest Cover Change Resulting in Forest Loss in the Capital of Luang Prabang Province, Lao PDR. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(8): 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11548-4>.
- Vadrevu K., Heinimann A., Gutman G., Justice C. 2019. Remote Sensing of Land Use/Cover Changes in South and Southeast Asian Countries. *International Journal of Digital Earth*, 12(10): 1099–1102. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1654274>
- Verma P., Raghubanshi A., Srivastava P.K., Raghubanshi A.S. 2020. Appraisal of Kappa-Based Metrics and Disagreement Indices of Accuracy Assessment for Parametric and Nonparametric Techniques Used in LULC Classification and Change Detection. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 1045–1059. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00740-x>
- Wahla S.S., Kazmi J.H., Tariq A. 2023. Mapping and Monitoring of Spatio-Temporal Land Use and Land Cover Changes and Relationship with Normalized Satellite Indices and Driving Factors. *Geology, Ecology, and Landscapes*: 1–17. <https://doi.org/10.1080/24749508.2023.2187567>
- Waiyasuri K. 2021. Monitoring the Land Cover Changes in Mangrove Areas and Urbanization Using Normalized Difference Vegetation Index and Normalized Difference Built-Up Index in Krabi Estuary Wetland, Krabi province, Thailand. *Applied Environmental Research*, 43(3): 1–16. <https://doi.org/10.35762/AER.2021.43.3.1>
- Wang S., Bai X., Zhang X., Reis S., Chen D., Xu J., Gu B. 2021. Urbanization can Benefit Agricultural Production with Large-Scale Farming in China. *Nature Food*, 2(3): 183–191. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00228-6>



- Zadbagher E., Becek K., Berberoglu S. 2018. Modeling Land Use/Land Cover Change Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: Case Study of the Seyhan Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6877-y>
- Zheng Y., Tang L., Wang H. 2021. An Improved Approach for Monitoring Urban Built-Up Areas by Combining NPP-VIIRS Nighttime Light, NDVI, NDWI, and NDBI. *Journal of Cleaner Production*, 328: 129488. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129488>

Received September 18, 2023;
Revised October 24, 2023;
Accepted October 29, 2023

Поступила в редакцию 18.09.2023;
поступила после рецензирования 24.10.2023;
принята к публикации 29.10.2023

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

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Bui B. Thien, Master's student, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Буй Б. Тхиен, магистрант Института наук о Земле, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия



УДК 504.064.2

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-607-618

Методика картирования загрязнения почв военных полигонов со значительно измененным рельефом

Пантелеев Д.А., Базарский О.В., Кочетова Ж.Ю.

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А

E-mail: dmitryipantelev@mail.ru, arhangelskaya49@mail.ru, zk_vva@mail.ru

Аннотация. К экологически опасным последствиям военной деятельности, длительное время сохраняющимся в литосфере, относятся нарушение естественного рельефа и химическое загрязнение почв. Этой проблеме в нашей стране до настоящего времени уделялось недостаточное внимание по нескольким причинам. С одной стороны, отсутствовал запрос общества и ответственных органов власти на решение экологических проблем, вызванных военной деятельностью, с другой, – секретность военных баз, полигонов и недостаточное количество специалистов, имеющих возможность проводить систематические исследования и устранять их последствия на военных объектах. В статье предложена методика оценки и картирования состояния почв полигонов и мест ведения активных боевых действий, отличающаяся от известных тем, что в ней оценивается значительное изменение рельефа в результате взрывов и неравномерное химическое загрязнение почв, а также относительно масштабные территории, подвергшиеся изменениям. В основе разработанной методики лежит статистический анализ деградации рельефа полигона и химического загрязнения почв. Показана высокая теснота связи между количеством воронок от взрывов на единице площади исследуемой территории (пикселе) с уровнем трехмерного химического загрязнения почв. Методика апробирована на участке типичного военного полигона общего назначения в Центральном федеральном округе, для которого построена цифровая карта химического загрязнения.

Ключевые слова: военная экология, военные полигоны, деградация рельефа, загрязнение почв, картирование, цифровые карты, воронки от взрывов, тяжелые металлы

Для цитирования: Пантелеев Д.А., Базарский О.В., Кочетова Ж.Ю. 2023. Методика картирования загрязнения почв военных полигонов со значительно измененным рельефом. Региональные геосистемы, 47(4): 607–618. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-607-618

Methodology for Mapping Soil Contamination of Military Landfills with Significantly Altered Terrain

Dmitry A. Pantelev, Oleg V. Bazarsky, Zhanna Yu. Kochetova

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

E-mail: dmitryipantelev@mail.ru, arhangelskaya49@mail.ru, zk_vva@mail.ru

Abstract. The environmentally dangerous consequences of military activity, which can persist in the lithosphere for decades, include the violation of natural relief and chemical contamination of soils. Until now, insufficient attention has been paid to this problem in Russia for several reasons. On the one hand, there was no demand of society and responsible authorities to solve environmental problems caused by military activities. On the other hand, it is the secrecy of military bases, landfills and an insufficient number of specialists who have the opportunity to conduct systematic research and eliminate their consequences at closed military facilities. The article proposes a methodology for assessing and mapping the soil condition of



polygons and places of active hostilities. This technique differs from the known methods in that it evaluates a significant change in terrain as a result of explosions and uneven chemical contamination of soils, as well as large-scale territories. The developed methodology is based on a statistical analysis of the degradation of the landfill relief and its chemical contamination of soils. The pollution of the aviation part of the landfill is three-dimensional due to the depth of the craters, which determines a very high level of chemical contamination of soils. A high closeness of the relationship between the number of craters from explosions per unit area of the studied territory (pixel) and the level of three-dimensional chemical contamination of soils has been established. The technique was tested on the site of a typical general-purpose military training ground in the Central Federal District. According to the average total indicator of soil pollution in one averaged funnel and the density of funnels in each pixel, a digital map of soil degradation of the studied military training ground was built. The map shows the most polluted areas that need to be decommissioned and areas that can still be used for civilian purposes.

Keywords: military ecology, military ranges, terrain degradation, soil pollution, mapping, digital maps, blast craters, heavy metals

For citation: Panteleev D.A., Bazarsky O.V., Kochetova Zh.Yu. 2023. Methodology for Mapping of Soil Contamination of Military Landfills with Significantly Altered Terrain. *Regional geosystems*, 47(4): 607–618. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-607-618

Введение

Военная деятельность существенным образом затрагивает почвенные ресурсы [Трофимов и др., 2019]. Площадь территорий, принадлежащих военным ведомствам и не используемых для других целей в силу секретности и опасности объектов, по разным данным оценивается в 750 тыс. – 1,5 млн км². Под военные базы и формирования заняты значительные территории от общей площади различных стран (например, до 16,75 % в Белоруссии) [Кудельский и др., 1997]. В Западной Европе в военных целях используют от 1 до 3 % территории, еще более значительная часть ощущает на себе косвенное или временное воздействие со стороны вооруженных сил [Трофимов и др., 2014]. Во многих случаях это лесные массивы, плодородные земли и пастбища, изъятие которых из сферы промышленного и сельскохозяйственного производства отрицательно сказывается на общем экономическом потенциале государства и жизненном уровне населения.

Причина обострения военно-экологических проблем – создание оружия, способного причинять природе такой вред, который превышает ее возможности по самовосстановлению. XX и XXI века печально известны событиями, связанными с нанесением значительного экологического ущерба в ходе военных действий территориям многих государств. Достаточно вспомнить экологические последствия Великой Отечественной войны [Валеев, 2012], бомбардировки Хиросимы и Нагасаки [Пархитко, 2016; Трофимов и др., 2019], войны в Индокитае [Андреев, 2016], Персидском заливе [Манукян, 2009], бывшей Югославии [Новиков, 2011], Афганистане [Окимбеков, 2015], Ираке [Аль Сабунчи, Аль Сабунчи, 2009], Сирии [Kelley et al., 2015], военной операции на Украине [Василук, 2022]. Объединив потенциал науки, техники и экономики, современное общество направило огромную часть сил и средств на уничтожение противника и разрушение окружающей среды.

Новые типы взрывчатых веществ дают взрывы огромной мощности, пушки стреляют под большим углом и с большей дальностью, снаряды падают на землю, глубоко проникая в почву. Дальнобойность орудий увеличилась настолько, что они стали стрелять по невидимой цели. Неминуемое увеличение рассеивания снарядов приводит к стрельбе не сообразно целям, а сообразно площадям. В связи с изменением боевых порядков войск на смену разрывным бомбам гладкоствольных орудий пришли шрапнель и гранаты (артиллерийские, ручные, винтовочные и др.). Обычные фугасы дают огромное количество

осколков, что является дополнительным поражающим фактором, губящим не только врага, но и природу. Авиационные бомбы также имеют большое рассеивание и проникают в почву глубже, чем артиллерийские снаряды того же веса. Каждый кг взрывчатого вещества обычной бомбы вызывает разрушение экосистемы на площади 12,5 м². Размеры воронок, образуемых авиационными бомбами, зависят от глубины взрыва и состава пород в приповерхностной зоне. При взрыве бомбы мощностью 3 т в тротиловом эквиваленте размеры воронок в супесях и суглинках составляют 3 м в глубину и 25 м в диаметре, в вулканическом песке – 7 м в глубину и 20 м в диаметре, в торфах – 15 м в глубину и 5 м в диаметре [Кочетова и др., 2023]. В работе [Адушкин, Христофоров, 2004] представлены некоторые результаты исследований параметров воронок при крупномасштабных наземных взрывах, проведенных на различных испытательных полигонах. Мощность и плотность взрывов современных боеприпасов такова, что высокоточные удары по технической инфраструктуре приводят к значительным экологическим последствиям на масштабных территориях.

Загрязнение почв взрывчатыми веществами и составными компонентами топлив на производственных площадках, в зонах конфликтов и на военных полигонах является международной проблемой. Только в США тысячи военных объектов перечислены как загрязненные энергетическими соединениями [Martel et al., 2009]. Около 50 млн акров пострадали от бомбардировок и других учебных мероприятий. Еще большее число загрязненных участков существует в Европе и Азии [Kalderis et al., 2011]. Чрезвычайные ситуации в области общественного здравоохранения, тесно связанные с загрязнением прилегающих к полигонам территорий, вызвали требования местных граждан о принятии мер по восстановлению почв [Eriksson et al., 2004]. В течение последних двух десятилетий многочисленные организации эоактивистов вынудили военные ведомства в США, Канаде и многих европейских и азиатских странах выявлять места повышенного загрязнения и оценивать влияние военной деятельности на качество почв, подземных и поверхностных вод. Результаты проведенных исследований находятся в открытом доступе в Интернет. Этой проблеме начинают уделять внимание и в нашей стране [Смурыгин и др., 2019]. Есть разрозненные данные о содержании в почвах военных полигонов и аэродромов тяжелых металлов, нефтепродуктов, нитратного азота [Крюченко и др., 2015; Кочетова и др., 2017; Kochetova и др., 2018; Иванец и др., 2019]. В средствах массовой информации РФ появляется все больше откликов граждан на ухудшение экологической ситуации в районах действующих военных полигонов, о чем подробно рассказано в статье [Хусаинова, Чуйков, 2013].

Обширные территории и природные комплексы во всем мире подвержены деградации рельефа, загрязнены высокотоксичными веществами различного происхождения, уровень которых остается экологически опасным на протяжении десятков лет, что не позволяет их хозяйственное использование без дорогостоящих восстановительных работ и экологической реабилитации. Несмотря на это, до сих пор отсутствует единый подход к оценке экологической ситуации, учитывающий неравномерность вертикального и горизонтального загрязнения почв объектов военной деятельности и масштабы загрязненных земель.

Целью этой работы является создание экономической методики геохимического картирования военных полигонов и территорий ведения боевых действий с трехмерным загрязнением приповерхностной части литосферы и ее апробация на типичном военном полигоне общего назначения.

Объекты и методы исследования

Военный полигон общего назначения расположен в пригороде Воронежа. Общая площадь полигона составляет 300 га. Участок полигона с наибольшей деградацией рельефа предназначен для отработки применения авиационных средств поражения и занимает площадь около 36 га. Полигон расположен в междуречье рек Воронеж и Дон, в средней



его части проходит водораздел. Грунт полигона в воронках – мелкозернистый песок, характеризующийся низкой устойчивостью по склонам; на ненарушенных участках полигона – выщелоченный чернозем [Кочетова и др., 2022].

Отбор проб на ненарушенных ровных участках авиационной части полигона и на расстоянии ~11 км от антропогенных источников проводили в соответствии с требованиями ГОСТ методом конверта со сторонами 10 м [ГОСТ 17.4.4.02-2017, 2017]. В воронках загрязнение почв по высоте неоднородно и зависит в основном от природы и давности их образования [Пантелеев и др., 2022]. Поэтому в воронках отбирали девять проб: одну – со дна воронки, по четыре – с противоположных сторон середины высоты склона воронки и ее кромки. Точечные пробы смешивали в одну объединенную, которую анализировали на содержание 22 элементов в сертифицированной лаборатории на базе Воронежского государственного университета методом рентгеновской спектрометрии. Погрешность при определении химического состава проб в лаборатории оценивали согласно стандарту отрасли [ОСТ 41-08-212-04, 2004].

Для интегральной оценки уровня загрязнения почв полигона в точке пробоотбора рассчитывали суммарный показатель Z_c [СанПиН 2.1.3684-21, 2021]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{xi} - (n - 1), \quad (1)$$

где K_x – коэффициент концентрации (опасности химического загрязнения) i -того загрязняющего вещества – отношение его фактической концентрации к фоновой ($K_x = C_i/C_{фон}$), n – число загрязняющих веществ с $K_x > 1$. При $Z_c < 16$ уровень загрязнения почв считается допустимым; $16 \leq Z_c < 32$ – умеренно опасным; $32 \leq Z_c < 128$ – опасным; $Z_c \geq 128$ – чрезвычайно опасным. В этой работе для более точной классификации загрязненных зон полигона введен промежуточный ранг – очень опасный уровень ($64 \leq Z_c < 128$).

Деграцию рельефа на авиационном участке полигона исследовали фотографированием местности с высоты 1710 м; разрешение фотоаппарата 25 см. Обработку снимков проводили с применением специального программного обеспечения Agisoft Metashape Professional, которое позволяет измерять диаметр, глубину и количество воронок на единицу площади.

Статистический анализ деграции рельефа полигона проводили по коэффициенту опасности $K_{дi}$. Он определяется как соотношение измеренного по аэрофотоснимку диаметра i -той воронки D_i к фоновому значению диаметра природных мелкомасштабных неоднородностей $D_{фон} = 2$ м [Базарский и др., 2022]. По аналогии с коэффициентом опасности химического загрязнения в разработанной методике учитывали только те неровности рельефа, для которых $K_{д} > 1$.

Результаты и их обсуждение

Авиационную часть полигона разбивали на отдельные участки-пиксели, площадь которых зависит от плотности неоднородностей (воронок) и их среднего диаметра. Для авиационного полигона рекомендуемая площадь пикселя составляет 1 га. С помощью программы в каждом пикселе рассчитывали число воронок и анализировали их геометрические параметры. Проводили статистическую обработку результатов 362 измерений геометрических параметров воронок и строили таблицу коэффициентов опасности деграции воронок по мере их возрастания. Рассчитывали средневзвешенное значение (математическое ожидание величины), которое показывает наиболее вероятный диаметр воронки на исследуемой территории (D_{cp}). По результатам расчетов выделяли «эталонную» воронку полигона со средневзвешенным диаметром $D_{cp} = 12,2$ м. В ней отбирали пробы почвы по изложенной методике для проведения химического анализа. Установлены 15 элементов с $K_x > 1$, которые учитывали для дальнейших расчетов [Пантелеев и др., 2022]. Условно-естественные (фоновые) концентрации исследуемых металлов в почвах представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Условно-естественные концентрации металлов ($C_{фон}$, мг/кг)
Conditionally natural concentrations of metals ($C_{фон}$, mg/kg)

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Мет. | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ba |
| $C_{фон}$ | 2,5 | 0,45 | 41 | 7,2 | 202 | 3625 | 2,2 | 5,6 | 6,2 | 15 | 157 |
| Мет. | Ga | As | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Sn | Sb | Cs | Pb |
| $C_{ф}$ | 0,042 | 2,6 | 16 | 19 | 8,7 | 41 | 0,61 | 0,55 | 0,99 | 1,8 | 2,1 |
| курсивом выделены элементы с $K_x > 1$ | | | | | | | | | | | |

Фактические концентрации металлов в почве полигона имеют широкий разброс (могут отличаться в ~ 20 раз) и зависят от времени и причины образования воронок (авиационные, артиллерийские снаряды, утилизация боеприпасов). Надо отметить, что значительное превышение фоновой концентрации характерно для цезия, галлия, ниобия и скандия, которые применяются в военном деле, в том числе для производства различных сплавов в авиастроении, управляемых снарядов, вакуумных ламп для инфракрасной сигнализации и контроля, лазерных видеоискателей, указателей цели и др. Превышение ПДК зафиксировано по хromу во всех отобранных пробах (в 1,2–2,8 раза).

Для оценки зависимости химического загрязнения почв от деградации рельефа на полигоне рассчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена R_s , устанавливающий тесноту и направление связи между безразмерными коэффициентами K_x и K_d [Гмурман, 2004]:

$$R_s = 1 - 6 \frac{\sum_{i=1}^m d_i^2}{m^3 - m}, \quad (2)$$

где m – число рангов (градаций), на которые разбиты коэффициенты опасности K_d и K_x , d_i – разность математических ожиданий $M_{ид}$ и M_{ix} коэффициентов опасности в соответствующих рангах, вычисляемых по формулам:

$$M_{ид} = P_{ид} \cdot \langle K_{ид} \rangle, \quad (3)$$

$$M_{ix} = P_{ix} \cdot \langle K_{ix} \rangle, \quad (4)$$

$$d_i = |M_{ид} - M_{ix}|, \quad (5)$$

где $\langle K_{ix} \rangle$ и $\langle K_{ид} \rangle$ – средние значения коэффициентов опасности химического загрязнения и деградации почв в каждой градации; $P_i = n_i / N$ – повторяемость, равная отношению измерений n , попавших в каждую градацию, к общему числу измерений N .

Для репрезентативности коэффициента корреляции количество рангов m должно быть не менее пяти. Статическая значимость рассчитанного коэффициента R_s оценивается по t -критерию Стьюдента. При уровне значимости $p = 0,01$ и количеству проведенных измерений $n = 342$ критическое значение коэффициента составляет 0,39. Условно оценивали силу связи между признаками, считая значения $R_s \leq 0,39$ показателями слабой тесноты связи; $0,50 < R_s < 0,80$ – средней; $R_s \geq 0,80$ – высокой.

Вычисленный по формуле (2) коэффициент корреляции $R_s = 0,85$, т. е. между деградацией рельефа полигона и химическим загрязнением почв существует высокая теснота связи. Результаты статистических исследований показателей деградации рельефа и химического загрязнения почв приведены в табл. 2.

Математические ожидания коэффициентов опасности M по деградации и химическому загрязнению почв полигона приведены в последнем столбце табл. 1. Фактически M_x и M_d – это экологические риски химического загрязнения и деградации почв полигона в целом, которые рассчитываются по формуле:

$$M_d = \sum_{i=1}^5 P_{ид} \langle K_{ид} \rangle; \quad M_x = \sum_{i=1}^5 P_{ix} \langle K_{ix} \rangle. \quad (6)$$



Таблица 2
 Table 2

Статистические показатели деградации рельефа и химического загрязнения почв
 в каждом ранге и на полигоне в целом
 Statistical indicators of terrain degradation and chemical contamination of soils
 in each rank and at the landfill as a whole

| Вид деградации | Показатели деградации | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | <i>M</i> | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| Химическое загрязнение почв полигона | $\langle K_{ix} \rangle$ | 1,43 | 2,33 | 4,75 | 6,1 | 8,49 | 19 | |
| | P_{ix} | 0,333 | 0,2 | 0,2 | 0,067 | 0,2 | | |
| | M_{ix} | 0,478 | 0,466 | 0,992 | 0,409 | 1,698 | 4,02 | |
| Деградация рельефа полигона | $\langle K_{ид} \rangle$ | 2,7 | 5,4 | 8,3 | 9,9 | 11,8 | | |
| | $P_{ид}$ | 0,36 | 0,13 | 0,24 | 0,17 | 0,1 | | |
| | $M_{ид}$ | 0,97 | 0,7 | 2,0 | 1,69 | 1,18 | 6,54 | |
| | $M_{ид} - M_{ix}$ | | d_i | 0,492 | 0,234 | 1,008 | 1,281 | 0,518 |

Вычисляли совместный статистический коэффициент опасности химического загрязнения эталонной воронки с учетом тесноты связи признаков деградации полигона по формуле: $M_{xI} = M_x \cdot R_s = 4,02 \cdot 0,85 = 3,42$, что соответствует допустимому уровню загрязнения почв.

Статистическую химическую опасность загрязнения каждого пикселя полигона рассчитывали по формуле:

$$M_i = M_{ix} \cdot N_i,$$

где N_i – число неоднородностей (воронки) в i -том пикселе полигона.

Как следует из расчетов, экологический риск деградации рельефа больше, чем геохимический за счет значительной площади поверхности воронок, т. к. загрязнение приповерхностной части литосферы не двумерное, а трехмерное. Максимальные повторяемости P_i наблюдаются в первой градации, но за счет низких значений коэффициентов опасности риски относительно невысокие.

Статистическая оценка опасности деградации рельефа $M_{ид}$ больше, чем опасность химического загрязнения почв M_{ix} в 1,6 раза. Это свидетельствует о приоритете деградации рельефа при трехмерном разрушении почв. Если химическую опасность пересчитать по классической формуле (1), то $Z_c = 19 - 14 = 5$. Стандартный показатель химического загрязнения несколько выше, чем статистическая оценка химической деградации ($M_{ix} = 4,02$).

Ранговый коэффициент корреляции между деградацией рельефа полигона и химическим загрязнением почв $R_s = 0,85$, что для пяти выбранных градаций является значимой величиной. Таким образом, между плотностью воронок в пикселе и загрязнением почвы существует тесная прямая связь, что подтверждает возможность статистической оценки химического загрязнения территории полигона по оценке опасности химического загрязнения «эталонной» воронки.

Данные по числу воронок и химическому загрязнению в каждом пикселе для построения цифровой карты участка полигона представлены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, уровень химического загрязнения одного пикселя находится в рамках допустимого при числе воронок в нем менее 5.

Для цветовой передачи уровня химического загрязнения почв на карте выделено пять нормированных уровней загрязнения полигона (табл. 4).

Таблица 3
Table 3

Химическое загрязнение почв полигона в каждом пикселе
Chemical contamination of landfill soils in each pixel

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Номер пикселя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Количество воронок | 1 | 5 | 4 | 19 | 36 | 10 | 3 | 7 | 6 | 2 | 14 | 8 | 4 | 10 | 2 | 4 | 5 | 3 |
| M_{xi} | 3,42 | 17,1 | 13,7 | 65 | 123 | 34,2 | 10,3 | 24 | 20,5 | 6,8 | 47,9 | 27,4 | 13,7 | 34,2 | 6,8 | 13,7 | 17,1 | 10,3 |
| Номер пикселя | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
| Количество воронок | 7 | 8 | 9 | 6 | 11 | 14 | 8 | 11 | 19 | 10 | 7 | 8 | 12 | 10 | 23 | 27 | 20 | 9 |
| M_{xi} | 24 | 27,4 | 30,8 | 20,5 | 37,6 | 47,9 | 27,4 | 37,6 | 65 | 34,2 | 24 | 27,4 | 41 | 34,2 | 78,7 | 92,3 | 68,4 | 30,8 |

Таблица 4
Table 4

Зонирование авиационной части полигона по нормированным уровням опасности
Zoning of the aviation part of the landfill according to normalized hazard levels

| | | | | | |
|-------------------------------|------------|-----------|-----------|----------------|---------------------|
| Уровни опасности по Z_c | 0–16 | 16–32 | 32–64 | 64–128 | >128 |
| Цвет опасности | Синий | Зеленый | Оранжевый | Светло-красный | Красный |
| Уровень опасности по M_x | Допустимый | Умеренный | Опасный | Очень опасный | Чрезвычайно опасный |
| Повторяемость опасности P_j | 0,22 | 0,36 | 0,25 | 0,17 | – |

По расчетным данным построена цифровая карта загрязнения почвы для каждого пикселя с учетом числа воронок в нем (рис. 1).

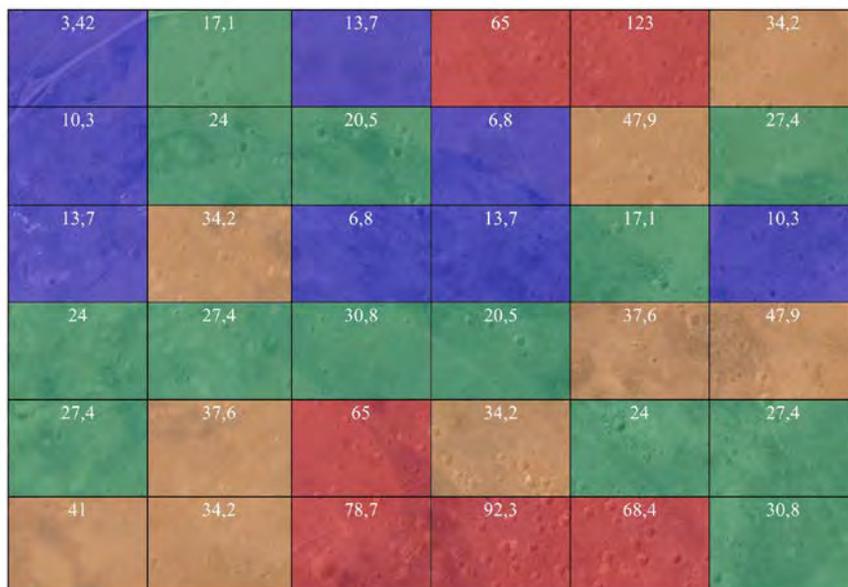


Рис. 1. Цифровая карта экологического загрязнения почвы авиационного полигона
Fig. 1. Digital map of environmental pollution of the soil of the aviation landfill

Для оценки экологической ситуации на всем полигоне одним числом в соответствии с уровнем загрязнения почв Z_c в зонах I–V, строили гистограмму (рис. 2). По оси абсцисс указаны уровни загрязнения почв и зоны загрязнения; по оси ординат – их повторяемости на полигоне. Загрязнение почв в градации рассчитывали, как среднеарифметическое значение Z_j (I–V), попавших в градацию. Повторяемость градации P_j определяли как отношение числа воронок в одной градации к общему числу воронок.

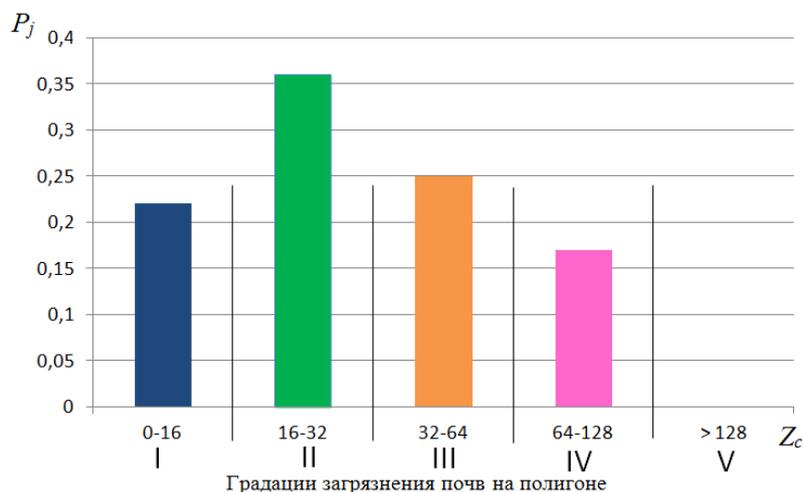


Рис. 2. Закон распределения загрязнения почвы полигона по выделенным градациям
 Fig. 2. The law of distribution of landfill soil pollution by selected gradations

Средневзвешенный уровень химического загрязнения почв полигона – математическое ожидание – рассчитывали по формуле:

$$\langle M \rangle = \sum_{j=1}^5 (P_j \langle K_j \rangle) = 36,5. \quad (6)$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{\langle M \rangle} = \sqrt{\sum_{j=1}^5 P_j (\langle M \rangle - \langle M_j \rangle)^2} = 22. \quad (7)$$

Вариабельность загрязнения почв на полигоне $\varepsilon = 60,3 \%$.

Интегральное загрязнение почв полигона соответствует уровню «опасное», что связано с трехмерностью загрязнения приповерхностной части литосферы. Значительная вариабельность загрязнения почв связана с неравным размещением целей на авиационном полигоне.

Заключение

1. Осуществлен статистический анализ уровня деградации рельефа и химического загрязнения почв полигона. Показано, что статистическая оценка опасности деградации рельефа больше, чем опасность химического загрязнения почв в 1,6 раза. Это свидетельствует о приоритете деградации рельефа при трехмерном разрушении почв.

2. Загрязнение авиационной части полигона трехмерное за счет глубины воронок, что определяет очень высокий уровень его геохимического загрязнения $\langle M \rangle = 36,5$, при коэффициенте вариации $\varepsilon = 60,3 \%$.

3. Доказана высокая теснота связи между деградацией рельефа и химическим загрязнением полигона ($R_s = 0,85$). Зная средний показатель загрязнения «эталонной воронки» и плотность воронок на единице площади, возможно построить цифровую карту

загрязнения почв полигона. На карте показаны загрязнение почвы в каждом пикселе, которые необходимо выводить из эксплуатации, и участки, которые еще возможно использовать в военных целях.

4. Дифференциальная карта загрязнения зон полигона и оценка загрязнения всей территории в целом позволяют разработать оптимальную стратегию его эксплуатации. Так для пикселей с $\langle M \rangle \geq 64$ площадь заполнения территории воронками приближается к 50 %.

С учетом низкой устойчивости песчаных склонов воронок и расположения полигона на водоразделе рек Дон и Воронеж с уклонами порядка 1° за счет ветровой эрозии и осадков, высокой плотности воронок в некоторых пикселях вероятно начало образования овражно-балочной системы со значительным ее химическим загрязнением. При этом происходят необратимые изменения рельефа полигона, т. е. такие пиксели территории полигона необходимо выводить из эксплуатации и консервировать, проводить реабилитацию территории для дальнейшего использования.

Список источников

- Гмурман В.Е. 2004. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва, Высшая школа, 479 с.
- ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа (введен в действие Приказом Росстандарта от 17.04.2018 N 202-ст). Электронный ресурс. URL: http://tunadzor.ru/upload/doc/departments/277/m_gost_17.4.4.02-2017.pdf (дата обращения: 3 августа 2023).
- Валеев М.Н. 2012. Международное экологическое право. Международно-правовая охрана окружающей среды во время международных конфликтов. Институт экономики и права Ивана Кушнера. Электронный ресурс. URL: <https://be5.biz/pravo/m008/11.html> (дата обращения: 5 февраля 2023).
- Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Пантелеев Д.А. 2023. Экология почв военных полигонов. Воронеж, Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 184 с.
- Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Базарский О.В. 2022. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. Москва, ИНФРА-М, 266 с.
- ОСТ 41-08-212-04. 2004. Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Нормы погрешности при определении химического состава минерального сырья и классификация методик лабораторного анализа по точности результатов. Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», 23 с.
- СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»: постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3. Электронный ресурс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_376166/ (дата обращения: 10 апреля 2021).
- Трофимов В.Т., Хачинская Н.Д., Цуканова Л.А., Юров Н.Н., Королев В.А., Григорьева И.Ю., Харькина М.А. 2014. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза. Москва, Академическая наука–Геомаркетинг, 566 с.

Список литературы

- Адушкин В.В., Христофоров Б.Д. 2004. Воронки наземных крупномасштабных взрывов. Физика горения и взрыва, 40(6): 71–75.



- Андреев В.Г. 2016. Вторая индокитайская война как техногенная экологическая катастрофа. Вестник академии военных наук, 2(15): 53–60.
- Базарский О.В., Пантелеев Д.А., Кочетова Ж.Ю. 2022. Геоэкологическая модель для прогнозирования деградации и восстановления рельефа военных полигонов. Региональные геосистемы, 46(1):119–131. <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-119-131>.
- Василюк А. 2022. Экологические последствия российско-украинской войны. Экология и право, 85: 4–15.
- Иванец М.О., Григорьева О.В., Саидов А.Г. 2019. Анализ экологической обстановки на объектах Минобороны России в Арктической зоне. Военная мысль, 4: 73–80.
- Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Маслова Н.В. 2017. Мониторинг содержания нефтепродуктов и азота в грунтах экологически опасного объекта и прилегающих к нему территорий. Успехи современного естествознания, 10: 83–89.
- Крюченко Н.О., Жовинский Э.Я., Панаит Э.В., Андриевская Е.А. 2015. Цинк и ртуть в почвах и растениях техногенно загрязненных территорий (на примере Яворовского военного полигона и территории завода «Радикал»). ScienceRise, 7(1(12)): 18–23. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.47226>.
- Кудельский А.В., Стародубова А.П., Феденя В.М., Бурак В.М. 1997. Экология территории бывших военных баз. ЛПГАСФЕРА, 7: 153–166.
- Манукян Д.А. 2009. Вопросы безопасности региона Персидского залива. Вестник Санкт-Петербургского университета. Политология. Международные отношения, 4: 160–168.
- Новиков С.С. 2011. Экологические и правовые аспекты бомбардировок Югославии в 1999 г. Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2: 136–139.
- Окимбеков У.В. 2015. Демографические и экологические проблемы современного Афганистана. Ислам на Ближнем и Среднем Востоке, 9: 75–82.
- Пантелеев Д.А., Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В. 2022. Оценка загрязнения почв металлами на военном полигоне «Погоново» (г. Воронеж). В кн.: Экологические проблемы продовольственной безопасности (EPFS 2022). Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 21–22 февраля 2022. Воронеж, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I: 61–65.
- Пархитко Н.П. 2016. Хиросима и Нагасаки: преступление, которого можно было избежать. Вестник МГИМО-Университета, 4(49): 79–87.
- Аль Сабунчи А.М.А., Аль Сабунчи А. 2009. Эколого-гигиенические проблемы Ирака. Вестник Российского государственного медицинского университета, 1: 71–73.
- Смурыгин А.В., Бакин Э.Н., Асеев В.А. 2019. Особенности экологического обеспечения в Вооруженных Силах Российской Федерации. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы, 1(10): 393–395.
- Трофимов В.Т., Харькина М.А., Жигалин А.Д., Барабошкина Т.А. 2019. Техногенная трансформация экологических функций абиотических сфер Земли под влиянием военной деятельности. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 1: 3–13.
- Хусаинова Р.З., Чуйков Ю.С. 2013. Проблемы экологической безопасности и безопасности персонала и населения при утилизации непригодных к использованию боеприпасов. Астраханский вестник экологического образования, 2(24): 156–169.
- Eriksson J., Frankki S., Shchukarev A., Skyllberg U. 2004. Binding of 2,4,6-Trinitrotoluene, Aniline, and Nitrobenzene to Dissolved and Particulate Soil Organic Matter. Environmental Science and Technology, 38(11): 3074–3080. <https://doi.org/10.1021/es035015m>.
- Kalderis D., Juhasz A.L., Woopathy R., Comfort S. 2011. Soils Contaminated with Explosives: Environmental Fate and Evaluation of State-of-the-Art Remediation Processes (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, 83(7): 1407–1484. <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-10-01-05>.
- Kelley C.P., Mohtadi Sh., Cane M.A., Seager R., Kushnir Y. 2015. Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 112(11): 3241–3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>.

- Kochetova Zh.Yu., Bazarskii O.V., Maslova N.V. 2018. Filtration of Heavy Metals in Soils with Different Degrees of Urbanization and Technogenic Load. *Russian Journal of General Chemistry*, 88(13): 2990–2996. <https://doi.org/10.1134/S1070363218130261>
- Martel R., Mailloux M., Gabriel U., Lefebvre R., Thiboutot S., Ampleman G. 2009. Behavior of Energetic Materials in Ground Water at an Anti-Tank Range. *Journal of Environmental Quality*, 38: 75–92. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0606>

References

- Adushkin V.V., Khristoforov B.D. 2004. Voronki nazemnykh krupnomasshtabnykh vzryvov [Large-Scale Ground Explosion Craters]. *Fizika gorennya i vzryva*, 40(6): 71–75.
- Andreev V.G. 2016. Vtoraya indokitayskaya vojna kak tekhnogennaya ekologicheskaya katastrofa [The Second Indochina War as a Man-Made Environmental Disaster]. *Vestnik akademii voyennykh nauk*, 2(15): 53–60.
- Bazarsky O.V., Panteleev D.A., Kochetova Zh.Yu. 2022. Geoecological Model for Predicting Degradation and Restoration of the Relief of Military Landfills. *Regional Geosystems*, 46(1): 119–131 (in Russian). <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-119-131>.
- Vasilyuk A. 2022. Ekologicheskiye posledstviya rossiysko-ukrainskoy vojny [Environmental Consequences of the Russian-Ukrainian War]. *Ekologiya i pravo*, 85: 4–15.
- Ivanets M., Grigoryeva O., Saidov A. 2019. Analysis of the Environmental Situation at Mod Facilities in the Arctic. *Military Thought*, 4: 73–80 (in Russian).
- Kochetova Zh.Yu., Bazarskiy O.V., Maslova N.V. 2017. Content Monitoring of Oil And Nitrogen in the Soil of Ecologically Dangerous Object and the Surrounding Regions. *Advances in current natural sciences*, 10: 83–89 (in Russian).
- Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Panait E.V., Andrievskaya E.A. 2015. Tsink i rtut v pochvakh i rasteniyakh tekhnogenno zagryaznennykh territoriy (na primere Yavorovskogo voyennogo poligona i territorii zavoda «Radikal») [Zinc and Mercury in Soils and Plants of Technogenically Contaminated Areas (Using the Example of the Yavorovsky Military Training Ground and the Territory of the Radikal Plant)]. *ScienceRise*, 7(1(12)): 18–23. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.47226>.
- Kudelsky A.V., Starodubova A.P., Fedenya V., Burak V.M. 1997. Ecology of Territories of Former Military Bases. *LITASFERA*, 7: 153–166 (in Russian).
- Manukyan D.A. 2009. Security Challenges of the Persian Gulf Region. *Vestnik of Saint Petersburg University. Political Science. International Relations*, 4: 160–168 (in Russian).
- Novikov S.S. 2011. Ekologicheskiye i pravovyye aspekty bombardirovok Yugoslavii v 1999 g. [Environmental and Legal Aspects of the Bombing of Yugoslavia in 1999]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2: 136–139.
- Okimbekov U.V. 2015. Demographic and Ecological Problems of the Contemporary Afghanistan. *Islam na Blizhnem i Srednem Vostoke*, 9: 75–82 (in Russian).
- Panteleev D.A., Kochetova Zh.Yu., Bazarsky O.V. 2022. Assessment of Soil Contamination with Metals at the Military Training Ground «Pogonovo» (Voronezh). In: *Environmental Issues in Food Security (EPFS 2022)*. Proceedings of the international scientific and practical conference, Voronezh, 21–22 February 2022. Voronezh, Publ. Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I: 61–65 (in Russian).
- Parkhitko N.P. 2016. Nuclear Strike Against Hiroshima and Nagasaki. War Crime, that Could be Avoided. *MGIMO Review of International Relations*, 4(49): 79–87 (in Russian).
- Al Sabounchi A.M.A., Al Sabounchi A. 2009. Environmental Pollution in Iraq. *Bulletin of RSMU*, 1: 71–73 (in Russian).
- Smurygin A.V., Bakin E.N., Aseev V.A. 2019. Osobennosti ekologicheskogo obespecheniya v Vooruzhennykh Silakh Rossiyskoy Federatsii [Features of Environmental Support in the Armed Forces of the Russian Federation]. *Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy*, 1(10): 393–395.
- Trofimov V.T., Kharkina M.A., Zhigalin A.D., Baraboshkina T.A. 2019. Technogenic Transformation of the Ecological Functions of Abiotic Spheres of the Earth Under the Influence of Military Activities. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 1: 3–13 (in Russian).



- Husainova R., Chuikov Yu.S. 2013. The Problems of Environmental Safety and Security of Personnel and the Public when Disposing of an Unserviceable Ammunition. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, 2(24): 156–169 (in Russian).
- Eriksson J., Frankki S., Shchukarev A., Skyllberg U. 2004. Binding of 2,4,6-Trinitrotoluene, Aniline, and Nitrobenzene to Dissolved and Particulate Soil Organic Matter. *Environmental Science and Technology*, 38(11): 3074–3080. <https://doi.org/10.1021/es035015m>.
- Kalderis D., Juhasz A.L., Boopathy R., Comfort S. 2011. Soils Contaminated with Explosives: Environmental Fate and Evaluation of State-of-the-Art Remediation Processes (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 83(7): 1407–1484. <https://doi.org/10.1351/PAC-REP-10-01-05>.
- Kelley C.P., Mohtadi Sh., Cane M.A., Seager R., Kushnir Y. 2015. Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(11): 3241–3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>.
- Kochetova Zh.Yu., Bazarskii O.V., Maslova N.V. 2018. Filtration of Heavy Metals in Soils with Different Degrees of Urbanization and Technogenic Load. *Russian Journal of General Chemistry*, 88 (13): 2990–2996. <https://doi.org/10.1134/S1070363218130261>
- Martel R., Mailloux M., Gabriel U., Lefebvre R., Thiboutot S., Ampleman G. 2009. Behavior of Energetic Materials in Ground Water at an Anti-Tank Range. *Journal of Environmental Quality*, 38: 75–92. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0606>

*Поступила в редакцию 29.10.2023;
поступила после рецензирования 22.11.2023;
принята к публикации 05.12.2023*

*Received October 29, 2023;
Revised November 22, 2023;
Accepted December 05, 2023*

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

Пантелеев Дмитрий Александрович, старший помощник начальника отдела Центра организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Базарский Олег Владимирович, профессор кафедры физики и химии, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Кочетова Жанна Юрьевна, доцент кафедры эксплуатации и ремонта САТОП, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry A. Panteleev, Senior Assistant to the Head of the Department of the Center for the Organization of Scientific Work and Training of Scientific and Pedagogical Personnel of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Oleg V. Bazarskij, Professor of the Department of Physics and Chemistry of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia

Zhanna Yu. Kochetova, Associate Professor of the Department of Operation and Repair of SATOP of the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, Russia



УДК 504.054

DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629

К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода

¹Боровлев А.Э., ¹Корнилов А.Г., ²Киселев В.В., ¹Зеленская Е.Я.

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

²Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, 116а

E-mail: borovlev@bsu.edu.ru, kornilov@bsu.edu.ru, kiselev_v@bsu.edu.ru, zelenskaya@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье приведены возможности получения распределения мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе Белгорода путем картографирования результатов пересчета суммарной концентрации взвешенных частиц (PM10 и PM2.5), определяемой на стационарных постах наблюдений с использованием усредненного коэффициента. В городе мониторинг указанных частиц не проводится. Обоснована целесообразность оценки содержания PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе на основе результатов сводных расчетов загрязнения атмосферы. В целях оптимизации их проведения обосновано включение в базу параметров выбросов мелкодисперсных частиц только приоритетных источников выбросов промышленной пыли. Предложено для проведения оценки риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды выбросами мелкодисперсных частиц использовать нейросетевые корректирующие модели, позволяющие обеспечить большую сходимость результатов расчетных и измеренных концентраций загрязняющих веществ.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, твердые загрязняющие вещества, промышленная пыль, PM10, PM2.5, мониторинг сводные расчеты загрязнения атмосферного контроль выбросов

Для цитирования: Боровлев А.Э., Корнилов А.Г., Киселев В.В., Зеленская Е.Я. 2023. К вопросу оценки пылевого загрязнения атмосферного воздуха Белгорода. Региональные геосистемы, 47(4): 619–629. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629

On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod

¹Andrey E. Borovlev, ¹Andrey G. Kornilov,
²Vladislav V. Kiselev, ¹Evgeniya Ya. Zelenskaya

¹Belgorod State University, Russia,
85 Pobeda St, Belgorod 308015, Russia

²Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116a Sadovaya St, Belgorod 308023, Russia

E-mail: borovlev@bsu.edu.ru, kornilov@bsu.edu.ru, kiselev_v@bsu.edu.ru, zelenskaya@bsu.edu.ru

Abstract. The possibility of obtaining the distribution of fine particles in the atmospheric air of the city of Belgorod, where monitoring of these particles is not carried out, is shown on the basis of mapping the results of recalculation of the total concentrations of suspended particles determined at stationary observation posts in concentrations of PM10 and PM2.5 using an average coefficient. The expediency of estimating the content of PM10 and PM2.5 in atmospheric air based on the results of summary calculations of atmospheric pollution is substantiated. In order to optimize their implementation, it is justified to include only priority sources of industrial dust emissions in the database of fine particle



emission parameters. It is proposed to use neural network correction models to assess public health risk in case of the urban environment technogenic pollution by fine particles emissions. These models allow ensuring greater convergence of the results of calculated and measured pollutants concentrations.

Keywords: atmospheric air pollution, solid pollutants, industrial dust, PM10, PM2.5, monitoring summary calculations of atmospheric pollution emission control

For citation: Borovlev A.E., Kornilov A.G., Kiselev V.V., Zelenskaya E.Ya. 2023. On the Issue of Assessing the Dust Pollution of the Atmospheric Air of the City of Belgorod. Regional geosystems, 47(4): 619–629. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-619-629

Введение

Атмосферный воздух крупных промышленных центров подвержен высокому антропогенному воздействию пылевых выбросов. Особо опасны для здоровья человека присутствующие в их составе мелкодисперсные частицы (МДЧ) – фракции частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM10) и 2.5 мкм (PM2.5), что подтверждается данными Всемирной организации здравоохранения [Health risks ..., 2006]. В настоящее время во многих промышленных центрах страны, в том числе и в Белгороде, мониторинг МДЧ не проводится, а на стационарных постах наблюдений за загрязнением атмосферы (ПНЗ) определяется сумма всех взвешенных частиц. В случае отсутствия мониторинга для получения данных пространственного распределения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенного промышленного центра используются сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха (далее – сводные расчеты), и на основе их результатов дается оценка риска для здоровья населения [Об утверждении правил ..., 2019].

При этом существующая практика показывает, что для повышения качества оценки целесообразно сочетать анализ данных о реальных концентрациях загрязняющих веществ (ЗВ), получаемых на стационарных и передвижных постах наблюдения, и комплексных расчетов загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов [Волкодаева, Гусева, 2019; Карелин и др., 2019; Said et al., 2020].

Однако вопросы оценки пространственного распределения МДЧ в атмосферном воздухе промышленных центров, где отсутствует их мониторинг, а также риска для здоровья населения при техногенном воздействии выбросов PM10 и PM2.5 методически еще недостаточно проработаны [Боровлев, 2020б; Borovlev, Zelenskaya, 2018].

Таким образом, целью работы является на примере такого промышленного центра, как Белгород, используя данные мониторинга пылевого загрязнения, выполнить оценку загрязнения атмосферного воздуха МДЧ и разработать предложения по организации проведения работ по оценке риска для здоровья населения.

Объекты и методы исследования

Для исследования процессов распределения МДЧ в атмосферном воздухе нами использованы данные территориальной сети Росгидромета с четырех ПНЗ Белгорода.

На ПНЗ Белгорода, согласно [РД 52.04.186-89, 2006], с периодичностью шесть дней в неделю и три раза в сутки производится отбор проб воздуха с определением основных приоритетных газообразных ЗВ (азота оксиды, аммиак, водород хлорид, сера диоксид, углерода оксид, фенол, формальдегид), а также суммарной концентрации взвешенных частиц.

ПНЗ города можно весьма условно классифицировать как:

- «промышленные» – ПНЗ № 8, расположенный в восточной части Белгорода на расстоянии 60 м от границы Восточного промышленного узла;
- «городские» – ПНЗ № 6 и ПНЗ № 7, расположенные в жилых районах в центре города;

– «автотранспортные» – ПНЗ № 3, расположенный в центральной части города на расстоянии 46 м от автомагистрали по проспекту Богдана Хмельницкого.

При этом ПНЗ № 3 и ПНЗ № 6 находятся в зоне влияния пылевых выбросов двух предприятий промышленности строительных материалов, а именно:

– ЗАО «Белгородский цемент» (расстояние от границ производства цемента до ПНЗ № 3 составляет 1650 м);

– АО «Стройматериалы» (расстояние от границ производства извести до ПНЗ № 6 составляет 2160 м).

Выброс твердых ЗВ в воздушный бассейн Белгорода (по усредненным данным за последние пять лет) составляет около тысячи тонн в год. Максимальный вред в пылевое загрязнение атмосферы Белгорода (97,3 %) вносят предприятия промышленности.

Для оценки риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды выбросами мелкодисперсных частиц суммарная концентрация взвешенных частиц (total suspended particulate (TSP)) пересчитывается в концентрации PM10 и PM2.5 с использованием усредненного коэффициента равного 0,55 для PM10 и 0,26 – для PM2.5 [Онищенко и др., 2002; Ревич и др., 2004]. При этом необходимо учитывать, что для каждой территории указанные коэффициенты нуждаются в подтверждении в конкретных условиях происхождения пылевого загрязнения атмосферы [Рапопорт и др., 2012; Said, 2017]. Поэтому нами для получения распределения МДЧ в атмосферном воздухе использованы предложенные для Белгорода в работе [Боровлев, 2020а] коэффициенты пересчета: 0,57 – для PM10 и 0,28 – для PM2.5.

Расчетные значения приземных концентраций ЗВ получены на основе базы данных параметров выбросов Белгорода, включающей 2726 источников 56 промышленных предприятий, в т. ч. 1378 стационарных источников пылевых выбросов. Для расчета рассеивания выбросов была использована программа «ЭКОЛОГ» (версия 4.6), разработанная фирмой «Интеграл» на основе методики [Методы расчетов ..., 2017] (далее – МРРВ-2017).

Результаты и их обсуждение

Для того, чтобы оценить загрязнения атмосферного воздуха МДЧ нами рассчитаны среднегодовые приземные концентрации PM10 и PM2.5 на основе данных мониторинга за 2022 год по четырем ПНЗ Белгорода с использованием указанных в работе [Боровлев, 2020а] коэффициентов пересчета из TSP для PM10 и PM2.5. На основе полученных результатов (табл. 1) выполнено картографирование загрязнения атмосферы МДЧ с использованием *ArcGIS* (рис. 1, 2).

Таблица 1

Table 1

Расчетные приземные среднегодовые концентрации мелкодисперсных частиц на стационарных постах наблюдений за загрязнением атмосферы Белгорода
Calculated surface average annual concentrations of fine particles at stationary observation posts for atmospheric pollution in the city of Belgorod

| Номер поста | Суммарная концентрация взвешенных частиц (TSP), мг/м ³ | Мелкодисперсные частицы | | | |
|-------------|---|-------------------------|----------|-------------------|----------|
| | | PM10 | | PM2.5 | |
| | | мг/м ³ | Доли ПДК | мг/м ³ | Доли ПДК |
| 3 | 0,173 | 0,099 | 2,46 | 0,048 | 1,93 |
| 6 | 0,129 | 0,073 | 1,84 | 0,036 | 1,44 |
| 7 | 0,117 | 0,067 | 1,67 | 0,033 | 1,31 |
| 8 | 0,123 | 0,070 | 1,75 | 0,034 | 1,38 |

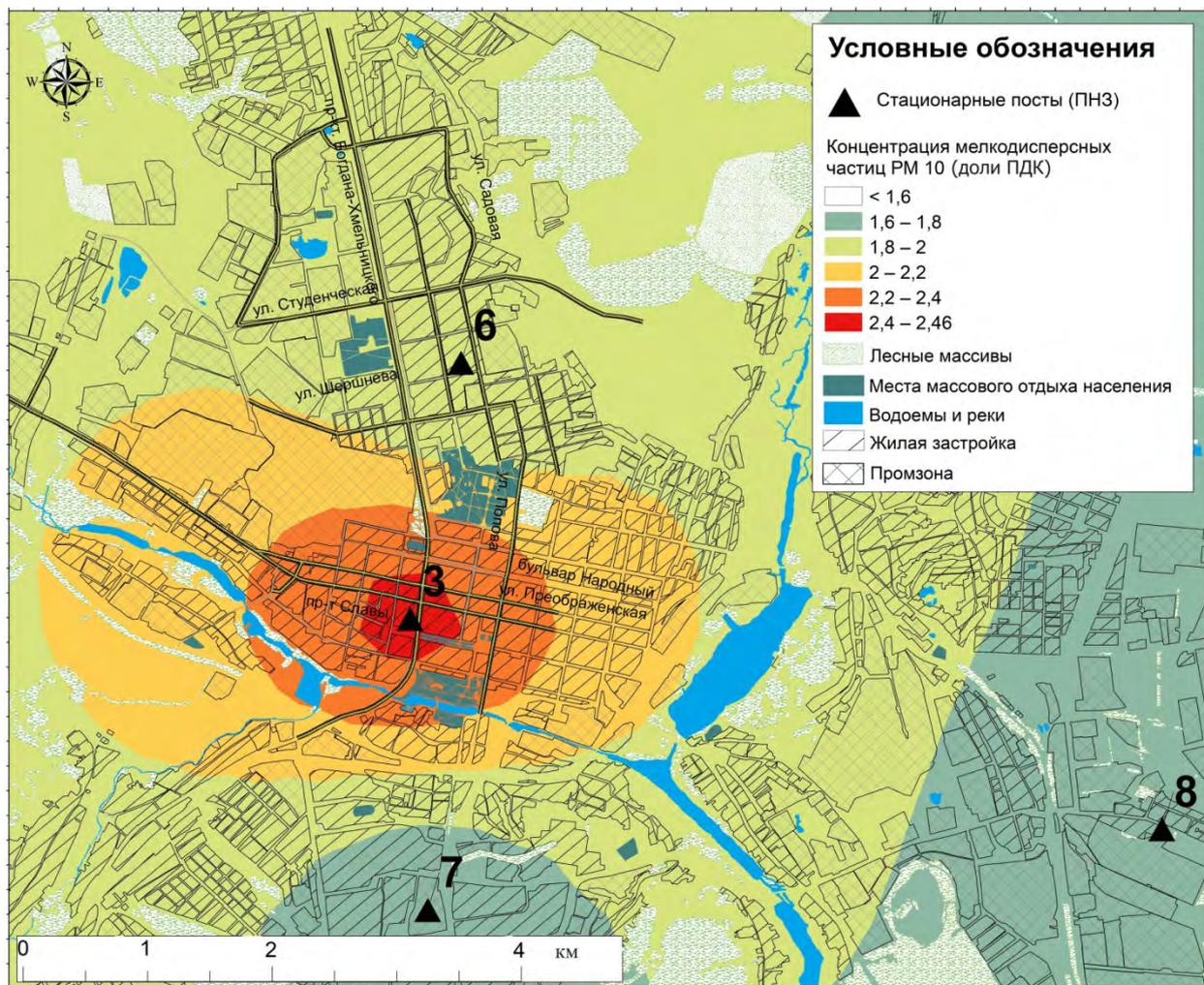


Рис. 1. Распределение среднегодовых приземных концентраций PM10 в атмосферном воздухе Белгорода
Fig. 1. Distribution of average annual surface concentrations of PM10 in the atmospheric air of the city of Belgorod

Исходя из анализа полученных результатов можно утверждать, что превышения среднегодовых ПДК МДЧ наблюдаются на территории жилой застройки по PM10 в 1,6–2,4 раза, а по PM2.5 – в 1,3–1,9 раза. В большей степени загрязнению воздушной среды МДЧ подвержены территории массовых мест отдыха населения Белгорода, к которым предъявляются повышенные требования к качеству атмосферного воздуха (0,8 ПДК). Так показатель ПДК PM10 был превышен на территории парка Победы и набережной реки Везелки в 3 раза, а ПДК PM2.5 – в 2,3 раза.

Превышения величин ПДК МДЧ можно рассматривать как завышенные, т. к. они получены на основе данных на ПНЗ Белгорода, где практикуется трехкратный ручной отбор проб воздуха. Поэтому в дальнейшем для оценки содержания МДЧ в атмосферном воздухе целесообразно использовать расчетную методику МРРВ-2017, предусматривающую для населенных пунктов проведение сводных расчетов. Для этого требуется выполнить инвентаризацию выбросов МДЧ с использованием методики [ГОСТ Р 56929-2016]. Так данные инвентаризации выбросов МДЧ, включающей наиболее крупные источники выбросов PM10, были положены в основу разработки программы управления качеством атмосферного воздуха в городе Дели (Индия) [Gargava et al., 2014].

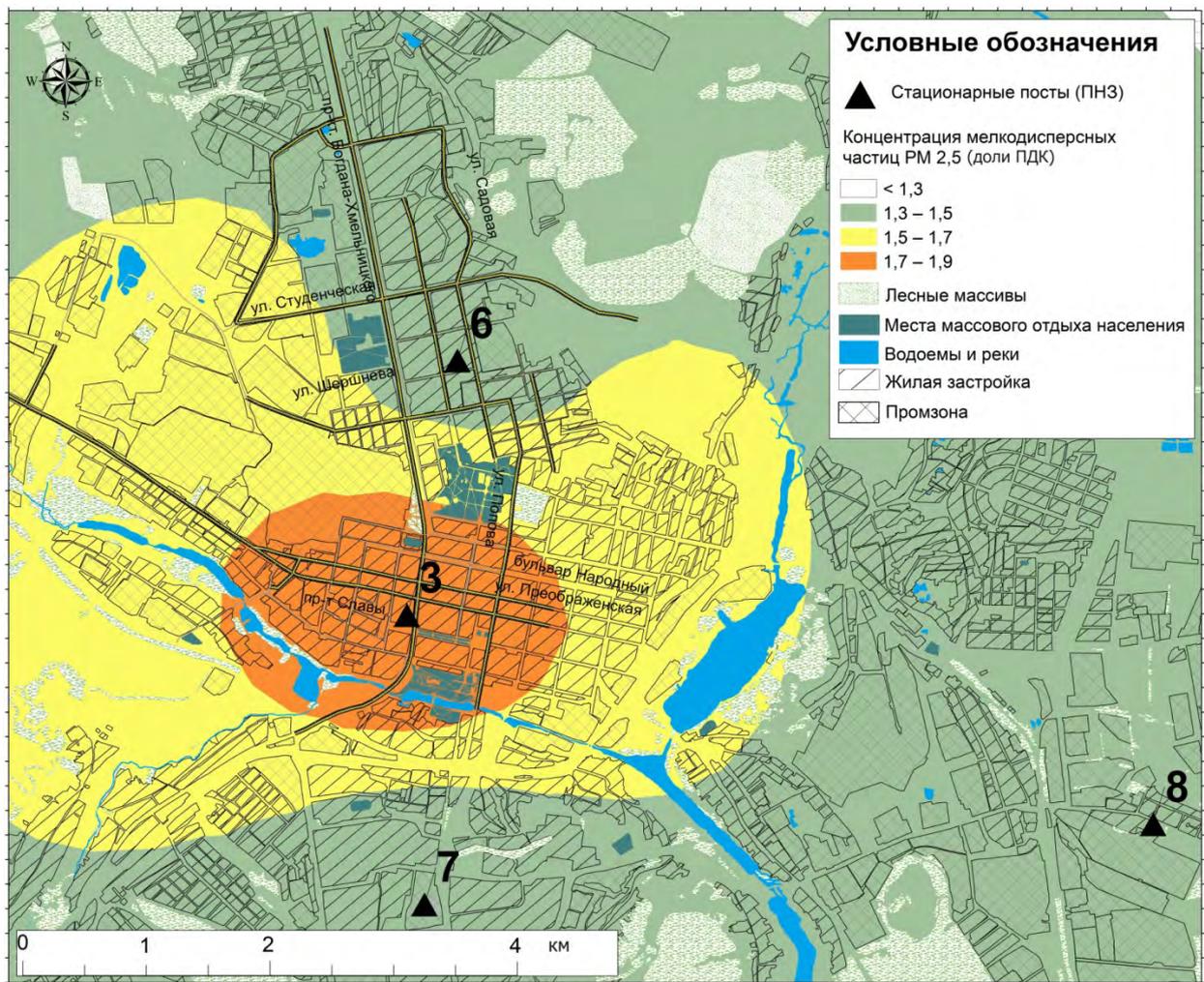


Рис. 2. Распределение среднегодовых концентраций РМ2.5 в атмосферном воздухе Белгорода

Fig. 2. Distribution of average annual surface concentrations of PM2.5 in the atmospheric air of the city of Belgorod

В целях оптимизации проведения сводных расчетов нами определен перечень крупных источников выбросов промышленной пыли Белгорода, наиболее загрязняющих атмосферный воздух МДЧ (табл. 2). Указанный перечень разработан на основе анализа литературных данных о дисперсном составе пыли [Атлас промышленных ..., 1981], а также результатов расчетов рассеивания выбросов твердых ЗВ. Указанные расчеты выполнены для определения источников выбросов, формирующих максимальную разовую приземную концентрацию ЗВ более 0,1 ПДК на границе ближайшей жилой зоны и (или) территорий, к которым предъявляются повышенные требования к качеству атмосферного воздуха (0,8 ПДК). Для их выполнения использована ПДК взвешенных веществ, равная $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Так в табл. 2 из 56 предприятий, выбрасывающих в атмосферу твердые ЗВ, представлены источники выбросов только четырех промышленных предприятий. Указанные источники выбрасывают в атмосферный воздух пыль, образующуюся при работе основного технологического оборудования предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности (вращающаяся печь, сушильный барабан, узлы выгрузки и пересыпки, упаковочные машины, мельница помола, электродуговая печь и т. п.). Согласно [Атлас промышленных ..., 1981] твердые частицы,



содержащиеся в выбросах указанных источников, в основном относятся к мелкодисперсным. Их вклад в загрязнение воздушного бассейна Белгорода твердыми частицами составляет 51,2 % от суммы всех твердых ЗВ, поступающих в атмосферу от стационарных источников. Из них на предприятия промышленности строительных материалов приходится более половины объема выбросов твердых ЗВ в атмосферный воздух (50,9 %), в т. ч. на высокие источники – 41,2 %, из которых преимущественно и выбрасываются МДЧ. Наибольшее количество источников, представленных в табл. 2 (23 из 35), расположено на промышленной площадке ЗАО «Белгородский цемент».

Таблица 2
Table 2

Перечень приоритетных источников выбросов промышленной пыли Белгорода, наиболее загрязняющих атмосферный воздух мелкодисперсными частицами
The list of priority sources of industrial dust emissions in Belgorod, making the greatest contribution to atmospheric air pollution by fine particles

| Номер источника выбросов | Выброс твердых ЗВ, т/г | Вклад источника в суммарный выброс твердых ЗВ, % | Количество источников выбросов (в зависимости от высоты устья источника), шт. | | | |
|---|------------------------|--|---|-----------------|-------------------|------------------|
| | | | Наземные (до 2 м) | Низкие (2–10 м) | Средние (10–50 м) | Высокие (> 50 м) |
| ЗАО «Белгородский цемент» | | | | | | |
| 1, 2, 3, 4, 5, 6 | 311,27 | 29,2 | – | – | – | 6 |
| 12, 13, 19, 21–24, 27–32, 46, 35, 37, 39, 55, 56, 82–84 | 94,858 | 8,9 | – | – | 17 | – |
| Итого по предприятию: | 406,128 | 38,1 | – | – | 17 | 6 |
| АО «Стройматериалы» | | | | | | |
| 1 | 128,24 | 12,0 | – | – | – | 1 |
| 3, 4, 14, 15 | 1,91 | 0,2 | – | – | 4 | – |
| Итого по предприятию: | 130,15 | 12,2 | – | – | 4 | 1 |
| АО «Белгородасбестоцемент» | | | | | | |
| 39–42 | 6,36 | 0,6 | – | – | 4 | – |
| Итого по предприятию: | 6,36 | 0,6 | – | – | 4 | – |
| ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ» (промышленная площадка по проспекту Б. Хмельницкого) | | | | | | |
| 25, 27, 1000 | 3,005 | 0,3 | – | – | 3 | – |
| Итого по предприятию: | 3,005 | 0,3 | – | – | 3 | – |
| Итого по 4-м предприятиям | 545,643 | 51,2 | – | – | 28 | 7 |

Таким образом, для оптимизации проведения сводных расчетов в базу параметров выбросов МДЧ из общего количества источников пылевых выбросов (1378 ед.) целесообразно включить только 35 источников четырех промышленных предприятий (ЗАО «Белгородский цемент», АО «Стройматериалы», АО «Белгородасбестоцемент», ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ» (промышленная площадка по проспекту Богдана Хмельницкого)).

Для проведения сводных расчетов с учетом фоновых концентраций МДЧ нами также определены их величины (табл. 3) на основании данных территориального органа Росгидромета с использованием указанных в работе [Боровлев, 2020а] коэффициентов пересчета из TSP для PM10 и PM2.5. При этом, фоновые концентрации PM10 и PM2.5 рассчитаны только для стационарных постов (№№ 3, 6), которые находятся в зоне влияния выбросов четырех вышеуказанных промышленных предприятий.

Таблица 3
Table 3Фоновые концентрации PM10 и PM2.5 на стационарных постах Белгорода
Background concentrations of RM10 and PM2.5 at stationary posts in the city of Belgorod

| Номер поста | Фоновые концентрации, мг/м ³ | | | | | |
|-------------|---|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | Максимальная разовая | | | Среднегодовая | | |
| | TSP | PM10 | PM2.5 | TSP | PM10 | PM2.5 |
| 3 | 0,251 | 0,1431 | 0,0703 | 0,1378 | 0,0785 | 0,0386 |
| 6 | 0,177 | 0,1009 | 0,0496 | 0,1068 | 0,0609 | 0,0299 |

В дальнейшем при проведении оценки риска для здоровья населения целесообразно использовать методы искусственного интеллекта, позволяющие обеспечить большую сходимость результатов расчетов и измерений.

В настоящее время разработаны нейросетевые корректирующие модели, способные повысить точность расчетов приземных концентраций по сравнению с МРРВ-2017 в несколько раз (в зависимости от вида примеси – от 4 до 19 раз). Для коррекции используются метеоданные и репрезентативная выборка расчетных и экспериментально измеренных значений ЗВ на автоматических станциях контроля. При коррекции из массива данных замеров исключаются измерения в периоды штиля и слабого ветра до 0,5 м/с. Для дальнейшего анализа из оставшегося массива отбираются измерения, выполненные при направлениях ветра, соответствующих переносу ЗВ с территории промышленного узла [Новикова и др., 2019; Новикова и др., 2020а, б].

Поскольку в Белгороде на ПНЗ практикуется ручной отбор проб воздуха, то для построения нейросетевых корректирующих моделей коррекции результатов расчетов рассеивания выбросов МДЧ предлагается использовать геоинформационную аналитическую систему «Эко-город» (ГИАС «Эко-город»), где предусматривается конвертация необходимых метеоданных и результатов измерений из форматов АИС Росгидромета [Чепелев, Боровлев, 2011].

Заключение

На основании проведенного исследования авторами сделаны следующие выводы:

1. Анализ распределения содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе Белгорода, полученного на основе картографирования результатов пересчета суммарной концентрации взвешенных частиц, определяемой на стационарных постах наблюдений, в значении PM10 и PM2.5 с использованием усредненного коэффициента, показывает, что превышения среднегодовых ПДК наблюдаются на всей территории жилой застройки по PM10 в 1,6–2,4 раза, а по PM2.5 – в 1,3–1,9 раза. Величины превышений ПДК МДЧ можно рассматривать как завышенные, т. к. они получены на основе данных мониторинга, при котором практикуется трехкратный ручной отбор проб воздуха. Поэтому в дальнейшем для оценки содержания МДЧ в атмосферном воздухе целесообразно использовать расчетную методику МРРВ-2017, предусматривающую для населенных пунктов проведение сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.



2. Для оптимизации проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха предложено в базу параметров выбросов мелкодисперсных частиц из общего количества источников пылевых выбросов в количестве 1378 шт. включить только приоритетные источники выбросов промышленной пыли Белгорода (35 источников четырех промышленных предприятий: ЗАО «Белгородский цемент», АО «Стройматериалы», АО «Белгородасбестоцемент», ООО «Белэнергомаш-БЗЭМ»).

3. Для оценки риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды выбросами мелкодисперсных частиц целесообразно использовать нейросетевые корректирующие модели, позволяющие обеспечить большую сходимость результатов расчетных и измеренных концентраций загрязняющих веществ.

Список источников

- Атлас промышленных пылей. Ч II. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. 1981. М., ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 39 с.
- ГОСТ Р 56929-2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха. 2019. М., Стандартинформ, 24 с.
- Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Приказом Минприроды РФ от 06.06.2017 г. № 273). Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456074826?ysclid=loond8flh406440570> (дата обращения 29.06.2023).
- Об утверждении правил проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29.11.2019 № 813. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564067734?ysclid=looneeyhof132708382> (дата обращения 30.06.2023).
- РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (в ред. РД 52.04.667-2005). 2006. М., Росгидромет, 556 с.
- Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. 2004. Экологическая эпидемиология. М., Академия, 384 с.

Список литературы

- Боровлев А.Э. 2020а. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилой зоны Белгорода. Региональные геосистемы, 44(1): 97–103. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103>.
- Боровлев А.Э. 2020б. Проблемные вопросы оценки риска здоровью населения Белгородской области на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Управление городом: теория и практика, 4(38): 53–56.
- Волкодаева М.В., Гусева В.А. 2019. О легитимности методов наблюдений и корректности предоставления информации о состоянии окружающей среды. Вестник науки, 2(8(17)): 21–27.
- Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. 2019. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья. Гигиена и санитария, 98(1): 82–86. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86>.
- Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р., Кремлева Э.Ш., Валиев В.С., Габдрахманова Г.Н., Кузнецова О.Н. 2019. Использование нейросетевых технологий для зонирования территории например г. Казани. Вестник Технологического университета, 22(5): 128–131.
- Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р., Кузнецова О.Н. 2020а. Использование интеллектуальных расчетных методов для повышения точности результатов расчетного мониторинга основных компонентов выбросов г. Нижнекамска (сообщение 1). Вестник Технологического университета, 23(9): 89–92.

- Новикова С.В., Тунакова Ю.А., Шагидуллин А.Р., Кузнецова О.Н. 2020б. Использование интеллектуальных расчетных методов для повышения точности результатов расчетного мониторинга основных компонентов выбросов г. Нижнекамска (сообщение 2). Вестник Технологического университета, 23(9): 96–99.
- Онищенко Г.Г., Новиков С.М., Рахманин Ю.А., Авалиани С.Л., Буштуева К.А. 2002. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., НИИ ЭЧ и ГОС, 408 с.
- Рапопорт О.А., Копылов И.Д., Рудой Г.Н. 2012. О нормировании выбросов мелкодисперсных частиц. Экология производства, 8: 38–43.
- Чепелев О.А., Боровлев А.Э. 2011. Опыт создания специализированной геоинформационной системы для решения задач обработки данных экологического мониторинга на муниципальном уровне. Экологические системы и приборы, 9: 52–56.
- Borovlev A.E., Zelenskaya E.Ya. 2018. Use of the Air Pollution Summary Calculations for Industrial Emission Regulation in the City of Belgorod. Biogeosystem Technique, 5(2): 149–158. <https://doi.org/10.13187/bgt.2018.2.149>
- Gargava P., Chow J.C., Watson J.G., Lowenthal D.H. 2014. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India. Aerosol and Air Quality Research, 14(5): 1515–1526. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.02.0047>
- Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. 2006. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 113 p.
- Said M. 2017. Analysing Temporal Trends in the Ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ in the UK. Aerosol and Air Quality Research, 1: 34–48. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.02.0081>.
- Said M., Mayfield M., Coca D., Mihaylova L., Osammor O. 2020. Analysis of Air Pollution in Urban Areas with Airviro Dispersion Model – A Case Study in the City of Sheffield, United Kingdom" Atmosphere, 11(3): 285. <https://doi.org/10.3390/atmos11030285>.

References

- Borovlev A.E. 2020a. Investigations of Fine Particles Concentrations in the Atmospheric Air of Residential Areas of the City of Belgorod. Regional Geosystems, 44(1): 97–103 (in Russian). <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103>
- Borovlev A.E. 2020b. Problematic Issues of Health Risk Assessment in the Belgorod Region Based on Summary Calculations of Air Pollution. Upravleniye gorodom: teoriya i praktika, 4(38): 53–56 (in Russian).
- Volkodaeva M.V., Guseva V.A. 2019. O legitimnosti metodov nablyudeniya i korrektnosti predstavleniya informatsii o sostoyanii okruzhayushchey sredy [On the Legitimacy of Observation Methods and the Correctness of Providing Information about the State of the Environment]. Vestnik nauki, 8(17): 21–27.
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Volkodaeva M.V., Yeregin G.B. 2019. The Improvement of Approaches to the Assessment of Effects of the Anthropogenic Air Pollution on the Population in Order to Management the Risk for Health. Hygiene and Sanitation, 98(1): 82–86. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-82-86>.
- Novikova S.V., Tunakova Yu.A., Shagidullin A.R., Kremleva E.Sh., Valiev V.S., Gabdrakhmanova G.N., Kuznetsova O.N. 2019. Using Neural Network Technologies for Territory Zoning, Exemplified by Kazan, Russia. Herald of Technological University, 22(5): 128–131 (in Russian).
- Novikova S.V., Tunakova Yu.A., Shagidullin A.R., Kuznetsova O.N. 2020. The Harnessing of Intelligent Calculation Methods to Increase the Accuracy of Calculated Monitoring of the Main Emission Components of Nizhnekamsk (Message 1). Herald of Technological University, 23(9): 89–92 (in Russian).
- Novikova S.V., Tunakova Yu.A., Shagidullin A.R., Kuznetsova O.N. 2020. The Harnessing of Intelligent Calculation Methods to Increase the Accuracy of Calculated Monitoring of the Main Emission Components of Nizhnekamsk (Message 2). Herald of Technological University, 23(9): 96–99 (in Russian).
- Onishchenko G.G., Novikov S.M., Rakhmanin Yu.A., Avaliani S.L., Bushtueva K.A. 2002. Osnovy otsenki riska dlya zdorovia naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv.



- zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu [Fundamentals of Risk Assessment for Public Health Under the Influence of Chemicals Polluting the Environment]. Moscow, Publ. Research Institute of EC and State, 408 p.
- Rapoport O.A., Kopylov I.D., Rudoy G.N. 2012. O normirovanii vybrosov melkdispersnykh chastits [On the Regulation of Emissions of Fine Particles]. *Ekologiya proizvodstva*, 8: 38–43.
- Chepelev O.A., Borovlev A.E. 2011. Experience in Creating a Specialized Geoinformation System for Solving the Tasks of Processing Environmental Monitoring Data at the Municipal Level. *Ecological Systems and Devices*, 9: 52–56 (in Russian).
- Borovlev A.E., Zelenskaya E.Ya. 2018. Use of the Air Pollution Summary Calculations for Industrial Emission Regulation in the City of Belgorod. *Biogeosystem Technique*, 5(2): 149–158. <https://doi.org/10.13187/bgt.2018.2.149>.
- Gargava P., Chow J.C., Watson J.G., Lowenthal D.H. 2014. Speciated PM 10 Emission Inventory for Delhi, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 14(5): 1515–1526. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.02.0047>.
- Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. 2006. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 113 p.
- Said M. 2017. Analysing Temporal Trends in the Ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ in the UK. *Aerosol and Air Quality Research*, 1: 34–48. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.02.0081>.
- Said M., Mayfield M., Coca D., Mihaylova L., Osammor O. 2020. Analysis of Air Pollution in Urban Areas with Airviro Dispersion Model – A Case Study in the City of Sheffield, United Kingdom" *Atmosphere*, 11 (3): 285. <https://doi.org/10.3390/atmos11030285>.

*Поступила в редакцию 29.09.2023;
поступила после рецензирования 29.10.2023;
принята к публикации 09.11.2023*

*Received September 29, 2023;
Revised October 29, 2023;
Accepted November 09, 2023*

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

Боровлев Андрей Эдуардович, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey E. Borovlev, Candidate of Geographical Sciences, Docent of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of the Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Корнилов Андрей Геннадьевич, доктор географических наук, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Andrey G. Kornilov, Post-graduate Student of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Киселев Владислав Викторович, кандидат географических наук, преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Vladislav V. Kiselev, Candidate of Geographical Sciences, Lecturer of the Department of Natural Sciences, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia



Зеленская Евгения Яковлевна, кандидат географических наук, инженер отдела нормирования источников загрязнения воздуха Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

Evgeniya Ya. Zelenskaya, Candidate of Geographical Sciences, Engineer of the Department of Standardization of Air Pollution Sources of the Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia



УДК 911.5/9 + 334.024 + 332.012.2
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-4-630-642

Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах

¹Позаченюк Е.А., ¹Мурава-Середи А.В., ²Максимова В.Н., ²Шестакова Л.И.,
^{3,4}Вишнякова С.П., ¹Калинчук И.В.

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Россия, 295007, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4

²Южно-Уральский государственный университет,
Россия, 454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, 76

³Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Россия, 125167, Москва, просп. Ленинградский, 49/2

⁴АНО ВО «Международный независимый эколого-политологический университет»,
Россия, 117105, Москва, Варшавское шоссе, 23

E-mail: pozachenyuk@gmail.com; av.muravasereda@gmail.com; valmaksimova@mail.ru;
shestakovali@susu.ru; svetkiseleva@yandex.ru; ir_vasi@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению феномена трансграничности с исследованием границ и структуры трансграничного пространства. Показано, что феномен трансграничности по обе стороны от государственной границы формирует зоны взаимодействия с господством природных, экономических, социокультурных, этнических, экологических, геоэкологических, инновационно-технологических и иных процессов. Трансграничные процессы при определенной зрелости трансграничного региона могут господствовать в регионе. Предложена типизация процессов, протекающих в трансграничных регионах, а также индикатор наличия функционирующего трансграничного региона, признаки пограничности градиента трансграничного процесса, процессов, протекающих в трансграничных регионах, в том числе для когерентных процессов, дана классификация границ. При этом предлагается выделять границы трансграничных регионов по изменению градиента трансграничного процесса до минимального (часто нулевого) значения. Показано, что первично в естественном трансграничном регионе формируется условно одновременно несколько процессов, и его границы – полиструктурные. Приводится типизация границ трансграничных регионов. Рассмотрено формирование типов структур трансграничного пространства, обосновывается выделение аппликативных ядер трансграничности. Аппликативные ядра трансграничности могут увеличивать потенциал приграничья, а могут его уменьшать. На примере Челябинской области как части трансграничного региона Казахстан – Российская Федерация впервые выделены аппликативные ядра трансграничности. Предложенный подход целесообразно использовать применительно к решению задач повышения экологической безопасности и рациональности природопользования. Предложены параметры для картирования с последующим выявлением границ и ядер трансграничных процессов.

Ключевые слова: трансграничность, трансграничные регионы, трансграничное пространство, границы, аппликативные ядра трансграничности

Для цитирования: Позаченюк Е.А., Мурава-Середи А.В., Максимова В.Н., Шестакова Л.И., Вишнякова С.П., Калинчук И.В. 2023. Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах. Региональные геосистемы, 47(4): 630–642. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-630-642

Ensuring Ecological Safety and Rational Use of Nature in Transboundary Regions

¹Ekaterina A. Pozachenyuk, ¹Aurika V. Murava-Sereda, ²Valentina N. Maksimova,
²Lyudmila I. Shestakova, ^{3,4}Svetlana P. Vishnyakova, ¹Irina V. Kalinchuk

¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University,
4 Academician Vernadsky Ave., Simferopol 295007, Russia;

²South Ural State University,
76 Lenina Pr, Chelyabinsk 454080, Russia

³Financial University under the Government of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Pr, Moscow 125167,

⁴International Independent University of Environmental and Political Science,
23 Warsaw highway, Moscow, 117105, Russia

Email: pozachenyuk@gmail.com; av.muravasereda@gmail.com; valmaksimova@mail.ru;
shestakovali@susu.ru; svetkiseleva@yandex.ru; ir_vasi@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the phenomenon of transborderness with the study of the boundaries and structure of transboundary space. It is shown that the phenomenon of transborderness on both sides of the state border forms zones of interaction with the dominance of natural, economic, socio-cultural, ethnic, environmental, geoecological, innovative, technological and other processes. Transboundary processes, with a certain maturity of the transboundary region, can dominate the region. A typification of processes occurring in transboundary regions is proposed, as well as an indicator of the presence of a functioning transboundary region, signs of the border nature of a transboundary process gradient, processes occurring in transboundary regions, including for coherent processes, and a classification of boundaries is given. At the same time, it is proposed to distinguish the boundaries of transboundary regions by changing the gradient of the transboundary process to a minimum (often zero) value. It is shown that initially in a natural transboundary region several processes are formed conditionally simultaneously and its boundaries are polystructural. A typification of the boundaries of transboundary regions is given. The formation of types of structures of transboundary space is considered, and the identification of applicative cores of transborderness is substantiated. Applicative kernels of transborderness can increase the potential of a border region, or they can reduce it. On the example of the Chelyabinsk region as a part of the transboundary region of Kazakhstan - Russian Federation, the applicative cores of transborderness are identified for the first time. It is advisable to use the proposed approach in relation to solving problems of increasing environmental safety and rational use of natural resources. The parameters for mapping with subsequent identification of the boundaries and cores of transboundary processes are proposed.

Keywords: transborderness, transborder regions, transborder space, borders, applicative cores of transborderness

For citation: Pozachenyuk E.A., Murava-Sereda A.V., Maksimova V.N., Shestakova L.I., Vishnyakova S.P., Kalinchuk I.V. 2023. Ensuring Ecological Safety and Rational Use of Nature in Transboundary Regions. *Regional Geosystems*, 47(4): 630–642. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-630-642

Введение

Феномен трансграничности формирует сложные и, как указывается в работе [Приграничные и трансграничные ..., 2010], саморазвивающиеся системы. Активизация исследований, связанных с трансграничностью произошла на рубеже тысячелетия [Колосов, Туровский, 1997; Бакланов, Ганзей, 2004; Бакланов, 2008]. Несмотря на уникальность, значимость и широкое распространение этого феномена, понятийный аппарат, вопросы границ и внутренней структуры трансграничных территорий остаются во многом не разработанными.

Используются понятия: «трансграничные регионы», «трансграничные территории» [Kachur et al., 2001; Transboundary diagnostic ..., 2001; Волинчук, 2008; 2009; Вардомский, 2009; Трансграничный регион..., 2010; Федоров, Корнеев, 2010], «трансграничные районы» [Колосов, Туровский, 1997], «приграничные территории», «трансграничность», «пограничное пространство» [Бакланов, Ганзей, 2004], «трансграничного пространства» [Трансграничный регион..., 2010]. В дальнейшем под трансграничным регионом (cross (cross-border) – скрещенный, гибридизированный) вслед за А.Б. Волинчуком понимаем «устойчивое во времени территориальное образование, отличающееся от других характерным типом хозяйственного освоения и совокупностью взаимодействующих между собой природных, социальных и экономических подсистем, связанных единством реализующихся в их пределах природных, экономических, социокультурных факторов, при обязательном наличии в его структуре государственной границы» [Волинчук, 2009].

По мнению авторов, наименее разработан вопрос о границах трансграничного пространства. Анализируя приграничные районы различных уровней П.Я. Бакланов, С.С. Ганзей [2004] выделяют инфраструктурные, экономические и административные



границы, а границы приграничных территорий этими авторами предлагается выделить по границам природных геосистем. В более поздней работе типизируют границы на естественные и установленные человеком [Бакланов, 2008]. К границам трансграничного пространства чаще всего относят государственные границы стран или административные границы, или границы экономических районов, в основе которых также лежат административные границы. Как отмечено в работе [Бакланов, Ганзей, 2004], «приграничное пространство характеризуется тремя показателями: протяженностью (длиной), шириной (глубиной) и насыщенностью (плотностью или интенсивностью протекающих в нем процессов)». В трансграничном пространстве активно развиты процессы с определенными потенциалами. Возможен подход к выделению границ, который базируется на господствующем процессе или совокупности процессов.

Феномен трансграничности по обе стороны от государственной границы формирует зоны взаимодействия в различных сферах: в природно-ресурсной, социально-экономической и экологической, что позволило [Бакланов, Ганзей 2004] по обе стороны границы выделить специфические территориальные контактные структуры с особыми свойствами – приграничные территории. Трансграничное пространство иерархично [Бакланов, Ганзей, 2004; Бакланов, 2008; Волынчук, 2008; Приграничные и трансграничные ..., 2010; Трансграничный регион, 2010]. Выделяются приграничные территории трех уровней [Бакланов, Ганзей, 2004]: национальные, региональные и локальные. Зрелые трансграничные регионы (ТГР) имеют свою внутреннюю структуру [Волынчук, 2009; Мурава-Середа, Киселева, 2017]. Для социальных групп процессов в структуре трансграничного региона выделяют: государственную границу, полосу трансграничности, периферийный пояс региона, коммуникационные линии, главные ядра региона, второстепенные ядра региона, зоны контакта [Волынчук, 2009]. Т.Н. Кучинская [2011] рассматривает ядра в социокультурном пространстве трансграничного региона и приходит к выводу о полиядерной его структуре.

Несмотря на значительное количество работ, посвященных внутренней структуре зрелых трансграничных регионов (ТГР), с исследовательской точки зрения интересны все этапы жизненного цикла ТГР, одной из характерной особенностей которых на ранних и поздних стадиях развития является превалирование элементов структуры, которые не всегда выражены антропогенными границами и формируются в территориях наложения зон действия нескольких главенствующих процессов, будем их далее называть аппликативными. В результате такого наложения образуются зоны, имеющие собственную внутреннюю структуру в пределах ТГР, где аппликативные процессы господствуют.

Статья посвящена рассмотрению границ и внутренней структуры ТГР, которую формируют аппликативные процессы, демонстрации апробации предложенного метода на трансграничном регионе Казахстан – Российская Федерация, предложении применения метода в интересах экологической безопасности и рационального природопользования.

Цель данной статьи – сформировать основные подходы и приемы экологической безопасности и рационального природопользования в трансграничных регионах с учетом их границ и структуры.

Задачи исследования:

- 1) обосновать полиструктурность границ трансграничных регионов;
- 2) обосновать наличие во внутренней структуре ТГР аппликативных ядер трансграничности;
- 3) сформировать основные подходы и приемы в целях обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования при трансграничном развитии регионов.

Объект и методы исследования

Концептуально-методологическая база исследования сформирована на системе методов и подходов: общефилософских; общенаучных и конкретнонаучных, в частности, геоинформационного. При разработке карт полиструктурности границ и аппликативных ядер трансграничности использовался метод наложения карт. Методическим аппаратом изучения зоны влияния какого-либо процесса на формирование ТГР принят подход к изучению энтропийных процессов с использованием формулы Шеннона. Обработка данных и построения карт производились с использованием методов дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий – программы *QGIS 3.16.16*, данных космических снимков *SASPlanet* из карты «*Bing – Спутник*».

Сбор и анализ оригинальных данных осуществлялся посредством полевых исследований, а также данных Федеральной службы государственной статистики^{1,2} [Вакуленко, Леухин, 2015].

Объект исследования – трансграничные регионы.

Предмет исследования – границы и аппликативные ядра трансграничности с целью экологической безопасности и рационального природопользования.

Результаты и их обсуждение

В своих исследованиях авторы исходили из следующих предположений. Приграничные территории, согласно П.Я. Бакланову [2001], характеризуются «специфическим потенциалом приграничья», вследствие соседства двух стран. Границы трансграничных территорий могут иметь разные функции. Граница, вокруг которой происходит формирование трансграничных территорий и которая является зоной контакта, выполняет функции буферной системы. Граница же «противоположная», которая в минимальной степени испытывает влияние трансграничного эффекта, в пределах которой специфический потенциал приграничья приближается к нулю, имеет иные функции. Эти границы формируются в трансграничном пространстве в зависимости от рассматриваемого процесса, обусловленного трансграничностью. Их важно установить, так как они фиксируют минимизацию трансграничного влияния по какому-либо процессу и часто имеют экологическое и геоэкологическое значение.

Феномен трансграничности по обе стороны от государственной границы формирует зоны взаимодействия с господством определенных процессов, обусловленных свойствами взаимодействующих регионов. Свойства ТГР определяются природными, экономическими, социокультурными, этническими, экологическими, геоэкологическими, инновационно-технологическими и иными процессами, господствующими в пределах ТГР. Процессы, господствующие в ТГР, можно назвать трансграничными процессами. Сами процессы в ТГР обуславливаются пространственно-временными свойствами взаимодействующих регионов как природными с их интенсивностью, так и социально-экономическими, социокультурными и др., включая их уровень развития. Но интенсивность проявления процессов (изменение градиента) и их пространственно-временное распределение в пределах ТГР зависит также от исходной внутренней структуры самого региона, прежде всего природной ландшафтной и социально-экономической. Критерий выделения границ ТГР – изменение градиента процесса от максимального до нулевого (рис. 1). Так как ТГР формируют несколько процессов, то и границы, выделенные по градиенту каждого процесса, не будут совпадать в пространстве и во времени, т. е. границы будут полиструктурными. При этом процессы взаимодействия могут иметь явно выра-

¹ Международная классификация болезней 10-го пересмотра (МКБ-10). Электронный ресурс. URL: <http://mkb-10.com/> (дата обращения: 15.10.2023).

² Регионы России. Социально-экономические показатели. Росстат. 2016. Москва. Электронный ресурс. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 5.10.2023).

женную одностороннюю направленность, а их распространение – зависеть от барьерных эффектов.

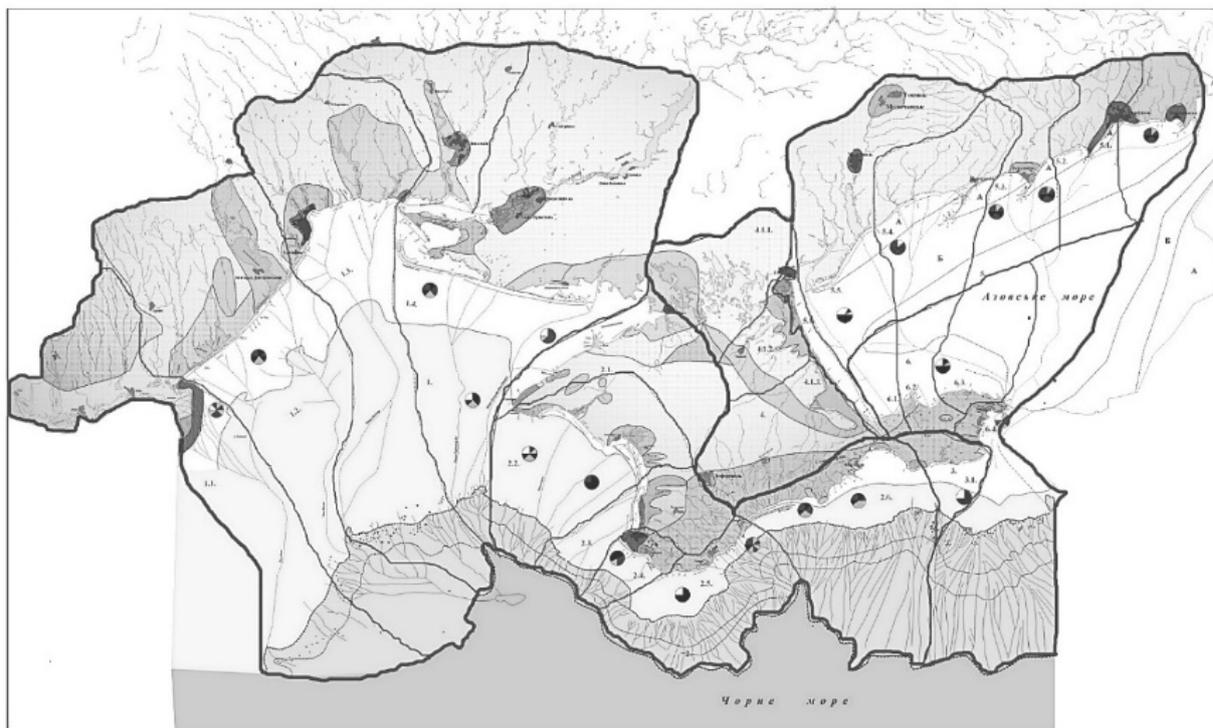


Рис. 1. Барьерная граница геоэкологического одностороннего воздействия трансграничных прибрежно-морских акваторий северо-западных частей Черного и Азовского морей [Андреева, 2010]

Fig.1. Barrier boundary of geocological unilateral impact of transboundary coastal-marine waters of the north-western parts of the Black and Azov Seas [Andreeva, 2010]

В результате господства трансграничных процессов сами ТГР выделяются определенными свойствами, которые отличают их от внутренних регионов. При этом возможны варианты наложения зон развития одних процессов на зоны развития других, что неизбежно приведет к эффектам наложения этих зон и формированию неких аппликативных ядер трансграничности.

Границы трансграничных регионов.

Управление природопользованием и экологической безопасностью может быть построено не только с применением методов искусственного интеллекта [Hong et al., 2022], но и на обновленной ГИС-картографической основе, созданной с использованием дополнительных слоев функции границ. Все процессы, протекающие в ТГР, предложено делить на группы: когерентных процессов, когерентных секулярных процессов, когерентных несекулярных процессов, некогерентных процессов. При этом когерентность по вектору и динамике условно не взаимозависимых процессов является индикатором наличия функционирующего ТГР. Кроме того, формирование границ ТГР в зависимости от зоны действия процесса можно рассматривать с двух подходов. Первый – границы, обусловленные процессами формирования ТГР и границы, определенные ограничением самого процесса формирования ТГР. Первый подход выражается как результат взаимодействия двух объектов трансграничного взаимодействия. Как правило – эти границы процессные.

При обсуждении трансграничного эколого-ориентированного инновационного развития наиболее значимыми являются экологические и инновационные трансграничные

процессы, зарождение и существование которых возможно в условиях несформированности, зарождении и вырождении ТГР.

Все множество трансграничных процессов образует поле трансграничных процессов и риски трансграничных процессов. «Это поле характеризуется протяженностью и временем существования и проявляется в том, что происходящий в какой-либо его точке иной процесс оказывается под воздействием силы риска R_i , являющейся векторной величиной. При этом результирующая сила риска, воздействующая на любой процесс социально-эколого-экономической системы, равна векторной сумме сил риска всех процессов, протекающих в системе... Скорость и направление прироста рисков переменны и обусловлены эластичностью рисков по отношению к данным факторам. Следовательно, поле рисков F может быть представлено как многомерное (n -мерное) векторное пространство градиентов функций, определенных на многообразии сценариев развития макроэкономической ситуации» [Мурава-Серета, Киселева, 2017].

Для поля множества однородных когерентных процессов их градиент является пограничным, в случае если выполняется одно из трех условий: когерентность нарушается для большинства однородных процессов множества; градиент является изолинией, очерчивающей пространство распространения/нераспространения процесса; происходит существенное псевдосимметричное изменение геометрии поля векторов когерентных трансграничных процессов в условиях аналогичных изменений других родов процессов. Граница может представлять собой: границу указанного рода процессов внутри трансграничного региона; функциональную границу трансграничного региона при системной значимости указанного рода трансграничных процессов в регионах средней и высокой зрелости; границу ядра трансграничного региона при низкой зрелости трансграничного региона.

Для поля множества разнородных когерентных процессов градиент является граничным, в случае если выполняется одно из трех условий: осуществляется смена групп по крайней мере двух разнородных процессов с когерентного секулярного на когерентный несекулярный; несимметричное по отношению к границам, имеющим разделительную функцию, существенное изменение динамики процесса; скачкообразное изменение уровня энтропии информационного поля системы. В основу критерия их выделения можно положить изменение градиента процесса. При этом процесс формирует зону своего воздействия. Изолиния минимального градиента процесса и есть граница ТГР, выделенная по этому процессу. Причем процесс может активно влиять только в одностороннем порядке, особенно это может быть выражено при экологическом и геоэкологическом воздействии. Процессные границы могут быть как природные, так и антропогенные.

При втором подходе граница ТГР определяется способностью к распространению фактора, ограничивающего распространение трансграничного процесса и приводящего к формированию естественной границы с барьерной функцией, либо к приданию границе искусственного происхождения функции барьерности. Таким образом, барьерные границы так же, как и процессные, могут быть природными и антропогенными. Виды границ трансграничного региона, способные выполнять барьерные функции: орографические, водные (морские, речные, озерные), гидрологические, геохимические, административные, техногенные (плотины, каналы, стены и ограждения и др.). Например, геоэкологическая барьерная граница трансграничных прибрежно-морских акваторий северо-западной частей Черного и Азовского морей определяется геоэкологическим состоянием и орографическими условиями суши (см. рис. 1). Карта отражает зоны стока загрязняющих веществ аллювиальными процессами и процессами плоскостного смыва. При этом загрязнение Черного и Азовского морей происходит по подводным палеодолинам и подтверждается результатами геоэкологического опробования. Ограничивает дальнейшее погружение загрязняющих веществ в морские акватории бровка верхнего уступа континентального



склона, которая и формирует барьерную границу геоэкологического одностороннего воздействия.

Границы ТГР можно также выделять в зависимости от фактора их формирования: природные, природно-ресурсные, техногенные, административные, экономические, социокультурные, этнические, экологические, геоэкологические, инновационно-технологические.

Природные границы обусловлены воздействием природного фактора и могут быть: орографические, водные (морские, речные, озерные), гидрологические, геохимические, ландшафтные. Ландшафтные границы ТГР – границы, связанные с распространением определенного ландшафта (равнинного, предгорного, горного и т. д.). Природные границы ТГР также могут быть процессными: зона распространения водного потока (поверхностного – по бассейну рек, или подземного); естественная циркуляция воздуха, определяемая переносы вредных веществ и др.; миграция растений и животных и т. п.

По нашему мнению, следует различать экологические и геоэкологические границы. Экологические границы могут быть связаны с экологическим фактором, отражающим сходство ландшафтных условий обитания вида, и ограничивают распространения какого-либо вида биоты. Эти границы важны для изучения миграционных процессов растений и животных. Они значимы для установления зон распространения различных заболеваний, связанных с биологическими переносчиками. Например, туляремии – зоны обитания переносчиков – гидроморфные равнины. Геоэкологические границы – это комплексные границы, обусловленные загрязнением окружающей среды одним или несколькими загрязняющими веществами. Проявляются в формировании зон загрязнения почв, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, в негативном воздействии на живое вещество, включая человека, в снижении ландшафтного и биологического разнообразия.

Границы ТГР обладают свойствами полиструктурности и комплексности. Как правило, границы ТГР формируются под влиянием нескольких факторов. Свойство полиструктурности границ ТГР проявляется в том, что ТГР имеют несколько не совпадающих в пространстве и времени границ, формирующихся в зависимости от влияния разных факторов. Например, на рис. 2 показана полиструктурная граница трансграничного пространства на примере Крымского Присивашья.

Границы трансграничных пространств, выделенные по процессному или барьерному подходу, безусловно, не будут совпадать с административными, экономического районирования и другим границами, установленными по другим признакам. Если признать полиструктурность границ ТГР и иных трансграничных пространств, то граница принимается в зависимости от цели решения проблемы. Если, например, решаются задачи, связанные с загрязнением сред другой страной, то в рамках геоэкологических границ трансграничного пространства эта задача и решается.

Комплексные свойства границ ТГР проявляются в том, что под влиянием одного и того же фактора формируются несколько видов границ ТГР. Особенно это свойство хорошо проявляется при формировании границ под действием барьерогенного фактора. Например, орографический барьер может формировать экологические, геоэкологические и ландшафтные границы, экономические, социокультурные и др. Комплексный характер трансграничных границ формируется под влиянием экотонных [Бакланов, Ганзей, 2004] и геоэкотонных [Позаченюк, 2003] эффектов.



Рис. 2. Полиструктурная граница трансграничного пространства Крымского Присивашья
Fig. 2. The polystructural border of the cross-border space of the Crimean Prisivashye

Внутренняя структура трансграничных пространств.

Трансграничное пространство структурировано. Некоторые типы структур ТГР формируются в зависимости от господствующих процессов. Каждый процесс создает свою структуру, если в трансграничном пространстве протекает несколько процессов, то допустимо, что происходят эффекты наложения процессов – формируются зоны активного действия аппликативных трансграничных процессов. Назовем их аппликативными ядрами трансграничности – это зоны активного взаимодействия и наложения нескольких трансграничных процессов в результате чего в их пределах происходит возрастание потенциала трансграничья. Аппликативные ядра трансграничности могут увеличивать потенциал, который повышает структуру и организацию трансграничного пространства, а могут, усложняя структуру, снижать уровень его организации.

На примере Челябинской области, являющейся частью трансграничного региона Казахстан – Российская Федерация, рассмотрим эти эффекты. На рис. 3 представлены аппликативные ядра трансграничности с разным уровнем развития трансграничных процессов, полученные с применением метода наложения в геоинформационной системе тематических карт социально-экономических процессов: миграционные потоки, средний уровень дохода населения, уровень безработицы, степень плотности населения, степень онкологической заболеваемости. Выявлены аппликативные ядра трансграничности с шестью градациями по проявлению аппликативности трансграничных процессов:

- высокий – 5 слоев;
- выше среднего уровня – 4 слоя;
- средний уровень – 3 слоя;
- ниже среднего – 2 слоя,
- низкий уровень – 1 слой.

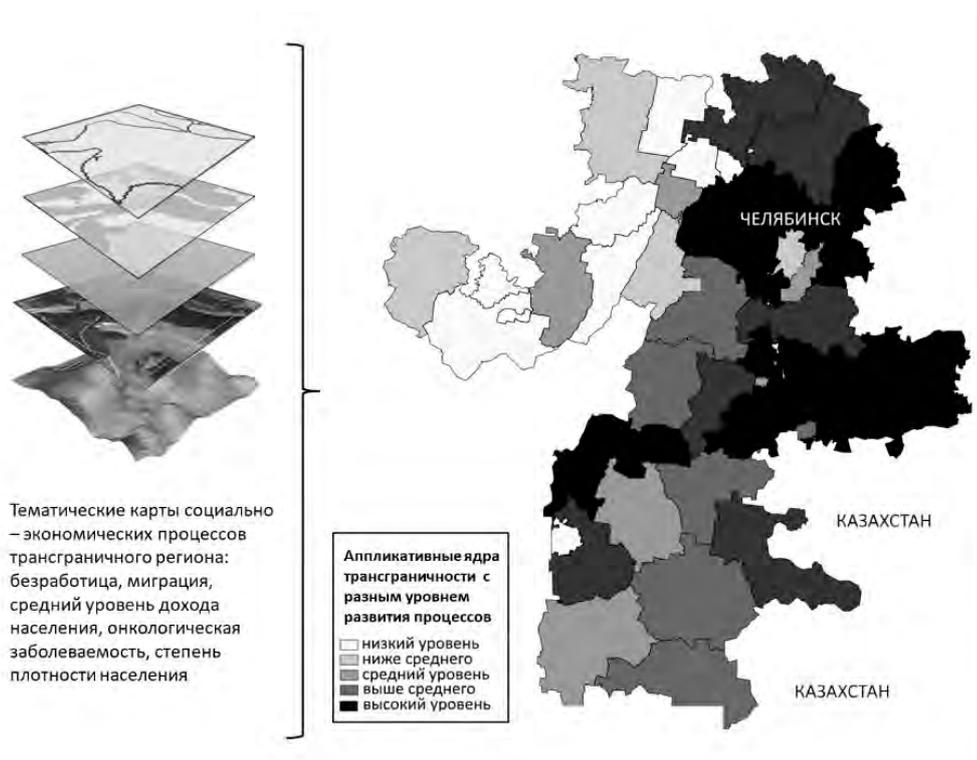


Рис. 3. Аппликативные ядра трансграничности с разным уровнем развития трансграничных процессов Челябинской области
Fig. 3. Applicative cores of transborderness with different levels of development of transboundary processes in the Chelyabinsk region

Например, аппликативное ядро с высоким уровнем развития трансграничных процессов на территории Октябрьского района означает совпадение высокого уровня миграционных потоков, высокого уровня безработицы, низкого уровня заработной платы, высокого уровня онкологической заболеваемости и плотности населения.

Задачам экологической безопасности и эффективного природопользования в условиях инновационного трансграничного развития региональных инновационных систем Российской Федерации может служить использование разработанных авторами подходов применительно к предложенными Вишняковым Я.Д. и Киселевой С.П. [2016] «критериям оценки устойчивости эколого-ориентированного инновационного развития региональной социо-эколого-экономической системы в условиях технологической модернизации экономики» в результате трансграничного развития.

Заклучение

В современном государственном управлении вопросы рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности при технологических укладах, предусматривающих интенсивное инновационное развитие, должны ставить важнейшей своей задачей определение приемлемых пределов изменения трансграничных ландшафтов, в том числе в контексте определения естественных внутренних и внешних границ ТГР, их места относительно государственных границ и границ регионов. Понимание зеленой экономики и сути инновационных процессов обретает при таком подходе более структурированный «числовой» вид. Управление природопользованием и экологической безопасностью может быть построено на обновленной ГИС-картографической основе, созданной с использованием дополнительных словесных функций границ. Также для целей экологической безопасности значимым может

служить выявление границ и ядер трансграничных процессов посредством картирования, выполненного на основе непосредственных показателей ресурсно-сырьевого и экологического содержания.

Особую актуальность данное направление приобретает в связи с реализацией утвержденной Правительством РФ программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (28 июля 2017 г. Распоряжение № 1632-р) и поставленных задач в части обеспечения технологического лидерства страны в условиях формирования глобального цифрового пространства.

Применение этих подходов способствует повышению эффективного межведомственного взаимодействия в решении проблемных региональных вопросов, оперативному принятию управленческих решений, переходу от экстенсивных форм развития региона к интенсивным и инновационным.

Список литературы

- Андреева О.А. 2010. Конструктивно-географическая дифференциация прибрежно-морских территорий Украины как основа рационального природопользования. Автореф. дис. ... кан. геогр. наук. Симферополь, 27 с.
- Бакланов П.Я. 2001. Географические контактные структуры и их функции в Северо-Восточной Азии. Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая, 1: 31–39.
- Бакланов П.Я. 2008. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток, Дальнаука, 215 с.
- Бакланов П.Я., Ганзей С.С. 2004. Приграничные и трансграничные территории как объект географических исследований. Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая, 4: 27–34.
- Вакуленко Е.С., Леухин Р.С. 2015. Исследование спроса на труд иностранных мигрантов в российских регионах по поданным заявкам на квоты. Прикладная эконометрика. 1(37): 67–86.
- Вардомский Л.Б. 2009. Российское порубежье в условиях глобализации. М., ЛИБРОКОМ, 212 с.
- Вишняков Я.Д., Киселева С.П. 2016. Экологический императив технологического развития России. Ростов-на-Дону, Терра, 275.
- Волынчук А.Б. 2008. Категориальный аппарат геополитических исследований. Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, 2(2): 28–38.
- Волынчук А.Б. 2009. Трансграничный регион: теоретические основы геополитического исследования. Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, 4(8): 49–55.
- Колосов В.А., Туровский Р.Ф. 1997. Современные государственные границы: новые функции в условиях интеграции и приграничное сотрудничество. Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая, 5: 106–113.
- Кучинская Т.Н. 2011. Трансграничный регион как форма социокультурного пространства: в поисках когнитивной модели исследования. Современные проблемы науки и образования, 6: 297–308.
- Мурава-Серета А.В., Киселева С.П. 2017. Поле рисков трансграничных интеграционных процессов инновационного технологического развития социо-эколого-экономических систем. Интернет-журнал науковедение, 9(6): 95.
- Позаченюк Е.А. 2003. Экологическая экспертиза: природно-хозяйственные системы. Симферополь, Таврический экологический институт, 473 с.
- Приграничные и трансграничные территории Азиатской России и сопредельных стран: (проблемы и предпосылки устойчивого развития). 2010. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 610 с.
- Трансграничный регион: понятие, сущность, форма. 2010. Владивосток, Дальнаука, 276 с.
- Федоров Г.М., Корнеевец В.С. 2010. Трансграничные регионы в иерархической системе регионов: системный подход. Балтийский регион, 2(2): 32–42.
- Hong X., Lin X., Fang L., Gao Y., Li R. 2022. Application of Machine Learning Models for Predictions on Cross-Border Merger and Acquisition Decisions with ESG Characteristics from an Ecosystem and Sustainable Development Perspective. Sustainability, 14(5): 2838. <https://doi.org/10.3390/su14052838>.



Kachur A.N., Jin X., Baklanov P.Ya., Ganzei S.S. 2001. Diagnostic Analysis of the Lake Khanka Basin (People's Republic of China and Russian Federation). Nairobi, UNEP/CRAES/PGI FEBRAS, 136 p.
Transboundary diagnostic analysis. 2001. Vladivostok, Dalnauka, 231 p.

References

- Andreeva O.A. 2010. Konstruktivno-geograficheskaja differenciacija pribrezhno-morskih territorij Ukrainy kak osnova racional'nogo prirodopol'zovanija [Structural-Geographical Differentiation of Coastal-Marine Territories of Ukraine as the Basis for Rational Environmental Management]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Simferopol, 27 p.
- Baklanov P.Ya. 2000. Geograficheskie kontaktnye struktury i ih funkcii v Severo-Vostochnoj Azii [Geographic Contact Structures and Their Functions in Northeast Asia]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 1: 31–39.
- Baklanov P.Ya. 2008. Trans-Boundary Territories: the Problems of Sustainable Nature Use. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 216 p. (in Russian).
- Baklanov P.Ya., Ganzei S.S. 2004. Nearboundary and Transboundary Territories as Objects of Geographical Studies. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 4: 27–34 (in Russian).
- Vakulenko E.S., Leukhin R.S. 2015. Issledovanie sprosa na trud inostrannyh migrantov v rossijskih regionah po podannym zayavkam na kvoty [Study of the Demand for Labor of Foreign Migrants in Russian Regions Based on Submitted Applications for Quotas]. *Applied Econometrics*, 1(37): 67–86.
- Vardomskij L.B. 2009. Rossijskoe porubezh'e v uslovijah globalizacii [Russian Borderlands in the Context of Globalization]. Moscow, Publ. LIBROKOM, 216 p.
- Vishnyakov Ya.D., Kiseleva S.P. 2016. Jekologicheskij imperativ tehnologicheskogo razvitija Rossii [Ecological Imperative of Technological Development of Russia]. Rostov-na-Donu, Publ. Terra, 275 p.
- Volynchuk A.B. 2008. The Categorical-Conceptual Device as of Geopolitical Researches. *Humanitarian research in the Eastern Siberia and the Far East*, 2(2): 28–38 (in Russian).
- Volynchuk A.B. 2009. The Trans-Boundary Region: Theoretical Background of Geopolitical Research. *Humanitarian research in the Eastern Siberia and the Far East*, 4(8): 49–55 (in Russian).
- Kolosov V.A., Turovskiy R.F. 1997. Sovremennye gosudarstvennye granicy: novye funkcii v uslovijah integracii i prigranichnoe sotrudnichestvo [Modern State Borders: New Functions in the Context of Integration and Cross-Border Cooperation]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5: 106–113.
- Kuchinskaya T.N. 2011. Cross-Border Region as a Form of Socio-Cultural Space: in Search of Cognitive Model of Study. *Modern problems of science and education*, 6: 297–308 (in Russian).
- Murava-Sereda A.V., Kiseleva S.P. 2017. The Field of Risks of Cross-Border Integration Processes of Innovative Technological Development of Socio-Ecological and Economic Systems. *Internet-zhurnal naukovedeniye*, 9(6): 95 (in Russian).
- Pozachenyuk E.A. 2003. Jekologicheskaja jekspertiza: prirodno-hozjajstvennye sistemy [Environmental Expertise: Natural-Economic Systems]. Simferopol, Publ. Tavricheskij jekologicheskij institute, 473 p.
- Prigranichnye i transgranichnye territorii Aziatskoj Rossii i sopredel'nyh stran: (problemy i predposylki ustojchivogo razvitija) [Border and Transboundary Territories of Asian Russia and Neighboring Countries: (Problems and Prerequisites for Sustainable Development)]. Novosibirsk, Publ. SO RAN, 610 p.
- Transgranichnyj region: ponjatie, sushhnost', forma [Transborder Region: Concept, Essence, Form]. 2010. Vladivostok, Publ. Dal'nauka, 276 p.
- Fedorov G.M., Korneevets V.S. 2010. Trans-Border Regions in the System of the Regional Hierarchy: the Systemic Approach. *Baltic Region*, 2: 26–33 (in Russian). <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2009-2-3>.
- Hong X., Lin X., Fang L., Gao Y., Li R. 2022. Application of Machine Learning Models for Predictions on Cross-Border Merger and Acquisition Decisions with ESG Characteristics from an Ecosystem and Sustainable Development Perspective. *Sustainability*, 14(5): 2838. <https://doi.org/10.3390/su14052838>.



Kachur A.N., Jin X., Baklanov P.Ya., Ganzei S.S. 2001. Diagnostic Analysis of the Lake Khanka Basin (People's Republic of China and Russian Federation). Nairobi, UNEP/CRAES/PGI FEBRAS, 136 p.

Transboundary diagnostic analysis. 2001. Vladivostok, Dalnauka, 231 p.

*Поступила в редакцию 23.10.2023;
поступила после рецензирования 29.11.2023;
принята к публикации 05.12.2023*

*Received October 23, 2023;
Revised November 29, 2023;
Accepted December 05, 2023*

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

Позаченюк Екатерина Анатольевна, доктор географических наук, профессор кафедры физической и социально-экономической географии, ландшафтоведения и геоморфологии, директор Крымского международного ландшафтного центра, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Мурава-Середа Аурика Викторовна, кандидат экономических наук, заместитель директора по научной и проектной деятельности Юго-Восточной академии (филиал), Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Максимова Валентина Николаевна, кандидат педагогических наук, директор Научно-образовательного центра «Геоинформационные системы», доцент кафедры «Информационно-аналитическое обеспечение социально-экономических систем», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Шестакова Людмила Ивановна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Международные отношения, политология и регионоведение», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Вишнякова Светлана Петровна, доктор экономических наук, профессор, профессор Финансового университета Правительства РФ, проректор по инновационному развитию АНО ВО «Международный независимый эколого-политологический университет, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Pozachenyuk, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Physical and Sociology-Economical Geography, Landscape Science and Geomorphology Department, Director of the Crimean International Landscape Center, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Aurika V. Murava-Sereda, Phd in Economics, Vice-Director for Projects and Research of the South-East Academy (branch) V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Valentina N. Maksimova, PhD in Pedagogic Sciences, Director of the Scientific and Educational Center «Geoinformation Systems», Associate Professor of the Department of «Information and Analytical Support of Socio-Economic Systems», South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Lyudmila I. Shestakova, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «International Relations, Political Science and Regional Studies», South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Svetlana P. Vishnyakova, Doctor of Economics, Professor, Professor of Financial University under the Government of the Russian Federation, Vice-Rector for Innovative Development of the International Independent University of Environmental and Political Sciences, Moscow, Russia



Калинчук Ирина Васильевна, старший преподаватель кафедры физической и социально-экономической географии, ландшафтоведения и геоморфологии, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

Irina V. Kalinchuk, Senior Lecturer of the Physical and Sociology-Economical Geography, Landscape Science and Geomorphology Department, Director of the Crimean International Landscape Center, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia