

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

REGIONAL GEOSYSTEMS

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2022. Том 46, № 1

16+

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ

2022. Том 46, № 1

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, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия)

Ответственный секретарь

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSN 2712-7443 (online)

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

Выпускающий редактор Л.П. Котенко. Корректурa, компьютерная верстка и оригинал-макет Л.П. Котенко. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru.
Гарнитуры Times New Roman, Arial, Impact. Уч.-изд. л. 14,9. Дата выхода 30.03.2022. Оригинал-макет подготовлен отделом объединенной редакции научных журналов НИУ «БелГУ». Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.

СОДЕРЖАНИЕ

- 5 **Пинской В.Н., Каширская Н.Н., Идрисов И.А., Ельцов М.В., Борисов А.В.**
Почвы земледельческих террас на карбонатных породах Восточного Кавказа
- 14 **Попкова Л.И.**
Тридцать лет постсоветского приграничного пространства: уроки и перспективы
(результаты международной научно-практической конференции «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации», 23-25 сентября 2021 г., Курск)
- 26 **Лапин П.С.**
Устойчивое развитие современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин
(Горный Алтай)
- 40 **Адаменко М.М., Гутак Я.М., Треньков И.П.**
Современные тенденции развития малого оледенения гор Кузнецкого Алатау
на примере ледников Июско-Терсинской группы
- 53 **Маргарян В.Г., Хачатрян Г.А.**
Об оценке загрязнения атмосферного воздуха города Ереван
- 62 **Кондауров Р.А., Куролап С.А.**
Изучение корреляции концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с шумовой характеристикой
транспортного потока (на примере города Воронеж)
- 71 **Кочуров Б.И., Кульнев В.В., Цветков И.В.**
Мультифрактальные модели воздействия на водную экосистему: отклик, риск, управление
- 81 **Лобанов Г.В., Жохов М.В.**
Морфологическое разнообразие верхнего течения реки Десна
- 94 **Шмакова М.В.**
Критерии подбора рек-аналогов в расчетах расхода наносов
- 108 **Курепина В.А., Киселев В.В., Корнилов А.Г.**
Динамика гидроэкологической ситуации р. Тихая Сосна на территории Белгородской и Воронежской областей
- 119 **Базарский О.В., Пантелеев Д.А., Кочетова Ж.Ю.**
Геоэкологическая модель для прогнозирования деградации и восстановления рельефа военных полигонов
- 132 **Волощенко И.В., Новых Л.Л., Новых Е.А.**
Предложения по совершенствованию перечня характеристик почв при проведении инженерно-экологических изысканий

REGIONAL GEOSYSTEMS

2022. Volume 46, No. 1

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

Founded in 1995

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Chief Editor

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

Issuing Editor

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

Responsible Secretary

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

Members of Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

Maria I. Nedealcov, 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 L.P. Kotenko. Pag Proofreading, computer imposition L.P. Kotenko. E-mail: goleusov@bsu.edu.ru. Typefaces Times New Roman, Arial, Impact. Publisher's signature 14,9. Date of publishing 30.03.2022. The layout was prepared by the Department of the joint editorial Board of scientific journals of NRU "BelSU". Address: 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

CONTENTS

- 5 **Pinskoy V.N., Kashirskaya N.N., Idrisov I.A., Yeltsov M.V., Borisov A.V.**
Soils of Agricultural Terraces on Carbonate Rocks of the Eastern Caucasus
- 14 **Popkova L.I.**
Thirty Years of the Post-soviet Border Space: Lessons and Prospects
(Results of the International Scientific and Practical Conference "Strategy for the Development of Border Territories: Traditions and Innovations", 23–25 September 2021, Kursk)
- 26 **Lapin P.S.**
Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions
(Mountain Altai)
- 40 **Adamenko M.M., Gutak Y.M., Trenkov I.P.**
Modern Trends of Kuznetsk Alatau Minor Glaciation Evolution in the Example of the Iyusko-Tersinskaya Glaciers Group
- 53 **Margaryan V.G., Khachatryan G.A.**
About the Assessment of Atmospheric Air Pollution of the City of Yerevan
- 62 **Kondaurov R. A., Kurolap S.A.**
Study of the Correlation Between the Concentrations of Pollutants in the Atmosphere Air and Noise Characteristics of Traffic Flow (on the Example of the City of Voronezh)
- 71 **Kochurov B.I., Kulnev V.V., Tsvetkov I.V.**
Multifractal Models of Impact on the Aquatic Ecosystem: Response, Risk, Management
- 81 **Lobanov G.V., Zhohov M.V.**
Morphological diversity of the upper reaches of the Desna River
- 94 **Shmakova M.V.**
Criteria for Selecting Analogous Rivers in Sediment Flow Calculations
- 108 **Kurepina V.A., Kiselev V.V., Kornilov A.G.**
Dynamics of the Hydroecological Situation in the Tikhaya Sosna River on the Territory of the Belgorod and Voronezh Regions
- 119 **Bazarskij O.V., Panteleev D.A., Kochetova Z.Yu.**
Geocological model for predicting degradation and restoration of the relief of military landfills
- 132 **Voloshenko I.V., Novykh L.L., Novykh E.A.**
Proposals for improving the list of soil characteristics during engineering and environmental surveys



УДК 631.46:631.48:930
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13

Почвы земледельческих террас на карбонатных породах Восточного Кавказа

¹Пинской В.Н., ¹Каширская Н.Н., ²Идрисов И.А., ¹Ельцов М.В., ¹Борисов А.В.

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Россия, 142290, Пущино, ул. Институтская, 2а

²Институт геологии ДНЦ РАН,
Россия, 367025, Республика Дагестан, Махачкала, ул. М. Ярагского, 75
E-mail: pinskoy@inbox.ru

Аннотация. В горной зоне всегда существовал недостаток пригодных для земледелия почв, поэтому почвы земледельческих террас, которые распространены на территории Восточного Кавказа на данный момент представляют собой уникальный резерв высокоплодородных почв. Но до недавнего времени целенаправленного исследования земледельческих террас региона не проводилось. Целью работы было сравнение и изучение химических и биологических свойств почв на известняках и мергелях в разных геоморфологических условиях (водоразделы и ложбины). Показано высокое потенциальное плодородие почв на карбонатных породах, что определило их длительное земледельческое освоение. Выявлено, что результатом многолетнего функционирования почв склонов в агрогенном эволюционном тренде стало формирование горизонтальных террас, что изменило угол падения солнечных лучей и привело к конвергенции свойств почв на склонах северной и южной экспозиции.

Ключевые слова: Восточный Кавказ, земледельческие террасы, известняк, мергель, экспозиция склона, химические и микробиологические свойства, агростратифицированные почвы

Благодарности: химические и микробиологические анализы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05205мк. Полевые работы в 2018 г. проводились в рамках Госзадания № 0191-2019-0046.

Для цитирования: Пинской В.Н., Каширская Н.Н., Идрисов И.А., Ельцов М.В., Борисов А.В. 2022. Почвы земледельческих террас на карбонатных породах Восточного Кавказа. Региональные геосистемы, 46(1): 5–13. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13

Soils of Agricultural Terraces on Carbonate Rocks of the Eastern Caucasus

¹Viktor N. Pinskoy, ¹Natalya N. Kashirskaya, ²Idris A. Idrisov,

¹Maxim V. Yeltsov, ¹Aleksandr V. Borisov

¹Institute of physical, chemical and biological problems of soil science
of the Russian Academy of Sciences,

2a Institutskaya St, Pushchino 142290, Russia

²Institute of Geology of the DNC RAS,

72 Yaragskogo St, Makhachkala, Republic of Dagestan 375000, Russia

E-mail: pinskoy@inbox.ru

Abstract. We carried out the study of soil properties of agricultural terraces on carbonate rocks in the mountainous zone of the Eastern Caucasus (Republic of Dagestan, Russian Federation). We compared soils on limestone and marl on the slopes of the northern and southern exposures, in different geomorphological conditions (watersheds and hollows). The soils on carbonate rocks have high potential



fertility that caused their long-term agricultural development. In result of the long-term plowing is the terraces with a horizontal surface arising, which changed the angle of incidence of sunlight. This led to the arrival of solar radiation on the soils of the slopes of the southern exposure decreased, and the soils of the terraces of the northern slope, on the contrary, began to receive more solar radiation. As a result, there was a kind of convergence of soil properties of slopes of different exposures. This was most noticeable in such chemical indicators as the content of organic carbon and the of cation exchange capacity. There was also a significant convergence of the biological properties of the soils of the northern and southern exposures after terracing. At the same time, the change in the radiation balance did not affect some chemical properties of agricultural terraces: the most clearly noticeable differences are in the content of mobile forms of phosphates (the content of P_2O_5 in soils on the northern slope exceeds was twice as high). Also, the alkalinity was noticeably higher in the soils on the slopes of the southern exposure. At the same time, we found that in a number of cases, the influence of agricultural technology, as well as modern cattle grazing on the microbiological indicators of the upper horizon of terraced soil was higher than influence of slope exposure.

Keywords: Eastern Caucasus, agricultural terraces, limestone, slope exposure, chemical and biological properties of terraces

Acknowledgements: Chemical and microbiological analyses were carried out with the financial support of RFBR grant No. 19-29-05205 mk. Field work in 2019 was carried out within the framework of State Task No. 0191-2019-0046.

For citation: Pinskoy V.N., Kashirskaya N.N., Idrisov I.A., Yeltsov M.V., Borisov A.V. 2022. Soils of agricultural terraces on carbonate rocks of the Eastern Caucasus. *Regional Geosystems*, 46(1): 5–13 (in Russian) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-5-13

Введение

Вопросы трансформации почв и ландшафтов в древности и средневековье в связи с аграрной деятельностью в прошлом, неизменно привлекают пристальное внимание исследователей [Hall et al., 2013; Lisetskii et al., 2015; Borisov et al., 2016; и др.]. Последствия аграрной деятельности наиболее ярко проявляются в горной зоне, где недостаток пригодных для земледелия почв привел к развитию горного террасного земледелия.

Одним из мировых центров террасного земледелия является горная зона Восточного Кавказа [Агларов, 1964]. Время возникновения террасного земледелия в горной зоне соответствует времени возникновения производящего хозяйства как такового [Амирханов, 1983]. Первые следы земледелия в горной зоне датируются 7-м тыс. до н.э. Именно в это время в спорово-пыльцевых спектрах в горной зоне Восточного Кавказа появляются первые признаки земледелия виде пыльцы культурных злаков и сорняков [Ryabogina et al., 2019]. Поэтому время появления первых террас также можно относить к эпохе энеолита и бронзы.

Следует отметить, что до настоящего времени свойства почв земледельческих террас Дагестана изучены недостаточно. З.Г. Залибеков [2010], М.А. Баламирзоев с соавторами [2008] и другие исследователи приводят общие сведения о почвах земледельческих террас, где подчеркивается уникальность этих почвенных образований, которые в принятой «Классификации и диагностике почв Дагестана» рекомендуется рассматривать на уровне самостоятельного почвенного типа: горные антропогенные почвы [Залибеков, 1982]. Только в последние годы начались целенаправленные исследования свойств почв земледельческих террас в горном Дагестане [Борисов и др., 2018; 2021]. Однако, многие вопросы генезиса и свойств почв земледельческих террас Восточного Кавказа до настоящего времени остаются практически не исследованы. Это относится к вопросам влияния экспозиции склона на свойства почв. В то же время хорошо известно, что в горной зоне экспозиция склона играет чрезвычайно важную роль в процессе почвообразования, важ-

нее чем, например, абсолютная высота [Владыченский, 1998]. Так, на склон южной экспозиции крутизной 20–30 градусов приходится в 5–6 раз больше солнечной радиации, чем на склон северной экспозиции такой же крутизны [Кондратьев и др., 1978]. В этой связи, целью работы была оценка влияния экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас на карбонатных породах в горной зоне Восточного Кавказа.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на двух ключевых участках, расположенных в среднегорной зоне Восточного Кавказа на территории Республики Дагестан (рис. 1). Ключевой участок Муги располагался на северном склоне, здесь были исследованы две террасы на водораздельном участке (Муги-1 и Муги-2) и одна терраса в ложбине (Муги-3). Ключевой участок Камкамахи располагался на склоне южной экспозиции, здесь также были исследованы две террасы на водораздельном участке (Камка-1 и Камка-2) и одна терраса в ложбине (Камка-3). Расстояние между ключевыми участками 13 км.

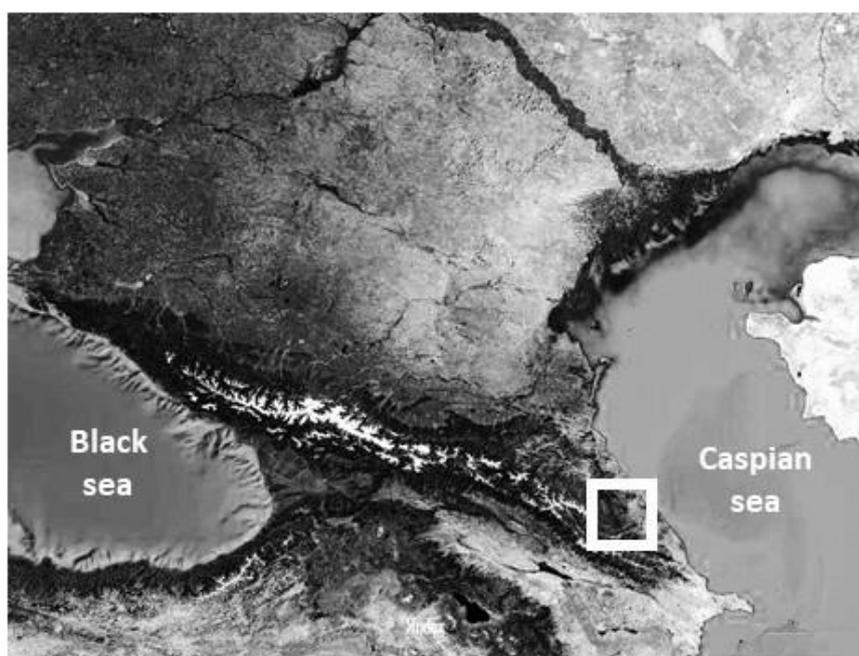


Рис. 1. Район исследования на космическом изображении Кавказа (www. google.com)
Fig. 1. The research area and the location of key sites on the map of the Caucasus (www. google.com)

Абсолютные высоты – 1500–1800 м над уровнем моря. Климат сухой и континентальный. Температура самого теплого месяца (август) достигает 16–19 °С, самого холодного (январь) –5–7 °С, при среднегодовой температуре 6–7 °С. Годовое количество осадков составляет 350–500 мм [Акаев и др., 1996]. Почвообразующие породы на водоразделах представлены известняками, а в ложбинах – элюво-делювием мергелей с включениями известняков. Земледельческие террасы находятся в залежном состоянии более 30 лет и используются в основном под выпас скота.

Определение органического углерода проводили по методу влажного окисления по Тюрину со спектрофотометрическим окончанием [Воробьева, 1998]. Определение содержания карбонатов, рН водной вытяжки, содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O , емкости катионного обмена было проведено по традиционным методикам [Аринушкина,



1970], определение гранулометрического состава проводили пипеточным методом по Качинскому [Практикум по почвоведению, 1973].

Для микробиологических исследований образцы отбирались из каждых 10 см слоя. Оценку микробной биомассы, дающей респираторный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), проводили методом субстрат-индуцированного дыхания [Anderson, Domsch, 1978]. Уреазную активность определяли индофенольным методом [Kandeler, Gerber, 1988]. Статистическая обработка данных проводилась методом главных компонент в программе Statistica.

Результаты и их обсуждение

Судя по находкам фрагментов керамики в почвах, возникновение земледельческих террас в районе исследования относится к эпохе развитого средневековья (11–14 вв. н.э.). Распашка осуществлялась волами с использованием отвального плуга. Эта технология во многих случаях сохранялась до середины 20 в. Лишь на отдельных наиболее крупных террасах в советское время использовали технику. Массовое забрасывание террас началось в 80 годы.

Таксономическая принадлежность почв. Создание террас с горизонтальной поверхностью на склонах осуществлялось за счет припашки в области тылового шва и вовлечением почвообразующей породы в тело террасы. Таким образом, данные почвы можно отнести к синлитогенному стволу. В области тылового шва формируются агролитоземы, а в прибровочной части стратоземы темногумусовые, подтип – агростратифицированные [Борисов и др., 2021].

В профиле почв земледельческих террас выделяются следующие горизонты: темногумусовый горизонт АU мощностью до 15–20 см, сформировавшийся после прекращения распашки. Этот горизонт можно назвать «слоем запустения». Ниже залегает серия пахотных горизонтов Rj1pa, Rj2pa и т.д., незначительно различающихся по морфологическим свойствам. Эти горизонты можно рассматривать как «слои функционирования» террасы. В некоторых террасах сохраняется гумусовый горизонт погребенной почвы – гор. [AU].

Почвенные свойства горизонтов функционирования террас. В таблице представлена профильная динамика химических свойств почв на склонах разной экспозиции и в разных геоморфологических позициях.

Установлено, что в погребенной почве такие показатели, как органический углерод (Сорг), подвижные формы фосфатов (P_2O_5) и емкость катионного обмена (ЕКО) превышают значения пахотных горизонтов и нередко соответствуют современным показателям, что свидетельствует о высоком плодородии почв затененного склона.

Антропогенное влияние отразилось на различных свойствах почв, но в наибольшей мере на активности фермента уреазы. Так, в слоях функционирования активность уреазы в почвах на склоне южной экспозиции выше, чем в почвах северного склона, в то время как все другие показатели биологической активности и содержание Сорг были заметно выше в почве затененного склона. Вероятно, это обусловлено высокими нормами удобрений, которые вносились в период функционирования террасы.

В почвах на склоне южной экспозиции, на который приходится наибольшее поступление солнечной радиации, происходит более быстрое выветривание почвенно-грунтового материала, что значительно увеличивает содержание карбонатов в профиле почв и смещает рН в щелочную сторону. Ускоренное разрушение минералов отразилось и на содержании физической глины, которая практически во всех пахотных горизонтах выше на южном склоне. Вероятно, это же повлияло и на повышение подвижных форм калия.

Химические свойства и гранулометрический состав почв сельскохозяйственных террас на известняках
Chemical properties and particle size distribution of soils of agricultural terraces on limestone

Разрез	Глубина, см	Горизонт	C _{орг.} %	CaCO ₃ , %	pH _{водн.}	P ₂ O ₅ , мг/100 г	K ₂ O, мг/100 г	ЕКО ммоль (экв)/100 г	Содержание частиц, мм (%)	
									<0,001	<0,01
Склон северной экспозиции, водораздел										
Муги-2	0–40	AU	2,4	9,1	8,1	1,6	31,4	25,8	22	43
	40–80	[Rj1pa]	2,0	6,6	8,2	0,8	16,9	24,8	21	48
	80–140	[Rj2pa]	2,9	3,1	8,2	0,9	11,9	33,0	21	41
Муги-1	0–20	AU	3,5	8,1	7,9	1,9	29,0	26,3	22	42
	20–50	[Rj1pa]	1,9	8,6	8,1	1,7	22,2	21,9	23	47
	50–80	[Rj2pa]	2,0	6,3	8,2	1,8	17,1	21,4	21	40
	80–110	[AU]	2,9	3,2	8,2	2,0	15,2	28,8	20	41
Склон северной экспозиции, ложбина										
Муги-3	0–20	AU	2,9	10,2	7,9	2,3	27,0	24,2	13	36
	20–30	[Rj1pa]	2,1	9,5	8,0	1,1	16,7	29,0	12	39
	30–70	[Rj2pa]	2,4	5,2	8,1	0,9	14,0	33,1	11	39
	70–90	[AU]	2,6	4,9	8,2	0,5	12,0	32,6	16	37
Склон южной экспозиции, водораздел										
Камка-1	0–20	AU	2,1	9,3	8,4	0,8	33,6	24,8	21	47
	20–60	[Rj1pa]	1,5	9,2	8,4	0,8	21,8	15,0	21	51
	60–90	[Rj2pa]	1,3	8,7	8,2	0,6	22,4	24,0	19	52
Камка-2	0–20	AU	2,8	12,4	8,1	1,1	32,7	22,4	11	37
	20–50	[Rj1pa]	1,9	12,4	8,1	0,7	20,4	17,6	18	44
	50–70	[Rj2pa]	2,0	11,7	8,2	0,6	19,1	15,4	18	46
Склон южной экспозиции, ложбина										
Камка-3	0–20	AU	1,5	11,7	8,3	0,8	38,4	19,8	17	39
	20–60	[Rj1pa]	1,2	11,8	8,4	0,8	32,1	17,6	18	44
	60–140	[Rj2pa]	1,1	12,3	8,4	1,0	22,8	16,3	19	45
	140–160	C	0,7	9,5	8,4	0,6	21,2	15,4	24	51

Почвенные свойства «слоев запустения» террас. Различия в свойствах верхних горизонтов почв склонов разной экспозиции сохраняется по некоторым почвенным параметрам. Так, например, террасирование не повлияло на содержание подвижных форм фосфатов (этот показатель заметно выше на склоне северной экспозиции), а также содержание карбонатов и щелочность, которые всегда выше на южных склонах.

Биологическая активность слоев запустения во многом определяется характером современного использования территории. Так, урезающая активность в гор. AU почв южного склона превышает аналогичные значения северного склона на 50 мкгNH₄/г/ч, что объясняется, по-видимому, современным выпасом скота. Микробная биомасса (С-СИД) в дневных почвах на склонах северной экспозиции на водоразделе варьировала в пределах 750–250 мкг С/г, а на склонах южной экспозиции 500–300 мкг С/г. При этом наименьшее значение С-СИД пришлось на склон северной экспозиции в ложбине (88,6 мкг С/г), что в 2 раза меньше, чем в почвах террас в ложбине на южном склоне.

Визуализацию химических и микробиологических свойств данных почв осуществили при помощи метода главных компонент (рис. 2).

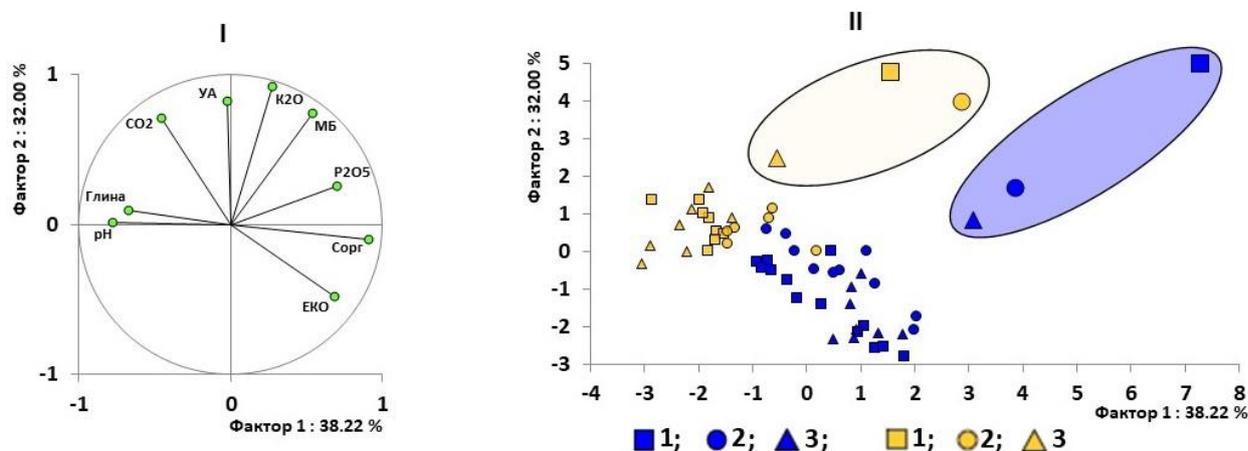


Рис. 2. Проекция химических и биологических характеристик почв (I) и диаграмма рассеивания (II). 1, 2 – разрез на склоне северной экспозиции (водораздел); 3 – разрез на склоне северной экспозиции (ложбина); 4, 5 – разрез на склоне южной экспозиции (водораздел); 6 – разрез на склоне южной экспозиции (ложбина)

Fig. 2. Projections of chemical and biological characteristics of soils (I) and dispersion diagram (II). 1, 2 – sections on the slope of the northern exposure (watershed); 3 – section on the slope of the northern exposure (hollow); 4, 5 – sections on the slope of the southern exposure (watershed); 6 – section on the slope of the southern exposure (hollow)

Склон северной экспозиции характеризуется повышенным содержанием органического углерода, подвижных форм фосфатов и высокой емкостью катионного обмена. Это связано с меньшим поступлением солнечной радиации и более глубоким разложением растительных остатков. Однако, эти различия были значительно менее выражены по сравнению с не террасированными участками на разных склонах [Исмагилов, Абдулвалеев, 2015]. На диаграмме рассеивания (рис. 2), видна конвергенция почвенных свойств террас в гор. АУ (увеличенные 6 точек).

В естественных условиях на не террасированных склонах различия почвенных свойств на склонах северной и южной экспозиции намного выше. Так, по данным А.С. Владыченского содержание Сорг в верхнем горизонте на склонах северной и южной экспозиции может различаться более чем в 2 раза, а емкость катионного обмена – еще более значительно [Владыченский, 1998]. В нашем случае различия по содержанию Сорг в почвах террас на водоразделе практически не выражены, и лишь в почвах террас в ложбинах содержание Сорг в 1,9 раз выше на северных склонах. Еще менее заметны различия в ЕКО в почвах на водоразделах северной и южной экспозиции.

Заключение

Таким образом, почвы земледельческих террас на карбонатных породах характеризуются высоким плодородием и издавна привлекали земледельцев, что в ряде случаев приводило к значительной трансформации почвенных свойств.

На сформировавшихся в результате многолетнего террасирования горизонтальных участках склонов изменяется радиационный баланс; в итоге почвы террас на склонах разной экспозиции оказываются в целом, сходными, в то время как на не террасированных склонах разной экспозиции почвы различаются весьма значительно. Таким образом, произошла своего рода конвергенция свойств почв в верхних горизонтах склонов северной и южной экспозиции. Наиболее заметно это проявляется по таким химическим показателям,

как содержание органического углерода и емкость катионного обмена. Различие этих показателей в почвах северного и южного склона на водоразделах уменьшилось в 4 раза. При этом изменение радиационного баланса повлияло не на все химические свойства почв земледельческих террас: наиболее отчетливо различия, связанные с экспозиций склона, прослеживаются по содержанию P_2O_5 (выше на северном склоне) и содержанию карбонатов (всегда выше в почвах на склонах южной экспозиции).

Что касается показателей биологической активности почв, то их варьирование в значительной мере зависит от особенностей агротехники в период функционирования террас и характера использования территории в настоящее время.

Список источников

- Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Гаджиева З.Х., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И., Каспаров С.А., Лепехина А.А., Мусаев В.О., Рабаданов Р.М., Соболев Д.В., Сурмачевский В.И., Тагиров Б.Д., Эльдаров Э.М. 1996. Физическая география Дагестана. М., Школа, 396 с.
- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М., Изд. МГУ, 490 с.
- Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв. М., Изд-во МГУ, 272 с.
- Практикум по почвоведению. 1973. Под ред. И.С. Кауричева. М., Колос, 279 с.

Список литературы

- Агларов М.А. 1964. Техника сооружения террасных полей и вопросы эволюции форм собственности. Ученые записки. Том XIII. Серия историческая: 177–193.
- Амирханов Х.А. 1983. Начало земледелия в Дагестане. Природа, 2: 58–59.
- Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.Р., Аджиев А.М., Муфараджев К.Г. 2008. Почвы Дагестана. Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала, Дагестанское книжное издательство, 335 с.
- Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. 2021. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа. Почвоведение, 5: 542–557. DOI: 10.31857/S0032180X2105004X.
- Борисов А.В., Коробов Д.С., Идрисов И.А., Калинин П.И. 2018. Почвы земледельческих террас с подпорными стенками в горном Дагестане. Почвоведение, 1: 26–36. DOI: 10.7868/S0032180X18010033.
- Владыченский А.С. 1998. Особенности горного почвообразования. М., Наука, 189 с.
- Залибеков З.Г. 1982. Классификация и диагностика почв Дагестана. Махачкала, Дагестанский филиал АН СССР, 84 с.
- Залибеков З.Г. 2010. Почвы Дагестана. Махачкала, Прикаспийский институт биологических ресурсов, 241 с.
- Исмагилов Р.Р., Абдулвалеев Р.Р. 2015. Пространственная изменчивость плодородия почвы на рельефе. Современные проблемы науки и образования, 1–2: 286.
- Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федоров М.П. 1978. Радиационный режим наклонных поверхностей. Л., Гидрометеиздат, 215 с.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry, 10 (3): 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
- Borisov A.V., Chernysheva E.V., Korobov D.S. 2016. Buried Paleoanthrosols of the Bronze Age agricultural terraces in the Kislovodsk basin (Northern Caucasus, Russia). Quaternary International, 418: 28–36. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.08.054.
- Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. Biology and fertility of soils, 6: 68–72. DOI: 10.1007/BF00257924.
- Lisetskii F., Stolba V., Marinina. O. 2015. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea. Geoderma, 239–240: 304–316. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.006.



- Ryabogina N., Borisov A., Idrisov I., Bakushev M. 2019. Holocene environmental history and populating of mountainous Dagestan (Eastern Caucasus, Russia). *Quaternary International*, 516: 111–126. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.06.020.
- Hall Sh.J., Trujillo J., Nakase D., Strawhacker C., Kruse-Peebles M., Schaafsma H., Briggs J. 2013. Legacies of Prehistoric Agricultural Practices Within Plant and Soil Properties Across an Arid Ecosystem. *Ecosystems*, 16: 1273–1293. DOI: 10.1007/s10021-013-9681-0.

References

- Aglarov M.A. 1964. Tekhnika sooruzheniya terrasnykh poley i voprosy evolyutsii form sobstvennosti [The technique of construction of terraced fields and the issues of the evolution of ownership forms]. *Uchenyye zapiski. Tom XIII. Seriya istoricheskaya*: 177–193.
- Amirkhanov H.A. 1983. Nachalo zemledeliya v Dagestane [The beginning of agriculture in Dagestan]. *Priroda*, 2: 58–59.
- Balamirzoev M.A., Mirzoev E.R., Adzhiev A.M., Mufarajev K.G. 2008. Pochvy Dagestana. Ekologicheskiye aspekty ikh ratsionalnogo ispolzovaniya [Soils of Dagestan. Ecological aspects of their rational use]. Makhachkala, Dagestanskoye knizhnoye izdatelstvo, 335 p.
- Borisov A.V., Kashirskaya N.N., El'tsov M.V., Pinsky V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A. 2021. Soils of Ancient Agricultural Terraces of the Eastern Caucasus. *Eurasian Soil Science*, 54 (5): 665–679 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229321050045.
- Borisov A.V., Kalinin P.I., Korobov D.S., Idrisov I.A. 2018. Soils of agricultural terraces with retaining walls in the mountains of Dagestan. *Eurasian Soil Science*, 51 (1): 22–31 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229318010040.
- Vladychenskiy A.S. 1998. Osobennosti gornogo pochvoobrazovaniya [Features of mountain soil formation]. Moscow, Publ. Nauka, 189 p.
- Zalibekov Z.G. 1982. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Dagestana [Classification and diagnostics of soils of Dagestan]. Makhachkala, Publ. Dagestan branch of the USSR Academy of Sciences, 84 p.
- Zalibekov Z.G. 2010. Pochvy Dagestana [Soils of Dagestan]. Makhachkala, Publ. Prikaspiyskiy institut biologicheskikh resursov, 241 p.
- Ismagilov R.R., Abdulvaleev R.R. 2015. Spatial variability of soil fertility on the relief. *Modern problems of science and education*, 1–2: 286 (in Russian).
- Kondratiev K.Ya., Pivovarova Z.I., Fedorov M.P. 1978. Radiatsionnyy rezhim naklonnykh poverkhnostey [Radiation regime of inclined surfaces]. Leningrad, Publ. Hydrometeoizdat, 215 p.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. 1978. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10 (3): 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8.
- Borisov A.V., Chernysheva E.V., Korobov D.S. 2016. Buried Paleoanthrosols of the Bronze Age agricultural terraces in the Kislovodsk basin (Northern Caucasus, Russia). *Quaternary International*, 418: 28–36. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.08.054.
- Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and fertility of soils*, 6: 68–72. DOI: 10.1007/BF00257924.
- Lisetskii F., Stolba V., Marinina. O. 2015. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea. *Geoderma*, 239–240: 304–316. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.11.006.
- Ryabogina N., Borisov A., Idrisov I., Bakushev M. 2019. Holocene environmental history and populating of mountainous Dagestan (Eastern Caucasus, Russia). *Quaternary International*, 516: 111–126. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.06.020.
- Hall Sh.J., Trujillo J., Nakase D., Strawhacker C., Kruse-Peebles M., Schaafsma H., Briggs J. 2013. Legacies of Prehistoric Agricultural Practices Within Plant and Soil Properties Across an Arid Ecosystem. *Ecosystems*, 16: 1273–1293. DOI: 10.1007/s10021-013-9681-0.

*Поступила в редакцию 14.01.2022;
поступила после рецензирования 28.02.2022;
принята к публикации 09.03.2022*

*Received January 14, 2022;
Revised February 28, 2022;
Accepted March 9, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пинской Виктор Николаевич, м.н.с., аспирант лаборатории археологического почвоведения Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия.

Каширская Наталья Николаевна, к.б.н., с.н.с., лаборатории археологического почвоведения Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия.

Идрисов Идрис Абдулбутаевич, к.г.н., в.н.с., Института геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, г. Махачкала, Россия.

Ельцов Максим Витальевич, к.б.н., с.н.с., лаборатории археологического почвоведения Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия.

Борисов Александр Владимирович, к.б.н., в.н.с., зав. лаб. археологического почвоведения Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor N. Pinskoy, junior researcher post-graduate student of the laboratory of archaeological soil Science of the Institute of physical, chemical and biological problems of soil science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia.

Natalya N. Kashirskaya, Phd in biology, main researcher of the laboratory of archaeological soil Science of the Institute of physical, chemical and biological problems of soil science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia.

Idris A. Idrisov, Phd in geography, leading researcher head of the Institute of Geology Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia.

Maxim V. Eltsov, Phd in biology, main researcher of the laboratory of archaeological soil Science of the Institute of physical, chemical and biological problems of soil science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia.

Aleksandr V. Borisov, Phd in biology, leading researcher head of the laboratory of archaeological soil Science of the Institute of physical, chemical and biological problems of soil science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia.



УДК 911.3
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-14-25

**Тридцать лет постсоветского приграничного пространства:
уроки и перспективы
(результаты международной научно-практической конференции
«Стратегия развития приграничных территорий:
традиции и инновации», 23–25 сентября 2021 г., Курск)**

Попкова Л.И.

Курский государственный университет,
Россия, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33
E-mail: geopoli13@gmail.com

Аннотация. Предлагаемая статья представляет краткий обзор результатов международной научно-практической конференции, посвящённой систематизации проблем и выявлению тенденций научных разработок по приграничной тематике. Содержательный посыл конференции направлен на объединение усилий учёных и практиков по гармонизации традиционных и формированию инновационных направлений развития геостратегических приграничных территорий, представляющих фасад государства, но зачастую слабо инфраструктурно и экономически обеспеченных периферийных местностей. Исследование этого феномена коррелирует с решением фундаментальных задач, направленных на выявление влияния новых геополитических вызовов на экономическое, социокультурное, демографическое развитие, уровень и качество жизни населения приграничных территорий. Определение особенностей и оценка эффективности реализации программ социально-экономического развития приграничья составляет базу для прогнозирования тенденций и направлений развития приграничных территорий. Результатом проведения конференции стала выработка резолюции, включающей рекомендации по совершенствованию региональной приграничной политики. По итогам работы конференции издан сборник статей.

Ключевые слова: стратегирование, приграничные территории, традиции, инновации, научное сотрудничество, теория, практика, тенденции научных исследований

Для цитирования: Попкова Л.И. 2022. Тридцать лет постсоветского приграничного пространства: уроки и перспективы (результаты международной научно-практической конференции «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации», 23–25 сентября 2021 г., Курск). Региональные геосистемы, 46(1): 14–25. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-14-25

**Thirty Years of the Post-soviet Border Space: Lessons and Prospects
(Results of the International Scientific and Practical Conference
"Strategy for the Development of Border Territories:
Traditions and Innovations", 23–25 September 2021, Kursk)**

Lyudmila I. Popkova

Kursk State University,
33 Radishcheva St, Kursk 305000, Russia
E-mail: geopoli13@gmail.com

Abstract. The proposed article presents a brief overview of the results of the international scientific and practical conference dedicated to the systematization of problems and the identification of trends in scientific developments on cross-border topics. The substantive message of the conference is aimed at

combining the efforts of scientists and practitioners to harmonize traditional and form innovative directions for the development of geostrategic border areas that represent the facade of the state, but often have poor infrastructure and economically secure peripheral areas. The study of this phenomenon correlates with the solution of fundamental problems aimed at identifying the impact of new geopolitical challenges on economic, socio-cultural, demographic development, the level and quality of life of the population of border areas. Determining the features and assessing the effectiveness of the implementation of programs for the socio-economic development of borderlands constitutes the basis for predicting trends and directions of development of border areas. The result of the conference was the development of a resolution including recommendations for improving regional border policy. Based on the results of the conference, a collection of articles was published.

Key words: strategizing, border areas, traditions, innovation, scientific cooperation, theory, practice, research trends

For citation: Popkova L.I. 2022. Thirty years of the post-soviet border space: lessons and prospects (results of the international scientific and practical conference "Strategy for the development of border territories: traditions and innovations", September 23–25, 2021, Kursk). *Regional Geosystems*, 46(1): 14–25 (in Russian) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-14-25

Введение

Актуальность проведения конференций, посвященных современному состоянию и развитию приграничного пространства, обусловлена необходимостью обсуждения проблем территорий, обозначенных в Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. как геостратегических, обеспечивающих устойчивое и сбалансированное международное и межрегиональное взаимодействие, национальную безопасность страны, представляющих его фасад, витрину.

Динамичность смены парадигм вытекает из обзора наиболее важных теорий, отражающих их дифференциацию, тематическое разнообразие и междисциплинарный характер¹. В лимологии произошёл переход от концепции иллюзорного мира без границ к реальному сооружению физических барьеров и секьюритизации. Глобализация не оправдала оптимистический сценарий мирового развития, вследствие чего преобладающей научной парадигмой остаётся анализ границ и продуцируемых ими приграничных территорий как биосоциальной константы и необходимого элемента общественной жизни². Мотивирующим аспектом проведения серии конференций стало понимание того, что исследование приграничных территорий прогрессирует как одно из быстро развивающихся междисциплинарных научных направлений (border studies). Открываются специализированные исследовательские центры, издаются тематические журналы (*Journal of Borderlands Studies*), монографии и атласы; сформирована Международная ассоциация пограничных исследований, осуществлены крупные проекты³.

Это существенно повышает важность обнаружения тенденций и обсуждения проблем влияния трансформации границ на человеческую деятельность в зависимости от смены их функций – с мембранно-контактной на барьерную, поэтому конференция включает как значимые теоретические доклады, представленные ведущими российскими и за-

¹ Newman D. 2009. *New Geographies of Contemporary Borders*. In: *Geographic Contributions to International Studies (International Studies Compendium Project)*. Ed. Flint. Blackwell Publishing: 131–150; Newman D. 2011. *Contemporary Research Agendas in Border Studies: An Overview*. In: *Ashgate Research Companion to Border Studies*. Ed. D. Wastl-Water. Oxford, Ashgate Publishers: 33–47.

² Колосов В.А. 2018. *Пограничные исследования в России и за рубежом: теоретические подходы и достижения*. В кн.: *Российское пограничье: вызовы соседства*. М.: ИП Матушкина И.И.: 17–38.

³ *Российское пограничье: социально-политические и инфраструктурные проблемы*. 2016. Под ред. В.А. Колосова, А.Б. Володина. Материалы всероссийской научно-практической конференции, 11 февраля 2016, Москва, ИП Матушкина И.И.: 188.



рубежными учёными, так и прикладные сообщения специалистов-практиков. К настоящему времени проходит период адаптации научных и прикладных разработок, что является насущным требованием современности.

Международные научно-практические конференции «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации» проводятся в Курском государственном университете с 2014 г., а традиции приграничных исследований были заложены ещё в 1994 г. С тех пор усилия курских учёных неоднократно поддерживались отечественными и зарубежными научными фондами. По материалам исследований, в т.ч. серии экспедиционных полевых работ, в 2007 г. была защищена докторская диссертация Л.И. Попковой, постепенно, но последовательно сформирован научный коллектив по разработке приграничной тематики. За период научного интереса к приграничной тематике были налажены контакты с вузами России, Украины, Беларуси, Приднестровья, Польши, закреплённые договорами о сотрудничестве. Каждая из шести проведенных конференций характеризуется наращиванием научного и практического потенциала: усилением состава участников, расширением географии, привлечением специалистов, непосредственно связанных с повседневными работами приграничных территорий.

По результатам работы конференций принимались резолюции. Как правило, основными пунктами в них было дальнейшее развитие теории и практики приграничных исследований; распространение научного знания о приграничье; объединение усилий учёных и практиков, направленных на снижение негативных последствий, возникших вследствие приобретения границей барьерных функций. Все эти решения в той или иной степени реализовываются. Некоторые рассчитаны на перспективу: например, создание совета глав приграничных районов; разработка рекомендаций по согласованию и координации региональных стратегий развития приграничных территорий.

Решения конференции, требующие длительного периода их внедрения, переходили от одной конференции к другой, иные – трансформировались в соответствии с изменяющимися условиями, в том числе и геополитическими, какие-то находятся в процессе созревания. Одним из важных результатов внедрения решений предыдущей конференции стала организация междисциплинарной лаборатории приграничных исследований (ЛвПрИС), сформирован научный коллектив по данной тематике. В целом, ведётся последовательная и конструктивная деятельность по реализации решений, принятых по результатам проведения конференций.

Отметим, что исследование границ безгранично и никогда не теряет своей актуальности, особенно в тех государствах, которые имеют немало стран-соседей. Междисциплинарный характер исследования приграничных территорий является одной из особенностей, определяющих основные направления научных и практических разработок в этой области. Создаваемый на приграничных территориях социально-экономический градиент обуславливает перемещение через границу товаров и людей, способствует международной миграции. Вследствие интенсивного трансграничного обмена трансформируется экономическая, социальная, демографическая и расселенческая ситуация. Как правило, приграничные территории стран-соседей отличаются по величине ВВП на душу населения, среднедушевым денежным доходам, среднемесячной заработной плате и другим важным показателям. Исследование этих различий является важной чертой социально-экономического развития приграничных территорий, что не потеряет своей актуальности до тех пор, пока существуют государства.

Состояние проблематики приграничных исследований хорошо отразил постоянный участник наших конференций, зам. директора, заведующий лабораторией геополитических исследований Института географии РАН, д.г.н., профессор В.А. Колосов. Он отметил: «Приграничные исследования доказали, что последние события серьезно повлияли на общественную значимость границ, изменили диалектическую взаимосвязь между их твердой

фиксированностью в пространстве и постоянно меняющимся режимом, поставили проблему влияния границ на человеческую деятельность в новых условиях»⁴.

Традиции проведения приграничных конференций в регионах европейской территории России сложились во многих регионах: Москве, Санкт-Петербурге, Калининграде, Смоленске, Пскове, Петрозаводске, Белгороде, Курске и др. Каждая из этих конференций имеет свою целевую аудиторию, масштаб, задачи, периодичность и тематику, во многом определяемую особенностями географического положения и состоянием современной геополитической ситуации. По статусу это всероссийские и международные, научные и научно-практические конференции, форумы.

Лабораторией геополитических исследований Института географии РАН инициированы Всероссийские научно-практические конференции, посвящённые проблемам развития трансграничной инфраструктуры России. Их отличительной особенностью является участие не только учёных, но и руководителей Минтранса, Росгранстроя, таможенной и пограничной служб, торгово-промышленной палаты, представителей предпринимательского сообщества, чья деятельность связана с российским приграничьем. Это придаёт практико-ориентированный характер конференциям, зарекомендовавшим себя в качестве ведущей российской площадки, объединяющей российских специалистов в области лимологии⁵.

В 2021 г. состоялась международная конференция в Санкт-Петербурге «Политическая география и геополитика в России: исторический опыт и современность» приуроченная к 150-летию В.П. Семёнова-Тян-Шанского, позволившая осмыслить эволюцию политико-географических и геополитических исследований.

Проведение конференций по приграничной тематике разделено по регионам, участкам границ и полигонам исследования. Калининградские конференции с говорящим названием «Балтийский регион» ориентированы на соответствующую территориальную привязку в силу географического положения и общности проблем приграничных районов России и зарубежных стран, находящихся в зоне влияния Балтийского моря. Это международные научные, а с 2019 г. – международные научно-практические конференции. Тематически они освещают проблемы и перспективы трансграничного сотрудничества вдоль Западного побережья России, в том числе со странами, расположенными вокруг Балтийского моря⁶.

⁴ Колосов В.А. 2018. Пограничные исследования в России и за рубежом: теоретические подходы и достижения. В кн.: Российское пограничье: вызовы соседства. М.: ИП Матушкина И.И.: 17–38.

⁵ Российское пограничье: социально-политические и инфраструктурные проблемы. 2016. Под ред. В.А. Колосова, А.Б. Володина. Материалы всероссийской научно-практической конференции, 11 февраля 2016, Москва, ИП Матушкина И.И.: 188; Российское пограничье: сотрудничество и вызовы соседства. 2018. Под ред. В.А. Колосова. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 11 февраля 2016, Москва, ИП Матушкина И.И.: 562; Российское пограничье: проблемы развития в новых геополитических условиях. 2019. Под ред. В.А. Колосова, А.Б. Володина. Материалы всероссийской научно-практической конференции, 06 апреля 2017, Москва, ИП Матушкина И.И.: 180.

⁶ Балтийский регион – регион сотрудничества – 2018: проблемы и перспективы трансграничного сотрудничества вдоль западного побережья России. 2018. Под ред. Г.М. Федорова, Л.А. Жиндарева, А.Г. Дружинина, Т. Пальмовского. Материалы международной научной конференции, 28–30 августа 2018, Калининград, Балтийский федеральный университет им. И. Канта: 371; Балтийский регион – регион сотрудничества – 2019. 2019. Под ред. Г.М. Федорова, Л.А. Жиндарева, А.Г. Дружинина, Т. Пальмовского. Материалы III международной научно-практической конференции, 27–31 августа 2019, Калининград, Балтийский федеральный университет им. И. Канта: 223; Балтийский регион – регион сотрудничества. Регионы в условиях глобальных изменений. 2020а. Под ред. А.А. Михайлова. Материалы международной научно-практической конференции, 21–23 октября 2020, Калининград, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Т. 4, ч. 1: 320; Балтийский регион – регион сотрудничества. Регионы в условиях глобальных изменений. 2020б. Под ред. А.А. Михайлова. Материалы международной научно-практической конференции, 21–23 октября 2020, Калининград, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Т. 4, ч. 2: 191; Балтийский регион – регион сотрудничества. Регионы в условиях глобальных изменений. 2020в. Под ред. А.А. Михайлова. Материалы международной научно-практической конференции, 21–23 октября 2020, Калининград, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Т. 4, ч. 3: 155.



Знаковой стала проведённая в 2021 г. на базе Балтийского федерального университета, в самом западном субъекте нашей страны – в Калининградской области – научная конференция «Рубежи России: геополитика, регионалистика, историческая память». Приведём строки из анонса этого значимого мероприятия: «Рубежи государств исторически играли важную роль в мировых геополитических процессах. Многие из них приобрели славу стратегических форпостов или дипломатических мостов, но некоторые вошли в историю как уязвимые приграничные территории, не сумевшие эффективно обеспечивать национальные интересы своих государств в сложной геополитической обстановке»⁷.

Научный коллектив Смоленского государственного университета ориентирован на исследование особенностей современного экономического и социального развития регионов российско-белорусского приграничья. На конференции 2016 г. особое внимание уделено центр-периферийным отношениям, перспективам развития российско-белорусского приграничья как единого трансграничного региона⁸.

В 2019 г. Псков стал центром организации и проведения мероприятия «Ганзейский форум приграничного сотрудничества «Путь навстречу»⁹. Раз в год представители исторических городов разных стран собираются на мероприятие, напоминающее о давнем и прогрессивном опыте взаимовыгодного сотрудничества.

Один раз в два года проводятся масштабные конференции в Петрозаводске на базе Института экономики Карельского научного центра РАН. Это традиционная площадка для обсуждения теоретических и практических аспектов развития приграничных территорий. В 2021 г. состоялась конференция в рамках форума «Интеграционные процессы в российском и международном научном пространстве: опыт и перспективы». Конференция позиционируется как мультидисциплинарная, направленная на изучение и решение экономических, социальных, экологических, политологических, культурологических и образовательных проблем приграничных регионов¹⁰.

В приграничном Белгороде очень мощным центром исследования проблем приграничья стал Институт приграничного сотрудничества и интеграции (ИПСИ). Не задаваясь целью осветить все разнообразные и многочисленные мероприятия, проводимые в этом русле, остановимся на наиболее значимом, с нашей точки зрения, мероприятии: международном интеграционном форуме «Приграничье», который проводится с 2014 г. Цель форума – содействие социально-экономическому развитию приграничных территорий при помощи интеграционных проектов в сфере бизнеса, развития гражданского общества и взаимодействия органов власти всех уровней. На форуме организована работа дискуссионных экспертных площадок, где представлены собственные инициативы и проекты в об-

⁷ Рубежи России: геополитика, регионалистика, историческая память. 2021. Научная конференция, 23–24 августа 2021, Калининград. URL: <http://rubezhy.kantiana.ru/>.

⁸ Российско-белорусское приграничье: проблемы и перспективы развития. 2016. Материалы международной научной конференции, 13–14 октября 2016, Смоленск, Универсум: 280.

⁹ Ганзейский союз Нового времени (или «Новая Ганза») – это международная неправительственная межмуниципальная организация, ставящая своей целью развитие торговли и туризма. Возрождение Ганзейского союза инициировали жители голландского города Зволле, объединившиеся с соседями для поддержки торгово-туристических отношений. Организация создана в 1980 году – в год 700-летия средневекового Ганзейского союза. Был образован руководящий центр – Ганзейская комиссия.

¹⁰ Перспективы социально-экономического развития приграничных регионов. 2016. Материалы третьей научно-практической конференции с международным участием, 09 июня 2016, Петрозаводск, Карельский научный центр РАН: 132; Перспективы социально-экономического развития приграничных регионов. 2018. Под ред. Т.В. Морозовой, Н.Г. Колесникова. Материалы V научно-практической конференции с международным участием, 08 июня 2018, Петрозаводск, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Карельский научный центр Российской академии наук": 324; Перспективы социально-экономического развития приграничных регионов. 2019. Под ред. Т.В. Морозовой, Н.Г. Колесникова. Материалы VI международной научно-практической конференции, 26–28 сентября 2019, Петрозаводск, Карельский научный центр Российской академии наук: 465.

ласти приграничного сотрудничества¹¹. В декабре 2021 г. проведён международный интеграционный форум «Приграничье – 2021».

Отличительной особенностью международных научно-практических конференций «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации» является достаточно широкое представительство приграничных регионов России и зарубежных стран, междисциплинарный характер и попытка сблизить научные разработки с прикладными исследованиями и практикой повседневной жизни приграничных регионов¹².

Актуальность проблем, вынесенных для обсуждения на шестой международной научно-практической конференции «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации», обусловлена подведением итогов тридцатилетнего развития нового российского приграничья. За этот период не только произошло теоретическое осмысление концептуальных направлений развития приграничья, но и появились инновационные подходы к исследованию разнонаправленных трансформационных процессов. Соотношение интеграционного и дезинтеграционного трендов вызвало интерес к эконометрическому исследованию конвергентных и дивергентных векторов, обозначило усиление экономических и социальных градиентов в приграничье, наращивание асимметрии некогда единого пространства.

Исследование приграничных территорий наиболее эффективно продвигалось на тех направлениях, где возникала насущная необходимость в реагировании на политические вызовы и сотрудничество с зарубежными партнерами. Это свидетельствует о наличии значительного потенциала для совершенствования методологии и методики исследования социально-экономических проблем приграничных регионов, оценки потенциала трансграничного сотрудничества. Анализ взаимосвязей между теоретическими и прикладными разработками обозначил слабые звенья в этой цепи. Это довольно сложная задача, поскольку наука и практика в общественных науках редко следуют одна за другой. Для приведения их в соответствие конференция в Курске ориентируется на организацию круглых столов по выработке решений, устраняющих узкие места стратегического развития для повышения благосостояния жителей приграничных территорий. Данная проблема актуализирована в плане её постановки, её решение – это вопрос будущего. Это обещает нашей конференции долгую жизнь, ориентированную на гармонизацию развития приграничных территорий, создание комфортной среды для жителей и поддержания привлекательного международного имиджа приграничного региона как витрины страны.

¹¹ Приграничье–2017. 2017. Под ред. В.П. Бабинцева. Материалы Международного интеграционного форума, 13–15 декабря 2017, Белгород, АНО «Институт приграничного сотрудничества и интеграции»: 213; Приграничье–2018. 2018. Сборник научных трудов по итогам интеграционного форума «Приграничье–2018», 04–05 декабря 2018, Белгород, АНО «Институт приграничного сотрудничества и интеграции»: 458.

¹² Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. 2014. Под ред. Л.И. Попковой, И.Е. Требушковой, С.Г. Казакова. Материалы международной научно-практической конференции, 25–27 сентября 2014, Курск, Курский государственный университет: 419; Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. 2015. Под ред. Л.И. Попковой, И.Е. Требушковой, С.Г. Казакова. Материалы международной научно-практической конференции, 15–17 мая 2015, Курск, Курский государственный университет: 235; Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. 2017. Под ред. Л.И. Попковой. Курск, Курский государственный университет, 456; Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. 2018. Под ред. Л.И. Попковой, Ц. Мадры, Л.Б. Вардомского. Материалы международной научно-практической конференции, 18 мая 2018, Курск, Курский государственный университет: 362; Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. 2018. Под ред. Л.И. Попковой, Ц. Мадры, Л.Б. Вардомского. Курск, Курский государственный университет, 129; Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации. Тридцать лет постсоветских границ. 2021. Под ред.: Л.И. Попковой, С.Г. Казакова. Материалы VI международной научно-практической конференции, 23–25 сентября 2021, Курск, Курский государственный университет: 423.



Обзор ключевых докладов конференции: аффилиация и тематика

Отметим, что данная статья продолжает серию публикаций, посвященных анализу конференций «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации»¹³. Обобщающие материалы по конференциям 2014–2018 гг. опубликованы в тематическом выпуске журнала «Региональные исследования»¹⁴, в котором представлен достаточно полный анализ всех предыдущих конференций.

Тематикой представленных на конференции докладов стали теоретические и прикладные проблемы приграничных регионов России и зарубежных стран. Теоретические изыскания представлены достаточно широким набором тем: особенностями тридцатилетней динамики трансграничных взаимодействий; эволюцией теории функционализма и приграничье; теоретической лимнологией как междисциплинарным научным направлением; методами пространственной эконометрики в изучении приграничных территорий, факторам трансформации цивилизационных фронтов на территории российско-украинского приграничья.

Прикладные исследования посвящены проблемам приграничного взаимодействия, социально-экономическому развитию приграничных территорий (это самая популярная тема среди участников конференции 2021 г.), состоянию демографических и расселенческих структур в приграничье. Традиционно для наших конференций достаточно весомый блок представлен туристско-рекреационными кластерами и экологическими проблемами приграничного пространства.

Практико-ориентированный характер конференции обеспечили представители государственных учреждений, деятельность которых связана с развитием приграничных территорий. На заседании круглого стола наряду с дискуссионными вопросами развития современного российско-украинского приграничья было акцентировано внимание на трансформации структуры и направлений миграций; на изменения в работе курской таможни; современное состояние товарной и географической структуры экспорта и импорта Курской области в условиях коронавирусных ограничений. В дискуссии приняли участие учёные из Беларуси (Минск), Польши (Познань), Москвы, Курска.

Участники конференции, как правило, представляли устный доклад и материалы для публикации результатов исследований. Некоторые авторы представили только научные доклады, другие – приняли заочное участие, прислав материалы для публикации. Особый интерес вызывает разнообразие тем исследований.

Статусный состав участников конференции представлен кадрами высшей квалификации – докторами и кандидатами наук:

- географических (6 докторов и 29 кандидатов),
- социологических (1 доктор и 2 кандидата),
- исторических (1 кандидат),
- экономических (3 кандидата),
- биологических (2 кандидата),
- сельскохозяйственных (2 кандидата).

В конференции приняли участие 11 молодых учёных, устремления которых связаны с исследовательской деятельностью и которые пока не имеют учёной степени. Молодёжное крыло также представлено и кандидатами наук.

¹³ Вардомский Л.Б., Попкова Л.И., Мадры Ц. 2017. Обсуждение проблем приграничных территорий. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2: 121–123; Попкова Л.И. 2019а. Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации (итоги международной научно-практической конференции). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 3: 116–118; Попкова Л.И. 2019б. Теория и практика приграничных исследований. Геополитика и экогеодинамика регионов, 5 (15(1)): 243–250.

¹⁴ Попкова Л.И., Казаков С.Г. 2018. Приграничье в зеркале географических исследований. Региональные исследования, 3 (61): 133–137.

Учёные представляли 24 вуза: МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, МГИМО, МГОУ, Российский государственный университет физической культуры, спорта молодёжи и туризма, РЭУ им. Г.В. Плеханова; федеральные университеты: Крымский, Казанский (Приволжский), Уральский им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина; НИУ «Белгородский государственный университет»; государственные университеты: БГУ (Минск), Брянский, Ереванский, Западно-Казахстанский им. М. Утемисова, Курский, Петрозаводский, Приднестровский им. Т.Г. Шевченко, Смоленский, Тамбовский им. Г.Р. Державина; Академия управления при Президенте Азербайджанской Республики, Армянский государственный экономический университет, Высшая банковская школа во Вроцлаве, университет им. Адама Мицкевича в Познани, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина; 5 академических учреждений – Институт географии РАН, институт демографических исследований федерального научно-исследовательского центра РАН, Институт экономики Карельского научного центра РАН, НИИ труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Могилёвский региональный центр социально-экономических исследований.

На конференции доминировало представительство московских учёных (12), курских (11), белгородских (8), белорусских (5). Остальные страны и регионы представлены 1–2 участниками. На конференции 2021 г. в зоне внимания участников конференции оказались приграничные территории России, Украины, Беларуси, Молдовы, Приднестровья, Польши, Германии, Китая, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Финляндии, стран Меркосур, канадской Арктики, непризнанные и частично признанные государства. Из регионов российского приграничья представлены Курская, Белгородская, Воронежская, Брянская, Ростовская области, республики Карелия, Дагестан, Крым.

Методические основы научного содержания конференции касались междисциплинарных подходов к исследованию такого сложного объекта, как приграничные территории. На конференции были представлены географические, экономические, социологические, исторические, политологические, лингвистические, экологические и др. подходы к исследованию природы, населения и хозяйства приграничных территорий.

Тематически все доклады были разделены на блоки. Первый из них посвящён теории и практике приграничных взаимодействий. В программном докладе доктора географических наук, профессора, заместителя директора, заведующего лабораторией геополитических исследований института географии РАН В.А. Колосова подведены итоги тридцатилетнего периода исследования постсоветских границ, отмечено отсутствие территориально дифференцированной политики соседства как одной из ключевых проблем российского пограничья. Квинтэссенция выступления образно выражена словами: «Фридрих Ратцель сравнивал границу с периферийным органом государства, а Жак Ансель – с его кожей. «Здоровье» этого органа – залог здоровья всего тела. «Здоровье» пограничья зависит от настройки его функций в обеспечении безопасности государства, с одной стороны, а с другой – в устранении препятствий для бесперебойного взаимодействия с окружающим миром вообще и соседними странами в частности. Без соблюдения баланса между барьерной и контактной функциями границы, отраженного в особой политике соседства, достичь нужных показателей «здоровья» будет затруднительно».

Докладчик остановился на основных этапах динамики трансграничных взаимодействий, оценил новые вызовы, обусловленные активизацией центробежных тенденций после присоединения Крыма к России и войны в Донбассе, западными санкциями и контрсанкциями, разрывом отношений между Россией и Украиной. Важным аспектом доклада Владимира Александровича стала информация об обострениях и положительных сдвигах, связанных с делимитацией и демаркацией границ, созданием институтов сотрудничества и адаптация транспортных сетей.

Теоретическим осмыслением современных процессов, происходящих в приграничных социально-экономических системах, стала статья международного коллектива авторов:



А.В. Степанова, Ю.Ю. Ковалева (к.г.н., Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина), Л.И. Попковой (д.г.н., Курский государственный университет), П.А. Черномаза (к.г.н., Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина). В ней рассматривается концепция функционализма и неофункционализма в контексте развития региональной интеграции и ее роли в развитии приграничных регионов. Анализируются механизмы влияния на социально-экономические процессы в приграничье, движущие силы и факторы приграничных социально-экономических проектов.

С методологическим докладом о теоретической лимологии как междисциплинарном научном направлении выступил В.Е. Шувалов, к.г.н., доцент кафедры экономической и социальной географии МГУ им. М.В. Ломоносова. Он предложил подходы к формированию науки о границах, призванные решать проблемы многозначности и разнородности базовых лимологических понятий. Теоретическая лимология накопила определенный потенциал для решения понятийно-терминологических проблем, в том числе в сфере основных функций границ, а также общеклассификационных задач. Он отметил важность подготовки и издания «Понятийно-терминологического словаря» по лимологии.

Методы пространственной эконометрики для изучения приграничных территорий предложил к. полит. н., в. н. с., директор Центра пространственного анализа международных отношений МГИМО И.Ю. Окунев. В своём докладе он познакомил участников конференции с возможностями использования в исследованиях порубежных территорий различных методов пространственного анализа: географического разрыва регрессии, глобальной и локальной пространственной автокорреляции; обратного кластерного анализа с использованием географических координат в качестве переменной; многомерного шкалирования в двумерном и трехмерном пространстве; географический дискурс-анализ. Эти сравнительно новые для политической географии методы вызвали дискуссию в зале конференции.

Содержательные выступления прозвучали от гостей из Армении. Г.А. Баласаняна (к.и.н., Ереванский государственный университет) познакомил присутствующих с предпосылками формирования ЕАЭС как одного из этапов экономической интеграции на территории бывшего СССР и современными перспективными направлениями его развития: межрегиональным и трансграничным сотрудничеством, молодежной политикой, формированием Межпарламентской ассамблеи.

Факторы трансформации цивилизационных фронтиров в российско-украинском приграничье детально осветил д. социол. н., директор института приграничного сотрудничества и интеграции, зав. кафедрой социальных технологий и государственной службы Белгородского государственного национального исследовательского университета В.А. Сапрыка. Специфика социокультурной трансформации может определяться как функциями границы, так и восприятием границы и приграничья массовым и элитарным сознанием. В качестве маркирующих пространство приграничных фронтиров рассмотрены: этнический; языковой; ментальный, теоретический, парадигмальный; военно-политический.

На пленарном заседании свои доклады представили гости из зарубежных стран. Представитель Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, П.А. Черномаз (к.г.н., доцент кафедры международных экономических отношений имени Артура Голикова) выступил с докладом об украинско-российском пограничье, которое рассматривается как особое территориальное образование, сформировавшееся на границе расселения российского и украинского этносов. Автор обращает особое внимание на духовные, политические и экономические аспекты его развития и считает политическую конфронтацию, приведшую к сворачиванию трансграничного взаимодействия, разрыву социальных связей и экономического сотрудничества, следствием цивилизационного конфликта.

Интересное сообщение прозвучало от наших коллег из Приднестровья, к.г.н., доцента Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко М.П. Бурлы и О.Н. Бурлы. Рассказали о потенциале, состоянии и перспективах приграничного сотрудничества Приднестровья в условиях внешних ограничений и неопределенности международного

политико-правового статуса. Докладчик озвучил основные проблемы, с которыми сталкиваются жители Приднестровья и очертил возможные пути их смягчения.

Польская коллега из Высшей банковской школы (Вроцлав), профессор факультета рекреации и туризма, Иоанна Щепанкевич-Баттек обратила внимание участников конференции на последствия, которые оказало воссоединение Германии на ситуацию вокруг польско-германской границы. Она детально проанализировала демографические, социальные, экономические и инфраструктурные изменения, которые оказывают влияние на приграничные польско-германские территории. Они во многом схожи с теми приграничными пространствами, которые разделяют страны с существенным градиентом в уровне жизни и получаемых доходах.

На конференции выступили казахские коллеги: преподаватель О.А. Зотова и к.г.н., доцент Т.А. Терещенко из Западно-Казахстанского университета им. М. Утемисова остановились на особенностях формирования и современного состояния системы расселения в приграничных регионах Оренбургской и Западно-Казахстанской областей, в котором граница рассматривается как фактор расселения. Представлены картографические модели территориальной концентрации населения приграничных областей, свидетельствующие об усилении концентрации населения в приграничных городах и районных центрах.

На секционных заседаниях конференции приняли участие 17 гостей, в том числе из Беларуси, Минска (Г.В. Ридевский, Е.А. Антипова, И.И. Запрудский, А.Н. Шавель); Москвы (С.Н. Мищук; О.Н. Толстых; А.Б. Себенцов; Р.А. Бабкин, В.А. Мацур); Смоленска (А.П. Катровский); Белгорода (Т.А. Полякова; В.В. Бубликов); Воронежа (А.С. Овсянников); Петрозаводска (С.В. Кондратьева); Польши, Познани (Ц. Мадры); Молдовы, Кишинёва (Е. Пахомова).

Все выступающие акцентировали внимание на актуальных для регионального развития исследуемых регионов проблемах. Отдельно хотелось бы отметить содержательное выступление Г.В. Ридевского, к.г.н., доцента, зав. отделом социально-трудовых исследований Научно-исследовательского института труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь. В результате анализа динамики численности населения регионов российско-белорусского приграничья в постсоветский период сделан вывод о значимости сближения уровня социально-экономического развития центра и периферии посредством сбалансированной государственной макроэкономической политики в области оплаты труда, поскольку эффективная экономика и устойчивое демографическое развитие при высоком уровне бедности априори невозможны.

Исследование межстоличных регионов представлено в сообщениях д.г.н. А.П. Катровского и д.г.н. Е.А. Антиповой. Темой выступления д.г.н., профессора кафедры географии Смоленского государственного университета А.П. Катровского стала социально-экономическая деградация российско-белорусского приграничья, на которую у автора доклада сложился особый взгляд. По его мнению, в условиях рыночных трансформаций Москва, Минск, Санкт-Петербург, обладая более высоким социально-экономическим потенциалом и благоприятным инвестиционным климатом, не дают шансов периферийным регионам, включая российско-белорусское пригранижье, на привлечение инвестиций в развитие высокотехнологичных производств и тем самым оказывают «токсичное влияние» на приграничные районы.

С этим докладом перекликается выступление Е.А. Антиповой, д.г.н., профессора, зав. кафедрой экономической и социальной географии Белорусского государственного университета, которая осветила главные пространственные тренды за тридцать лет демографической динамики в белорусско-российском приграничье. Анализ показал прогрессирующее сокращение численности населения, расширение зоны демографической стагнации и депрессии. Межстоличная ось приграничных районов и приграничные районы, непосредственно примыкающие к государственной границе, показывают идентичные тренды демографической динамики.



Коллектив белгородских географов кафедры природопользования и земельного кадастра института наук о Земле НИУ «Белгородский государственный университет» в составе к.г.н., доцентов Н.В. Чугуновой, Т.А. Поляковой и студентки Д.Н. Морковской осветил особенности и следствия пространственного развития приграничных территорий Центрально-Черноземного района. На примере развития приграничных с Украиной областей Центрально-Черноземного района получены статистически достоверные выводы о стратификации уровня социально-экономического развития, установлены проблемы социально-экономического развития порубежных районов, показана необходимость создания целевой программы их развития.

Разнообразие представленных в секционных докладах приграничных регионов обеспечивалось следующими научными докладами: ведущего научного сотрудника Института демографических исследований РАН, к.э.н. С.Н. Мищук – о миграционных процессах в приграничных регионах Дальнего Востока России; к.г.н., с.н.с. лаборатории геополитических исследований института географии РАН А.Б. Себенцова – о трансграничных практиках и экономическом развитии Южной Осетии; к.г.н., доцента Российского государственного университета физической культуры, спорта, молодежи и туризма О.Н. Толстых – об этнической идентичности коренных народов канадской Арктики (Северного Квебека и территории Нунавут); аспиранта МГУ им. М.В. Ломоносова В.А. Мацура – о влиянии пандемии COVID-19 на трансграничные системы расселения стран Меркосур; аспирантки факультета журналистики и коммуникационных наук Молдавского государственного университета, продюсера НТВ-Молдова Е. Пахомовой – о трансформации русского языка: от объединяющего фактора до метода давления.

С обобщающим, интегральным докладом об изучении границ и пограничья в социально-экономической географии Польши выступил профессор географии из Института социально-экономической географии и пространственного управления университета им. Адама Мицкевича, г. Познань (Польша) Цезары Мадры. Его выступление посвящено влиянию изменения границ на социально-экономическую географию Польши. Автор рассказал о том, что децентрализация государства в 90-е годы 20 века увеличила спрос на специалистов в области пространственного управления, что расширило возможности научных исследований и преподавания социально-экономической географии, увеличило занятость в университетах и свидетельствует о большом потенциале общественной географии как самостоятельной дисциплины, о чём свидетельствует создание Института социально-экономической географии и пространственного управления в университетах Познани и Слупска, увеличении спроса на специалистов в области пространственного управления.

В этом кратком обзоре мы постарались представить наиболее актуальные доклады, которые, с одной стороны, показали бы мозаику научных интересов участников конференции, с другой стороны, осветили тесную взаимосвязь тематики, теории и методологии российских и зарубежных исследований. Третьей важнейшей характеристикой обзора стал факт привлечения к участию в конференции молодых учёных, которые существенно расширили географию и тематику приграничных исследований. Подчеркнём также разнообразие учебных и академических учреждений, с которыми аффилированы авторы выступлений и публикаций.

Выводы

Участники конференции отметили высокий научный уровень сообщений и на пленарном, и на секционных заседаниях. В целом на конференцию было представлено 75 докладов из 9 зарубежных стран (Азербайджана, Армении, Беларуси, Казахстана, Молдовы, Приднестровья, Узбекистана, Украины, Польши) и 11 зарубежных городов (Баку, Ереван, Минск, Могилёв, Уральск, Кишинёв, Тирасполь, Ташкент, Вроцлав, Познань, Харьков), а также из российских городов (Белгорода, Брянска, Владикавказа, Воронежа, Екатеринбург-

га, Курска, Москвы, Оренбурга, Петрозаводска, Санкт-Петербурга, Симферополя, Смоленска, Тамбова).

В конференции приняли участие учёные из высших учебных заведений и академических институтов. Показательно, что приграничные территории становятся объектом междисциплинарных исследований. На нашей конференции представлены географы, историки, социологи, политологи, лингвисты.

По результатам работы конференции сформулированы следующие обобщающие положения:

1. Конференция «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации» заполняет географическую нишу в системе приграничных конференций, проводимых на европейской территории России.

2. Отличительной особенностью конференции стал повышенный интерес к славянской составляющей приграничных исследований: более 22 % выступлений посвящено российско-украинскому приграничью и более 10 % – российско-белорусскому, что обусловлено географическим положением района проведения конференции и теснотой контактов с белорусскими исследователями приграничья.

3. Научно-практический статус конференции подкреплён не только определённой (существенной) долей исследований прикладного характера, но и активным участием специалистов, повседневная деятельность которых напрямую связана с государственной границей.

4. Конференция привлекает внимание столичных исследователей (Москва, Минск, Ереван, Кишинёв, Ташкент, Тирасполь) и представителей приграничных территорий.

5. По результатам работы конференции принята резолюция, в которой отмечен достаточно высокий научный статус докладчиков, уровень представленных сообщений, широкая география участников, междисциплинарная тематика и участие в работе конференции специалистов и экспертов, деятельность которых связана с границей.

6. Вместе с тем, в резолюции отмечены пожелания усиления геополитической составляющей исследований, расширения вопросов стратегирования как за счёт приглашения специалистов по стратегическому развитию территорий, так и за счёт расширения количества тематических сообщений. Для обеспечения дискуссионности работы круглого стола предложена заблаговременная подготовка провокационных докладов.

7. Признать проведение международной научно-практической конференции «Стратегия развития приграничных территорий: традиции и инновации» на базе Курского государственного университета важным вкладом в развитие теории и практики приграничных исследований.

*Поступила в редакцию 12.01.2022;
поступила после рецензирования 22.01.2022;
принята к публикации 17.02.2022*

*Received January 12, 2022;
Revised January 22, 2022;
Accepted February 17, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Попкова Людмила Ивановна, доктор географических наук, профессор кафедры географии, заведующая лабораторией приграничных исследований Курского государственного университета, г. Курск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Lyudmila I. Popkova, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geography, Head of the Laboratory of Cross-Border Studies of Kursk State University, Kursk, Russia



УДК 551.43
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Устойчивое развитие современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай)

Лапин П.С.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3
Email: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Работа является продолжением ранее проведенных исследований по выявлению морфогенетических особенностей развития современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай), в которых установлены морфогенетические особенности в развитии рельефа и выявлена область интенсивного развития современных рельефообразующих процессов. В данной работе в пределах районов осуществлен детальный анализ взаимозависимостей между морфотипами, что позволило ранжировать их по степени устойчивости. Актуальность работы определяется необходимостью дальнейшей разработки критериев оценки современного состояния рельефа земной поверхности, которое определяется деятельностью экзогенных и эндогенных процессов. В пределах районов выявлены фации устойчивого развития разного иерархического уровня. В нашем случае фация – элементарная природная геосистема, характеризующаяся однородными геолого-геоморфологическими условиями, которые контролируются ведущим современным рельефообразующим процессом. Установлено, что наличие в пределах области большого числа морфотипов, характеризующих её неустойчивое развитие, не является основным признаком интенсивности рельефообразующих процессов. Совместный пространственный анализ морфотипов устойчивого и неустойчивого развития позволил выявить область интенсивных и устойчиво протекающих процессов рельефообразования.

Ключевые слова: морфометрические показатели, денудация и эрозия рельефа, морфогенетический ряд, регрессионный анализ, современный морфогенез, цифровая модель рельефа

Для цитирования: Лапин П.С. 2022. Устойчивое развитие современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай). Региональные геосистемы, 46(1): 26–39. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai)

Pavel S. Lapin

Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics
of the Siberian Branch of the RAS,
3 Ac. Koptuyuga Ave., Novosibirsk 630090, Russia
Email: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Abstract. The work is a continuation of earlier studies to identify morphogenetic features of the development of modern relief in the area of the junction of the Chuya and Kurai intragonal depressions

(Altai Mountains), which allowed us to establish morphogenetic features in the development of relief and to identify the area of intensive development of modern relief-forming processes. In this paper, a detailed analysis of the interdependencies between morphotypes was carried out within the districts, which made it possible to rank them according to the degree of stability. The relevance of the work is determined by the need for further development of criteria for assessing the current state of the relief of the Earth's surface, which is determined by the activity of exogenous and endogenous processes. Facies of sustainable development of different hierarchical levels have been identified within the districts. In our case, facies is an elementary natural geosystem characterized by homogeneous geological and geomorphological conditions, which are controlled by the leading modern relief-forming process. It is established that the presence within the region of a large number of morphotypes characterizing its unstable development is not the main sign of the intensity of relief-forming processes. A joint spatial analysis of the morphotypes of stable and unstable development allowed us to identify the area of intensive and stable processes of relief formation.

Keywords: morphometric indicators, denudation and relief erosion, morphogenetic series, regression analysis, modern morphogenesis, digital elevation model

For citation: Lapin P.S. 2022. Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai). *Regional Geosystems*, 46(1): 26–39 (in Russian) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Введение

За последние 20 лет резко возрос интерес к изучению Курайской и Чуйской межгорных впадин. Он обусловлен произошедшим в 2003 г. Чуйским землетрясением. Проводятся комплексные исследования: тектонические [Буслов и др., 2013; Ветров и др., 2016], морфотектонические и неотектонические [Новиков и др., 2008; Новиков, Поспеева, 2017], [Агатова и др., 2019], на современном этапе – геодезические [Михайлов и др., 2010] и геотермические [Малолетко, 2006]. Проводятся работы по установлению структурной неоднородности объекта исследования [Поспеева, Потапов, 2021]. Анализу же современных рельефообразующих процессов уделяется меньшее внимание, а они, как известно, активно реагируют на проявления сейсмичности, которая в пределах зоны сочленения Курайской и Чуйской межгорных впадин достаточно высока. В геоморфологии при изучении современных процессов, наравне с другими методами, значительное внимание уделялось и уделяется морфометрическим методам [Караваев, Семиноженко, 2019; Харченко, 2020; Безгодова, 2021]. Из обзора С.В. Харченко следует, что за последние 20 лет особого прогресса в разработке морфометрических методов не отмечено. Основное внимание уделялось способам получения значений морфометрических показателей, построению карт и схем и их сопоставлению. Аналогичная ситуация отмечалась и ранее, а чтобы перейти от простого сопоставления морфометрических данных, разрабатывался общий показатель эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности, обладающий эмерджентным свойством и являющийся основанием классификации рельефа земной поверхности по ведущему рельефообразующему процессу. Они были ориентированы на поиски способа оценки изменений элементов форм рельефа, происходящих под действием современных рельефообразующих процессов. Такая методика с позиций системно-формационного подхода была создана, в дальнейшем усовершенствована и применена в настоящем исследовании для анализа устойчиво развития рельефа.

В теоретической геоморфологии, как в одном из основополагающих разделов науки, который предопределяет дальнейшее её развитие, периодически происходит переосмысление накопленного материала. Это относится и к исследованию устойчивого развития рельефа на основе методов генетической морфологии и морфометрии. Анализ особенностей развития рельефа является составной частью ландшафтного районирования. В физической географии устойчивому развитию ландшафтов уделялось пристальное внимание [Арманд, 1975]. Так, И.С. Щукин [1980] под устойчивостью ландшафта



понимал его способность длительно сохранять свою структуру и функциональные особенности. Н.А. Солнцев [1963] отмечал, что явления природы непрерывно развиваются, этот процесс приостановить невозможно, а искать абсолютную устойчивость бесполезно. Он считал, что устойчивость – это понятие относительное, поскольку у многих объектов разная скорость развития рельефа. В физической географии устойчивость ландшафтов очень часто оценивается по физико-географическим показателям, например, индексу биологической эффективности [Абалаков, Лопаткин, 2014]. Вместе с тем, исследования должны быть направлены не только на выявление устойчивости ландшафтов, но и на разработку возможных путей повышения их степени устойчивости. Для этого необходимо замедлить все естественно протекающие процессы (размыв, оползание, осыпи, обвалы и т.д.), а это уже задача генетической морфологии и морфометрии по оценке проявления современных рельефообразующих процессов как составной части ландшафта.

В геоморфологии задача по разработке критериев устойчивого развития рельефа была поставлена в середине прошлого века. Для решения этой задачи использовались различные методы, основанные как на морфоструктурном подходе, на выделении морфологических особенностей в строении водосборных бассейнов [Берлянт, 1984; Сетунская, 1986; Симонов, 1998], так и в рамках генетической морфологии и морфометрии [Якименко, 1990]. Эти исследования для выделения и анализа изучаемого объекта приносят субъективизм в исследования, поскольку при их проведении анализируется суммарный эффект различных критериев. При построении профилей равновесия [Сетунская, 1986] водосборный бассейн анализируется как единое целое. В действительности, в его пределах можно выделить районы различного генезиса, но уже по другим критериям. Ряд методов в рамках генетической морфологии и морфометрии [Мещеряков, 1972] основаны на поэтапном анализе морфометрических показателей и результатах полевых исследований, непосредственно направленных на установления генезиса рельефа. Ведущий рельефообразующий процесс можно определить на специальных стационарах [Ивановский, Титова, 1982; Баженова, 2007], но полученную информацию необходимо с большой осторожностью распространять на прилегающие территории. Вместе с тем, в ряде геологических дисциплин генезис выявляется из модельных построений.

Анализ взаимодействия процессов морфогенеза – одна из наиболее интересных и ещё недостаточно изученных областей геоморфологии, что заставляет исследователей периодически к ней обращаться [Тимофеев, 1972; Ласточкин, 1991; Тимофеев, 2004]. Теоретические работы [Поздняков, 1988; Уфимцев, 1994] и ряд других исследований, позволили по-иному отнестись к применению в геоморфологии морфологических и морфометрических методов.

Ранее [Лапин, 2019] в пределах области сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай) выделены морфогенетические особенности в развитии рельефа отдельных районов на основе преобладания двух групп процессов: склоновых или флювиальных. На основе синтеза районов различной генетической направленности предложена полигенетическая модель развития оврагов. Результаты моделирования позволили выявить область интенсивного развития современных рельефообразующих процессов, которая соответствует области геоморфологического риска. Напомним, что разработанная методика основана на совместном анализе морфологической триады (водораздел–склон–днище оврага) и значениях общего показателя эрозионно-денудационного расчленения рельефа, который отражает взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов.

По результатам наших исследований, можно предложить несколько вариантов её решения. Один предполагает искусственное изменение облика земной поверхности морфотипов как составной части морфогенетического ряда, в пределах которого анализируемые значения показателей существенно отличны от расчетных, что приведет к зна-

чительной устойчивости рельефа в пределах района. Второй, если этот район устойчиво развивается относительно области (отмечено соответствие морфогентических рядов область–район), то его устойчивость можно контролировать незначительными изменениями рельефа и избежать катастрофических явлений.

Актуальность работы определяется необходимостью дальнейшей разработки критериев оценки современного состояния рельефа земной поверхности, которое определяется деятельностью экзогенных и эндогенных процессов. По аналогии с понятиями «фа́ция (ландшафтоведение)» [Щукин, 1980], «биогеоценоз» [Сочава, 1978] в работе вводится понятие фация. В нашем случае фация – элементарная природная геосистема, характеризующаяся однородными геолого-геоморфологическими условиями, которые контролируются ведущим современным рельефообразующим процессом.

Цель исследования – осуществить морфогенетическое районирование рельефа земной поверхности водораздела рек Чаган-Узун – Чуя на уровне районов и выявить в их пределах области устойчивого и неустойчивого развития.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – водораздел между реками Чаган-Узун и Чуя – находится в зоне сочленения Курайской и Чуйской впадин (рис. 1). Анализируется рельеф земной поверхности, который может быть представлен его цифровой моделью. Методика выделения морфогенетических рядов описана нами ранее [Лапин, 2015]. Напомним, что в процессе моделирования на земной поверхности выделяются районы с соответствующими им морфогенетическими рядами. Морфогенетический ряд характеризуется определенным, упорядоченным набором морфотипов, а их анализ на уровне области или района позволил выявить морфогенетические особенности развития рельефа земной поверхности и установить область геоморфологического риска. Особенности развития рельефа на уровне области и района выделялись нами с привлечением кластерного анализа и теории графов (рис. 1).

Для выявления устойчивого развития в пределах выделенных районов анализировались уже не коды морфотипов в морфогенетических рядах, а непосредственно измеренные значения показателей. Ранее [Лапин, 2019] в пределах объекта исследования было проведено морфогенетическое районирование и выделено 29 районов. Каждый район соответствовал одному из морфогенетических рядов, которые описывали развитие рельефа земной поверхности под действием склоновых или флювиальных процессов. Морфогенетический ряд характеризовал последовательную смену морфотипов, которая происходила за счет изменения значений общего показателя эрозионно-денудационного расчленения. Последний объединяет три морфометрических показателя: густоту и глубину эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности и максимальный угол наклона.

Предварительный анализ распределения значений показателей подтвердил правильность заданных нами моделей выделения ведущего рельефообразующего процесса и возможность использования их при достижении поставленной цели. Нами было отмечено, что в пределах района упорядоченность значений морфометрических показателей анализируемого свойства различна. Смена значений показателей связана с изменением объема материала, перемещаемого рельефообразующими процессами. Она не может быть произвольной и её изменения происходят под действием одного из ведущих рельефообразующих процессов. Эту смену проще всего оценить на основе построения модели статистического прогнозирования, а именно – регрессионной модели. Приемы и методы статистической обработки данных применяются в различных областях знания, в том числе геоморфологии, географии и нефтяной геологии.

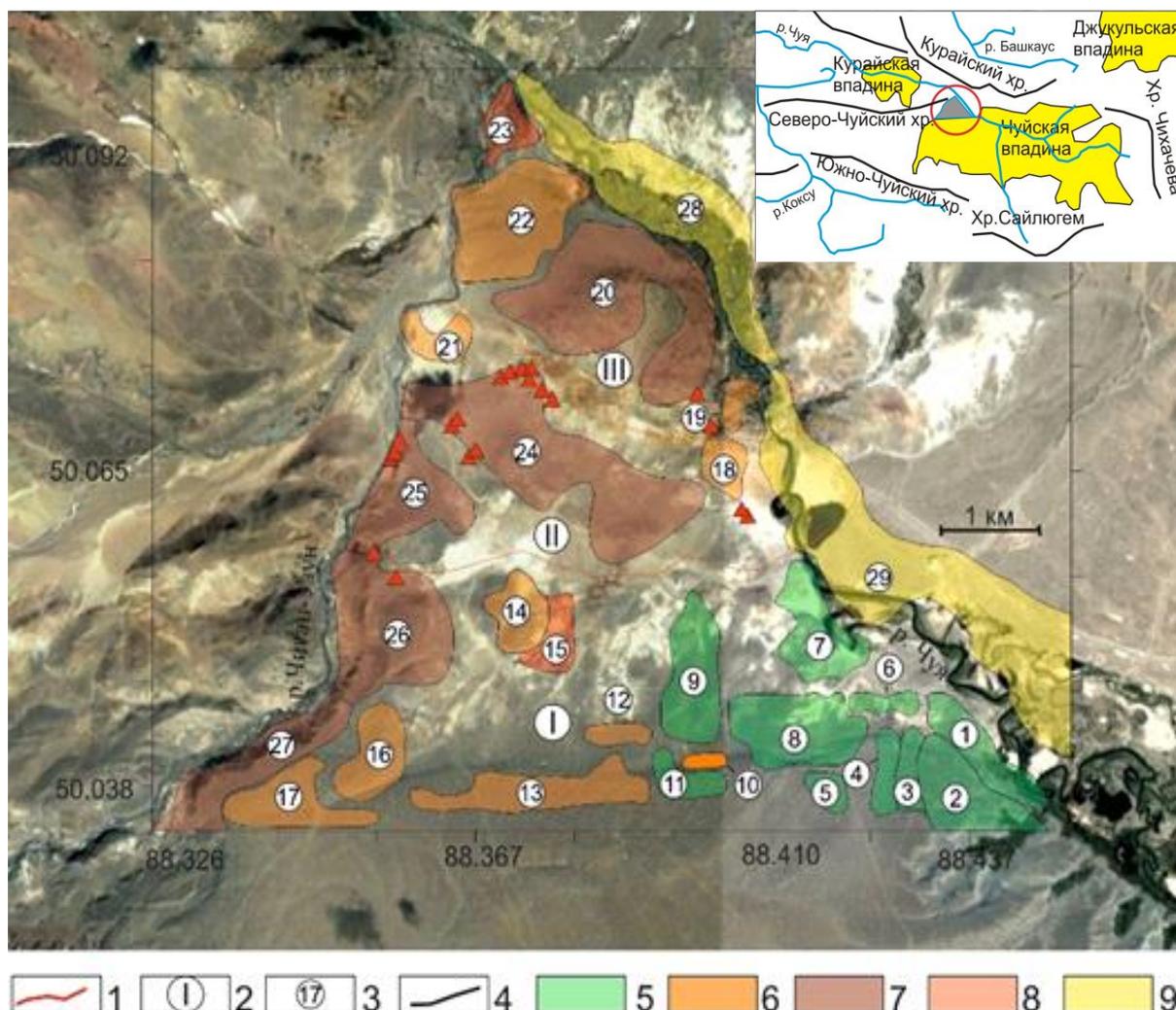


Рис. 1. Схема морфогенетического районирования водораздела рек Чаган-Узун и Чуя: 1 – границы областей; 2 – номера областей; 3 – номера районов; 4 – границы районов; 5 – районы с преобладанием: склоновых процессов и линейной эрозии; 6 – районы с преобладанием склоновых процессов и попятной эрозии; 7 – районы с преобладанием флювиальных процессов и параллельного отступления склонов; 8 – районы с преобладанием склоновых процессов и типичными значениями горизонтальной расчлененности рельефа; 9 – районы с преобладанием склоновых процессов и уменьшения углов наклона склонов

Fig. 1. Scheme of morphogenetic division (zoning) into districts of a watershed of the Chagan-Uzun and Chuya Rivers: 1 – borders of areas; 2 – numbers of areas; 3 – numbers of regions; 4 – borders of regions; 5 – areas with prevalence of slope processes and a linear erosion; 6 – areas with prevalence of slope processes and a up erosion; 7 – areas with prevalence of fluvial processes and parallel retreat of slopes; 8 – areas with prevalence of slope processes with typical values of a horizontal dissection of a relief; 9 – areas with prevalence of slope processes and decrease of the inclination angles of the slopes

Кратко опишем метод аппроксимации, который применялся в настоящей работе. С его помощью можно осуществлять приблизительные подсчеты путем замены исходных объектов на более простые. Именно приближение путем упрощения и сглаживания известных значений показателей, выстраивание их в тенденцию и является основой метода. Для прогнозирования и анализа данных воспользовались средствами *Excel*. Осуществлялось построение линии тренда на основе графика функции, позволяющей выявлять общие тенденции в развитии рельефа. В своих исследованиях применили линейный вид аппроксимации. Анализовали взаимозависимость глубины эрозионно-денудационного расчле-

нения рельефа от изменения угла наклона склона или величины густоты расчленения рельефа. Сглаживание, которое используется в данном случае, описывается следующей формулой:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

где y – значения показателя вреза гидросети относительно водораздела, а x , в зависимости от модели развития рельефа земной поверхности принимает значения густоты эрозионно-денудационного расчленения или угла наклона склона.

Вычисление разности фактических значений глубины эрозионно-денудационного расчленения со значениями, вычисленными по уравнению регрессии, дало возможность определить их отклонения. С этой целью вычислялись координаты точки пересечения двух прямых. Одна – это линия тренда, а вторая – линия регрессии параллельная оси OY , которая вычислялась по формуле:

$$x = c, \quad (2)$$

где c – координата фактического значения морфометрического показателя по оси OX . Разность фактического и расчетного значений показателя и является величиной отклонения. Анализ этих отклонений дает возможность выделять фации как устойчивые территории развития рельефа под действием ведущего процесса.

Результаты и их обсуждение

Основная задача, решаемая в настоящей работе, состояла в выявлении территорий устойчивого и неустойчивого развития с последующим их сопоставлением с областями наибольшей интенсивности проявления современных рельефообразующих процессов в пределах водораздела. Эта дополнительная характеристика в оценке развития рельефа позволила в пределах объекта исследования выделить область не только интенсивного проявления рельефообразующих процессов, но ещё и её устойчивого развития.

На первом этапе для каждого из 29 ранее выделенных районов была осуществлена линейная аппроксимация данных. Взаимозависимость между элементами в морфотипах устанавливалась непосредственно по значениям морфометрических показателей. Выявленные закономерности полностью соответствуют двум моделям развития рельефа. Так, для района с преобладанием флювиальных процессов при переходе между морфотипами оставались постоянными значения угла наклона склона, а два других параметра изменялись (рис. 2).

На рис. 2 на графике функции, где величина густоты расчленения является аргументом, а величина вреза гидросети – значением функции, достоверность аппроксимации достаточно высока ($R^2 = 0,7281$). В распределении фактических значений показателя можно заметить два отскока. Эти отскоки соответствуют реликтовой части района, которая также подвержена влиянию ведущего рельефообразующего процесса, но фактически под его действием не изменяется.

Анализ взаимозависимостей показал, что между значениями густоты расчленения рельефа и величиной наклона склона какая-либо связь отсутствует, а между величиной вреза гидросети и густотой расчленения рельефа она существует. Уравнение регрессии отражает основную тенденцию в проявлении ведущего рельефообразующего процесса. Очевидно, что чем теснее будет взаимозависимость между анализируемыми значениями, тем устойчивее будет проявляться ведущий процесс. Вычисляя отклонения реально существующих значений от расчетных, можно оценить устойчивость проявления ведущего процесса.

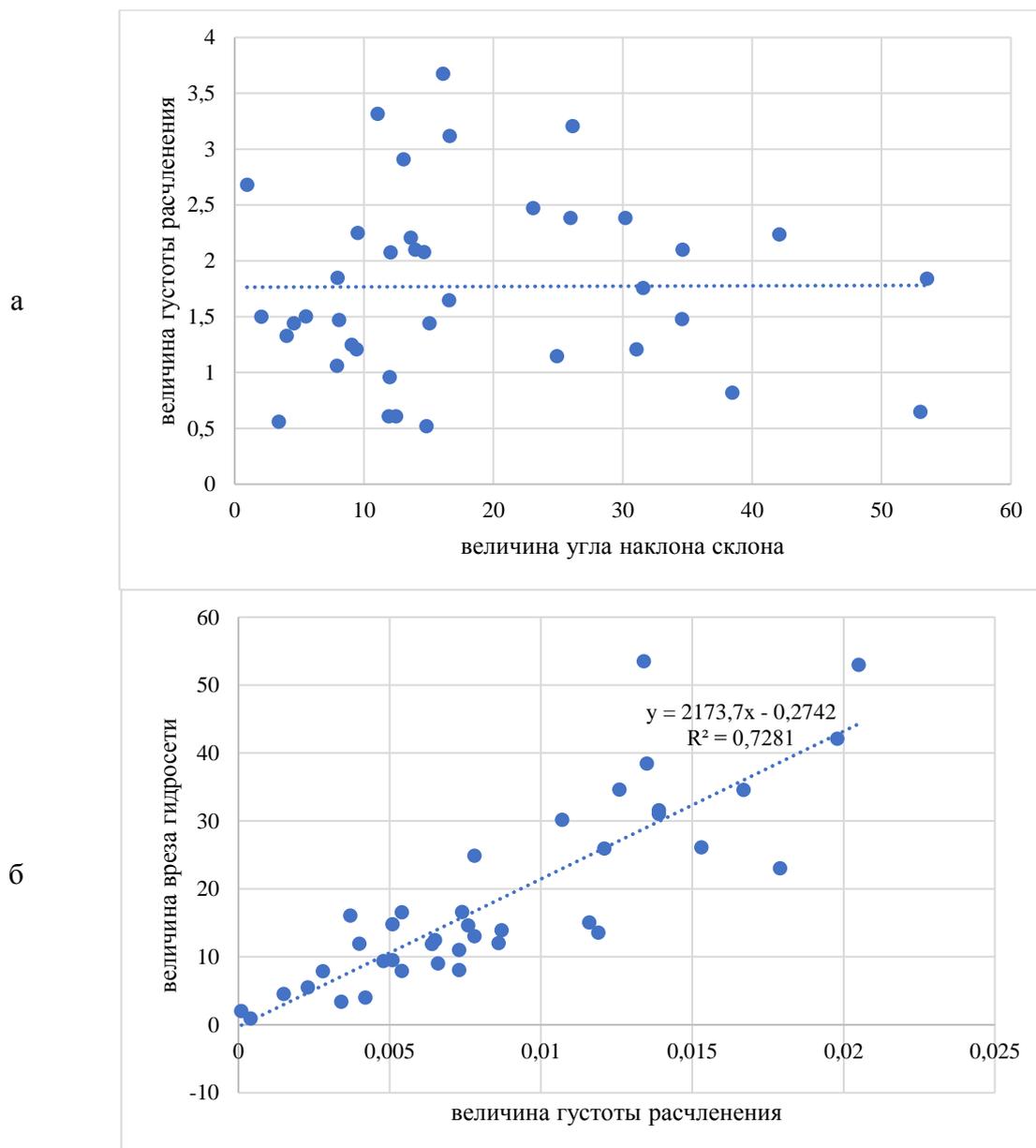


Рис. 2. Взаимозависимость анализируемых морфометрических показателей:
a – величины густоты расчленения и угла наклона склона; *б* – величины вреза гидросети и густоты расчленения рельефа, установленная для морфогенетического ряда одного из выявленных районов

Fig. 2. The interdependence of the analyzed morphometric indicators:
a – the values of the density of the dismemberment and the slope angle, *б* – the values of the cut of the hydraulic network and the density of the dismemberment of the relief, established for the morphogenetic series of one of the identified areas

На следующем этапе были вычислены отклонения фактических значений показателя глубины вреза гидросети относительно водораздела от расчетных значений. Эти отклонения определялись на основе совместного решения уравнения двух прямых: одна расчётная, вторая линия регрессии, что позволяло найти точку их пересечения и в дальнейшем определить разность фактических значений показателя величины вреза гидросети относительно водораздела от его расчётных значений (рис. 3).

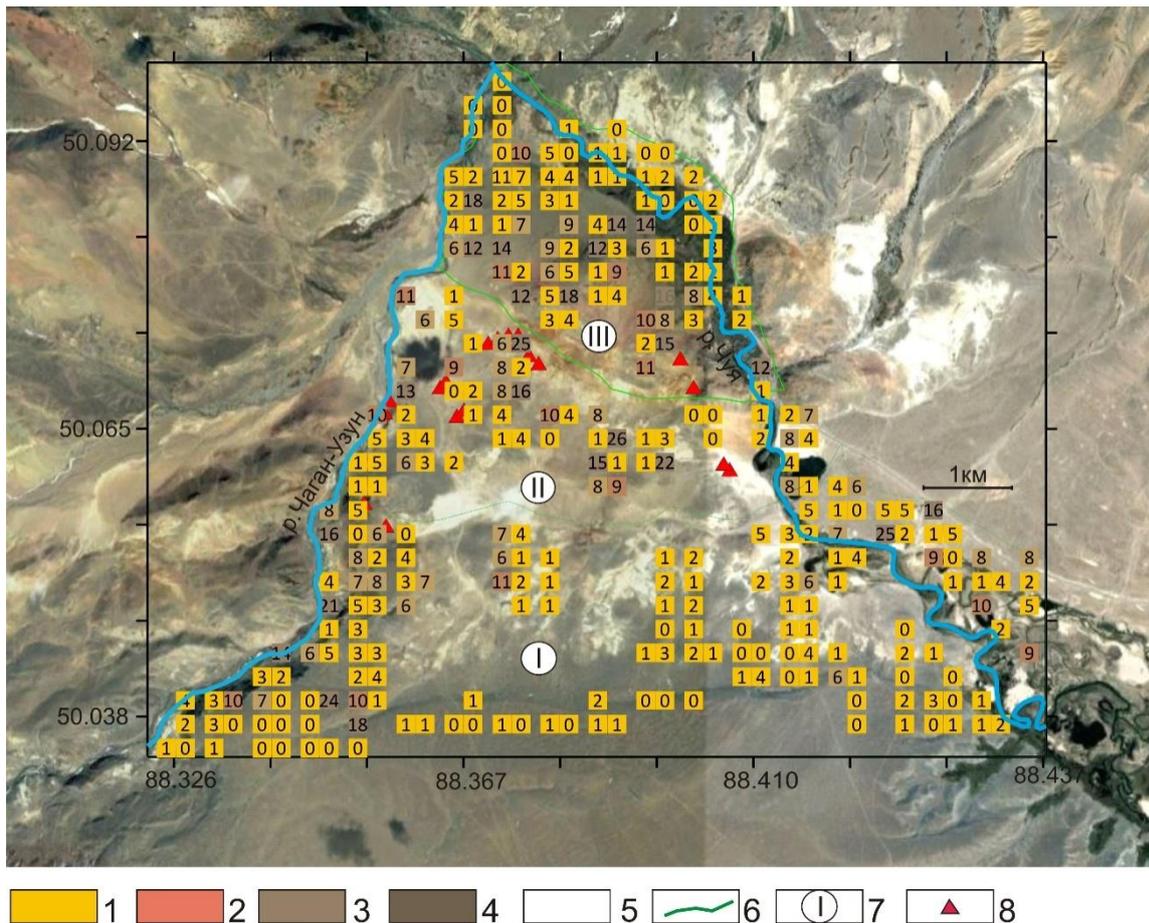


Рис. 3. Нормированные значения отклонения фактических и расчетных значений анализируемого показателя в пределах водораздела рек Чаган-Узун и Чуя: число значений отклонения по частоте встречаемости: 1 – незначительное; 2 – умеренное; 3 – значительные; 4 – очень значительные; 5 – территория с фоновым морфотипом; 6 – граница области; 7 – номер области; 8 – местоположение современных осыпей

Fig. 3. Normalized deviation values of the actual and calculated values of the analyzed indicator within the watershed of the Chagan-Uzun and Chuya rivers: the number of deviation values by frequency of occurrence: 1 – insignificant; 2 – moderate; 3 – significant; 4 – very significant; 5 – the territory with a background morphotype; 6 – the border of the region; 7 – the number of the region; 8 – the location of modern scree

Для выявления области устойчивого развития оценили частоту встречаемости морфотипов, в пределах которых установлено отклонение фактических значений показателя глубины врез гидросети относительно водораздела от его расчетных и выяснили, что наибольшее их число соответствует интервалу отклонения 0–6 м (см. таблицу). Нами этот интервал принят как совокупность морфотипов с устойчивым развитием рельефа, который в пределах района характеризует фацию.

Если в пределах областей оценивать характер проявления рельефообразующих процессов только по числу морфотипов (125–36–62), то наибольшая степень устойчивости отмечается для области I. Такой подход к анализу данных может привести к неверному выводу, поскольку в своих исследованиях мы уже не раз находили подтверждение высказанному предположению о том, что развитие рельефа происходит за счет вовлечения в сферу деятельности ведущего процесса областей неустойчивого развития территории. Неустойчивыми являются районы с фоновым морфотипом 111 (подробнее в [Лапин, 2019]). В пределах этих районов невозможно выделить ведущий процесс.



Для увеличения достоверности полученных результатов был осуществлен совместный анализ числа морфотипов, которые характеризуют устойчивое и неустойчивое развитие рельефа.

Число встречаемости морфотипов в пределах объекта исследования и по областям
The number of occurrences of morphotypes within the object of study and by region

Области	Число морфотипов, в пределах которых установлено отклонение фактических значений показателя глубины вреза гидросети относительно водораздела от его расчетных (м)				Число фоновых морфотипов
	Больше 12	12–9	9–6	6–0	
I	5	3	11	125	150
II	5	4	10	36	66
III	7	7	9	62	35
Объект исследования	17	14	30	223	251

Данные таблицы позволили выявить определенные тенденции в развитии современного рельефа земной поверхности. В целом, на уровне водораздела, соотношение устойчивых и неустойчивых морфотипов соотносятся как 1:1 (223:251), что свидетельствует о его больших потенциальных возможностях к развитию и изменению рельефа. Они реализуются за счет перераспределения площадей устойчивого и неустойчивого развития. В пределах изучаемого водораздела происходит большое число малоамплитудных землетрясений [Еманов и др., 2009], и наличие районов неустойчивого развития может являться, своего рода демпфером к дальнейшему изменению рельефа. Проверка этого предположения выходит за рамки поставленных в настоящей работе задач и требует проведения дополнительных исследований.

Анализ особенностей рельефообразующих процессов на уровне областей позволил установить, что развитие рельефа в пределах области I совпадает с развитием всего водораздела, а области II и III имеют свои специфические особенности развития. Область III развивается устойчиво, но в процессе развития не произойдет значительных изменений рельефа, поскольку соотношение морфотипов устойчивого и неустойчивого развития примерно составляет 2:1 (62:35). В этом случае любое внешнее воздействие на рельеф приведет, скорее всего, к большей интенсивности процессов рельефообразования в пределах фаций. В пределах области II соотношение анализируемых групп морфотипов существенно отличается от вышерассмотренных и соотносится, примерно, как 1:2 (36:66). Рельеф в пределах этой области развивается менее устойчиво, чем в областях I и III.

В пределах водораздела выделены морфотипы с большим отклонением между фактическими и теоретическими значениями анализируемого параметра. Для каждой области их число оказалось примерно равным, изменяются от 19 до 23 шт. (см. таблицу). Их количество никак не зависит от площади выделенных областей. Это артефакты, которые требуют дополнительных исследований. Можно предположить, что в пределах областей эти морфотипы соответствуют реликтовым формам рельефа.

На основе проведенных исследований ранее построенная модель развития оврага, учитывающая генетическое разнообразие территории, дополнена критерием её устойчивого или неустойчивого развития, который, на наш взгляд, должен повысить достоверность в оценке деятельности современных рельефообразующих процессов.

На первом этапе, для всех выделенных районов, со свойственными каждому из них морфогенетическими особенностями развития рельефа, реализована регрессионная модель. Она характеризует взаимозависимость значений двух показателей, которые описывают развитие рельефа под действием ведущего рельефообразующего процесса

(см. рис. 2). Далее, по результатам решения системы уравнений: из полученного уравнения регрессии и заданного параллельно оси ординат и проходящего через фактические значения анализируемых значений показателей находим точку пересечения двух прямых, что позволяет получить величину уклонения фактических значений показателя от его теоретических.

На втором этапе, по вычисленным значениям уклонений осуществлен кластерный анализ и выявлена часть земной поверхности в пределах района, которая характеризуется устойчивым развитием рельефа и названная нами фацией (см. рис. 3). Рельеф земной поверхности развивается более устойчиво, если площадь фации по своим размерам стремится к площади района, а последние – к площади области.

На завершающем этапе, из всего числа выделенных областей на основе сопоставления фаций и районов неустойчивого развития выявлена область неустойчивого развития. Полученная информация явилась существенным дополнением к ранее проведенному в пределах объекта исследования районированию, по результатам которого была выделена область II как область с минимальным морфологическим разнообразием и интенсивным проявлением современных рельефообразующих процессов. В её пределах соотношение площади устойчивого и неустойчивого развития минимально по отношению к другим областям. Любые внешние воздействия (сейсмичность, неравномерность неотектонических движений) будут приводить в пределах области к увеличению районов устойчивого развития за счет сокращения районов неустойчивого развития, и эта тенденция в развитии рельефа будет сопровождаться интенсивной деятельностью современных рельефообразующих процессов.

В заключение нами выполнена оценка достоверности полученных результатов. Верификация данных осуществлена на основе известного факта – пространственной приуроченности процесса оползнеобразования к зонам интенсивного проявления эндогенных и экзогенных процессов или их результирующей. Полученные данные хорошо согласуются с результатами, полученными из натуральных наблюдений [Достовалова, 2006] (см. рис. 3). Большинство оползней приурочены к выделенной области II, что подтверждает наши предположения о наличии в её пределах рельефообразующих процессов большей интенсивности.

Рельеф области II на современном этапе развития обладает не только значительной генетической однородностью, но и неустойчивостью этого развития, что подтверждает его высокую степень геоморфологического риска.

Заключение

В зоне сочленения Чуйской и Курайской межгорных впадин в дополнение к ранее проведенному морфогенетическому районированию получена информация о степени устойчивого развития современного рельефа, которая позволяет раскрыть многогранный характер его проявления. В результате построения регрессионной модели в пределах каждого выделенного района определен характер проявления ведущего рельефообразующего процесса. В процессе моделирования выявлены уклонения фактических и расчетных значений анализируемых показателей, позволившие осуществить фациальный анализ рельефа земной поверхности по преобладанию в пределах фации ведущего рельефообразующего процесса.

Таким образом, рельеф области II на современном этапе развития обладает не только значительной генетической однородностью, но и неустойчивостью этого развития, что увеличивает в её пределах степень геоморфологического риска. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы при оценке экстремальной составляющей эндогенного процесса рельефообразования и связанных с ней стихийных явлений.



Список литературы

- Агатова А.Р., Непоп Р.К., Хазин Л.Б., Жданова А.Н., Успенская О.Н., Овчинников И.Ю., Моска П. 2019. Новые хронологические, палеонтологические и геохимические данные о формировании ледниково-подпрудных озер в Курайской впадине (юго-восток Русского Алтая) в конце позднего плейстоцена. Доклады Академии наук, 488 (3): 319–322. DOI: 10.31857/S0869-5652488319-322.
- Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. 2014. Устойчивость ландшафтов и её картографирование. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 8: 2–14.
- Арманд Д.Л. 1975 Наука о ландшафте. (Основы теории и логико-математические методы). М., Мысль, 288 с.
- Баженова О.И. 2007. Внутривековая организация систем экзогенного рельефообразования в степях Центральной Азии. География и природные ресурсы, 3: 116–125.
- Безгодова О.В. 2021. Структурно-морфометрический анализ малого речного бассейна реки Ихе-Ухгунь (бассейн реки Иркут). Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 37: 3–16. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.
- Берлянт А.М. 1984. Морфометрические исследования рельефа в СССР: состояние, проблемы, перспективы. Геоморфология, 2: 15–24.
- Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Чен М., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А., Глори С. 2013. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтая-Саянской складчатой области. Геология и геофизика, 54 (10): 1600–1627.
- Ветров Е.В., Буслов М.М., Де Гравэ И. 2016. Эволюция тектонических событий и рельефа юго-восточной части Горного Алтая в позднем мезозое-кайнозое по данным трековой термохронологии апатита. Геология и геофизика, 57 (1): 125–142. DOI: 10.15372/GiG20160107.
- Достовалова М.С. 2006. Режимобразующие факторы криогенно-напорного подтопления территории села Кош-Агач. Природные ресурсы Горного Алтая, 1: 85–89.
- Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В. 2009. Элементы структуры и фазы развития афтершокового процесса Чуйского землетрясения. Физическая мезомеханика, 12 (1): 29–36.
- Ивановский Л.Н., Титова З.А. 1982. Итоги изучения современных экзогенных процессов рельефообразования на стационарах Института географии Сибири и Дальнего Востока. География и природные ресурсы, 4: 26–33.
- Караваев В.А., Семиноженко С.С. 2019. Морфометрия рельефа и особенности селепроявления на северном склоне Большого Кавказа. Доклады академии наук, 487 (4): 438–442. DOI: 10.31857/S0869-56524874438-442.
- Лапин П.С. 2015. Выявление литодинамических потоков как один из критериев нефтегазоносности зоны контакта доюрского фундамента и осадочного чехла в Широком Приобье. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 21 (1): 29–39.
- Лапин П.С. 2019. Морфогенетическая модель развития современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (4): 375–385. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
- Ласточкин А.Н. 1991. Рельеф земной поверхности (принципы и методы статической геоморфологии). Л., Недра, 340 с.
- Малолетко А.М. 2006. Геотермическое поле Курайской и Чуйской межгорных впадин. Природные ресурсы Горного Алтая, 2 (6): 28–30.
- Михайлов В.О., Назарян А.Н., Смирнов В.Б., Диаман М., Шапиро Н.М., Киселева Е.А., Тихоцкий С.А., Поляков С.А., Смольянинова Е.И., Тимошкина Е.П. 2010. Совместная интерпретация данных дифференциальной спутниковой интерферометрии и GPS на примере Алтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003 г. Физика Земли, 2: 3–16.
- Мещеряков Ю.А. 1972. Рельеф СССР: Морфоструктура и морфоскульптура. М., Наука, 519 с.
- Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. 2008. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике. Геология и геофизика, 49 (11): 1139–1149.

- Новиков И.С., Поспеева Е.В. 2017. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования. Геология и геофизика, 58 (7): 959–971. DOI: 10.15372/GiG20170701.
- Поздняков А.В. 1988. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М., Наука, 207 с.
- Поспеева Е.В., Потапов В.В. 2021. Глубинное строение зон сочленения Чуйской тектонической впадины Горного Алтая с её горным обрамлением по данным магнитотеллурических исследований. Геология и геофизика, 62 (4): 584–596. DOI: 10.15372/GiG2019155.
- Сетунская Л.Е. 1986. Овражная эрозия (методы изучения). В кн.: Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. М., Наука: 48–63.
- Симонов Ю.Г. 1998. Морфометрический анализ рельефа. Смоленск, Изд-во СГУ, 272 с.
- Солнцев Н.А. 1963. Некоторые теоретические вопросы динамики ландшафта. Вестник МГУ. Серия География, 2: 50–56.
- Сочава Б.В. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 320 с.
- Тимофеев Д.А. 1972. О некоторых геоморфологических законах. Геоморфология, 2: 3–12.
- Тимофеев Д.А. 2004. Принципы типизации геоморфологических процессов. Геоморфология, 4: 16–20.
- Уфимцев Г.Ф. 1994. Очерки теоретической геоморфологии. Новосибирск, Наука, 123 с.
- Харченко С.В. 2020. Новые задачи морфометрии рельефа и автоматизированные морфологические классификации в геоморфологии. Геоморфология, 1: 3–21. DOI: 10.31857/S043542812001006X.
- Щукин И.С. 1980. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М., Советская энциклопедия, 701 с.
- Якименко Э.Л. 1990. Морфометрия рельефа и геология. Новосибирск, Наука, 201 с.

References

- Agatova A.R., Nepop R.K., Zhdanova A.N., Ovchinnikov I.Y., Khazin L.B., Uspenskaya O.N., Moska P. 2019. New chronological, paleontological, and geochemical data on the formation of glacier-dammed lakes in the Kurai depression (southeastern Russian Altay) at the end of the late Pleistocene. Doklady Earth Sciences, 488 (1): 1134–1136 (in Russian). DOI: 10.1134/S1028334X19090228.
- Abalakov A.D., Lopatkin D.A. 2014. Mapping of Landscape Stability. The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 8: 2–14 (in Russian).
- Armand D.L. 1975. Nauka o landshafte. (Osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody) [Landscape Science. (Fundamentals of Theory and Logical-Mathematical Methods)]. Moscow, Publ. Myisl, 288 p.
- Bazhenova O.I. 2007. Intrasecular Organization of the Exogenous Relief-Formation Systems in the Steppes of Central Asia. Geography and Natural Resources, 3: 116–125 (in Russian).
- Bezgodova O.V. 2021. Structural and Morphometric Analysis of the Ihe-Ukhgun Small River Basin (Irkut River Basin). The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 37: 3–16 (in Russian). DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.
- Berlyant A.M. 1984. Morfometricheskie issledovaniya rel'efa v SSSR: sostoyanie, problemy, perspektivy [Morphometric studies of the relief in the USSR: state, problems, prospects]. Geomorfologiya, 2: 15–24.
- Buslov M.M., Travin A.V., Kulikova A.V., Semakov N.N., Rubanova E.S., Abildaeva M.A., Trofimova D.A., Geng H., Ming C., Otgonbaatar D., Voitishchek E.E., Stijn G. 2013. Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area. Russian Geology and Geophysics, 54 (10): 1250–1271 (in Russian).
- Vetrov E.V., Buslov M.M., De Grave J. 2016. Evolution of Tectonic Events and Topography in Southeastern Gorny Altai in the Late Mesozoic-Cenozoic (Data from Apatite Fission Track Thermochronology). Russian Geology and Geophysics, 57 (1): 95–110 (in Russian). DOI: 10.1016/j.rgg.2016.01.007.
- Dostovalova M.S. 2006. Rezhimoobrazuyushchiye faktory kriogenno-napornogo podtopleniya territorii sela Kosh-Agach [Regime-forming factors of cryogenic-pressure flooding of the territory of the village of Kosh-Agach]. Prirodnyye resursy Gornogo Altaya, 1: 85–89 (in Russian).



- Emanov A.A., Leskova E.V., Emanov A.F., Fateev A.V. 2009. Structural Elements and Phases of the Aftershock Process of the Chuya Earthquake. *Physical Mesomechanics*, 12 (1): 29–36 (in Russian).
- Ivanovskij L.N., Titova Z.A. 1982. Itogi izucheniya sovremennykh ekzogennykh processov rel'efoobrazovaniya na stacionarah Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka. [Results of the study of modern exogenous processes of relief formation at the stations of the Institute of Geography of Siberia and the Far East]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 4: 26–33.
- Karavaev V.A., Seminozhenko S.S. 2019. Terrain Morphometry and Mudflow Features in the Northern Slope of the Great Caucasus. *Doklady Earth Sciences*, 487 (2): 935–938 (in Russian). DOI: 10.1134/S1028334X1908004X.
- Lapin P.S. 2015. Identification of lithodynamic flows as one of the criteria for the oil and gas content of the contact zone of the pre-Jurassic basement and sedimentary cover in the Shirotnoye Ob region. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 21 (1): 29–39 (in Russian).
- Lapin P.S. 2019. Morphogenetic Model of Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43 (4): 375–385 (in Russian). DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
- Lastochkin A.N. 1991 *Rel'yef zemnoy poverkhnosti (printsipy i metody staticheskoy geomorfologii)* [Relief of the earth's surface (principles and methods of static geomorphology)]. Leningrad, Publ. Nedra, 340 p.
- Maloletko A.M. 2006. Geotermicheskoye pole Kurayskoy i Chuyskoy mezhgornyykh vpadin [Geothermal field of the Kurai and Chuya intermountain depressions]. *Prirodnyye resursy Gornogo Altaya*, 2 (6): 28–30.
- Mikhailov V.O., Nazaryan A.N., Smirnov V.B., Kiseleva E.A., Tikhotskii S.A., Smol'yaninova E.I., Timoshkina E.P., Polyakov S.A., Diament M., Shapiro. 2010. Joint Inversion of the Differential Satellite Interferometry and Gps Data: A Case Study of Altai (Chuya) Earthquake of September 27, 2003. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 46 (2): 91–103 (in Russian). DOI: 10.1134/S1069351310020011.
- Meshcheryakov Yu. A. 1972 *Rel'ef SSSR: Morfostruktura i morfoskop'tura* [Relief of the USSR: Morphostructure and morphosculpture]. Moscow, Publ. Nauka, 519 p.
- Novikov I.S., Emanov A.A., Leskova E.V., Batalev V.Yu., Rybin A.K., Bataleva E.A., 2008. The System of Neotectonic Faults in Southeastern Altai: Orientations and Geometry of Motion. *Russian Geology and Geophysics*, 49 (11): 859–867 (in Russian). DOI: 10.1016/j.rgg.2008.04.005.
- Novikov I.S., Pospeeva E.V. 2017. Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data. *Russian Geology and Geophysics*, 58 (7): 769–777 (in Russian). DOI: 10.1016/j.rgg.2017.06.001.
- Pozdnyakov A.V. 1988. *Dinamicheskoye ravnesiye v relefoobrazovanii* [Dynamic equilibrium in the formation of relief]. Moscow, Publ. Nauka, 207 p.
- Pospeeva E.V., Potapov V.V. 2021. Deep Structure of the Junction Zones of the Chuya Tectonic Depression and Its Mountainous Frame in Gorny Altai According to Magnetotelluric Studies. *Russian Geology and Geophysics*, 62 (4): 474–485 (in Russian). DOI: 10.2113/RGG20194078.
- Setunskaya L.E. 1986. *Ovrazhnaya eroziya (metody izucheniya)* [Gully erosion (research methods)]. In: *Metody polevykh geomorfologicheskikh eksperimentov v SSSR* [Methods of field geomorphological experiments in the USSR]. Moscow, Publ. Nauka: 48–63.
- Simonov Yu.G. 1998. *Morfometricheskij analiz rel'efa* [Morphometric analysis of the relief]. Smolensk, Publ. SGU, 272 p.
- Solncev N.A. 1963. *Nekotorye teoreticheskie voprosy dinamiki landshafta*. [Some theoretical questions of landscape dynamics]. Moscow State University Bulletin. Series: Geography, 2: 50–56.
- Sochava B.V. 1978. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the theory of geosystems]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 319 p.
- Timofeyev D.A. 1972. *O nekotorykh geomorfologicheskikh zakonakh* [About some geomorphological laws]. *Geomorfologiya*, 2: 3–12.
- Timofeev D.A. 2004. Principles of Geomorphic Processes Classification. *Geomorphology*, 4: 16–20 (in Russian).
- Ufimcev G.F. 1994. *Ocherki teoreticheskoy geomorfologii* [Essays on Theoretical Geomorphology]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 123 p.



- Kharchenko S.V. 2020. New Challenges of Geomorphometry and Automatic Morphological Classifications in Geomorphology. *Geomorphology*, 1: 3–21 (in Russian). DOI: 10.31857/S043542812001006X.
- Shchukin I.S. 1980. *Chetyrekhyazychnyy entsiklopedicheskiy slovar terminov po fizicheskoy geografii* [A four-language encyclopedic dictionary of terms in physical geography]. Moscow, Publ. Soviet encyclopedia, 701 p.
- Yakimenko E.L. 1990. *Morfometriya rel'efa i geologiya* [Terrain morphometry and geology]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 201 p.

*Поступила в редакцию 10.01.2022;
поступила после рецензирования 27.01.2022;
принята к публикации 17.02.2022*

*Received January 10, 2022;
Revised January 27, 2022;
Accepted February 17, 2022*

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лалин Павел Степанович, кандидат географических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel S. Lapin, PhD, Researcher at the Federal State Budgetary Institution of Science A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia



УДК 551.324.6
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-40-52

Современные тенденции развития малого оледенения гор Кузнецкого Алатау на примере ледников Июско-Терсинской группы

¹Адаменко М.М., ¹Гутак Я.М., ²Треньков И.П.

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
Россия, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова, 42

²Государственный природный заповедник «Кузнецкий Алатау»,
Россия, 652888, Междуреченск, пр. Шахтеров, 33-1

E-mail: adamenko.marina@gmail.com

Аннотация. Малые ледники и многолетние снежники являются важной составляющей ландшафтов гор Кузнецкого Алатау и оказывают огромное влияние на природные особенности территории. Оледенение здесь относится к малым формам, имеет малые размеры и залегает на низких абсолютных высотах (значительно ниже расчетной климатической снеговой границы). В связи с этим ледники Кузнецкого Алатау имеют быструю реакцию на изменения климата. Среди многочисленных групп ледников здесь одной из наиболее изученных является Июско-Терсинская группа. Представленная работа излагает результаты гляциальных исследований Июско-Терсинской группы, полученные авторами в 2005, 2008, 2011 и 2021 гг., суммирует имеющиеся литературные данные об измерении размеров четырех наиболее крупных ледников группы с 80-х г. XX века. В статье также проанализированы полевые данные изменения скорости абляции Черно-Июскового ледника (№ 83), а также изменения снегонакопления в горах Кузнецкого Алатау (по данным снегомерных работ в 2010–2021 гг.). Полученные результаты показывают, что крупные ледники Июско-Терсинской группы продолжают сокращаться. Темпы сокращения в 2011–2021 гг. замедлились по сравнению со второй половиной XX – первым десятилетием XXI вв. Замедление темпов сокращения ледников напрямую связано с увеличением количества твердых осадков в горах Кузнецкого Алатау. Подтверждается наблюдение, описанное в 2018 г. М.Л. Махровой и В.М. Ермаковым о происходящих изменениях в морфометрии ледников.

Ключевые слова: малые ледники, горы Кузнецкий Алатау, изменение климата, нивальные геосистемы, трансформация геосистем

Для цитирования: Адаменко М.М., Гутак Я.М., Треньков И.П. 2022. Современные тенденции развития малого оледенения гор Кузнецкого Алатау на примере ледников Июско-Терсинской группы. Региональные геосистемы, 46(1): 40–52. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-40-52

Modern Trends of Kuznetsk Alatau Minor Glaciation Evolution in the Example of the Iyusko-Tersinskaya Glaciers Group

¹Marina M. Adamenko, ¹Yaroslav M. Gutak, ²Ivan P. Trenkov

¹Siberian State Industrial University,
42 Kirova St, Novokuznetsk 654007, Russia

²State Natural Reserve "Kuznetsk Alatau",
33-12 Shakhтеров Ave., Mezhdurechensk 652888, Russia

E-mail: adamenko.marina@gmail.com

Abstract. Small glaciers and perennial snowfields are an important component of the landscapes of the Kuznetsk Alatau Mountains and have a huge impact on the natural features of the territory. Glaciation here is represented by small forms located at low absolute heights (significantly below the calculated

climatic snow limit). In this regard, the glaciers of the Kuznetsk Alatau have a quick response to climate change. Among the numerous groups of glaciers here, one of the most studied is the Iyusko-Tersinskaya group. This group of glaciers is located in the region of the axial watershed of the Kuznetsk Alatau Mountains, where an abnormally large amount of precipitation falls for Western Siberia, up to 3000–3500 mm in the water layer. The glaciers of the Iyusko-Tersinskaya group were studied in different years by P.S. Shpin, N.V. Kovalenko, A.A. Syubaev, M.L. Makhrova and V.M. Ermakov, as well as the authors of this article. This article presents the results of glacial studies of the Iyusko-Tersinskaya group obtained by the authors in 2005, 2008, 2011 and 2021, summarizes the available literature data on measuring the size of the four largest glaciers of the group since the 80s of the XX century, analyzes data on changes in the ablation rate of the Chernoy-Iyusky glacier (No. 83), leads data on changes in snow accumulation in the Kuznetsk Alatau mountains (according to snow measurements in 2010–2021). The results show that the large glaciers of the Iyusko-Tersinskaya group continue to shrink. The rate of decline in 2011–2021 slowed down compared to the second half of the 20th century and the first decade of the 21st century. The slowdown in the reduction of glaciers is directly related to the increase in precipitation in the Kuznetsk Alatau Mountains. The observation of ongoing changes in the morphometry of glaciers was first noted by M.L. Makhrova and V.M. Ermakov is confirmed.

Key words: minor glaciations, Kuznetsky Alatau Mountains, climate change, nival geosystems, transformation of geosystems

For citation: Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Trenkov I.P. 2022. Modern Trends of Kuznetsk Alatau Minor Glaciation Evolution in the Example of the Iyusko-Tersinskaya Glaciers Group. *Regional Geosystems*, 46 (1): 40–52 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-40-52

Введение

Малые ледники и многолетние снежники являются важной составляющей ландшафтов гор Кузнецкого Алатау и оказывают огромное влияние на природные особенности территории, изменяя климат, являясь аккумулятором пресной воды, участвуя в процессах рельефообразования и воздействуя на видовой состав растений и животных. Оледенение Кузнецкого Алатау, имея малые размеры и залегая на низких абсолютных высотах, по аналогии с другими среднегорными районами, не достигающими климатической снеговой границы, где ледники существуют за счет метелевой концентрации снега в понижениях на подветренных склонах, обнаруживает быструю реакцию на изменения климата.

Ледники в горах Кузнецкого Алатау залегают не одиночно, а группами, формируя три района оледенения [Шпинь, 1980]. Среди многочисленных групп ледников одной из наиболее изученных является Июско-Терсинская группа. Ледники этой группы были каталогизированы в 70–80 гг. П.С. Шпинем, по морфологическим признакам они отнесены им к присклоновому и каровоприсклоновому типам [Шпинь, 1980]. Н.В. Коваленко [2008; 2011] и А.А. Сюбаев с Е.А. Ковалевым [2004] оценили отступление некоторых ледников в начале XXI в. М.М. Адаменко в 2005 и 2011 гг. производила замеры площадей и исследование абляции отдельных ледников [Адаменко, 2008]. В 2018 г. М.Л. Махровой и В.М. Ермаковым [2019] были определены площади четырех ледников: Черно-Июский (№ 83), Чуракова (№ 85), Толмачева (№ 86), Центральный (№ 87).

Июско-Терсинская группа ледников расположена в пределах центральной части гор Кузнецкого Алатау. Наиболее крупные ледники группы расположены на восточном склоне большого безымянного массива, с которого берут начало Черный Июс и Верхняя Терсь. Отличительной особенностью этого среднегорного района является аномально большое количество осадков для Западной Сибири, достигающее 3000–3500 мм в год на западных склонах осевого водораздела [Адаменко и др., 2021].

Текущие изменения малых ледников Кузнецкого Алатау вызывают интерес с позиции самоорганизации и трансформации горных геосистем в условиях меняющегося кли-

мата, которые наблюдаются повсеместно в горах Сибири [Иванов, 2011; Политова и др., 2013; Галахов и др., 2012; Чистяков и др., 2015; Лапин, 2019; Китов, 2021] и требуют более детального изучения.

Данная работа излагает результаты гляциальных исследований Июско-Терсинской группы, полученные в 2021 г., суммирует имеющиеся данные об измерении размеров четырех наиболее крупных ледников группы с 80-х годов XX века. Кроме того, в статье приводятся данные о скорости абляции Черно-Июского ледника в 1971, 2011 и 2021 гг.

Объекты и методы исследования

В 2021 г. среди девяти ледников Июско-Терсинской группы полевыми выходами были обследованы четыре ледника: Черно-Июский (№ 83), Чуракова (№ 85), Толмачева (№ 86), Центральный (№ 87). Расположение радиальных маршрутов и ледников представлено на рис. 1.

Ледники расположены в удаленной местности на территории заповедника «Кузнецкий Алатау». Заброска осуществлялась на машине Урал-4320, последние 34 км маршрута до базового лагеря на кордоне Рыбное преодолевались пешком с вьючным конным сопровождением. Радиальные маршруты общей протяженностью 57 км преодолевались пешком.

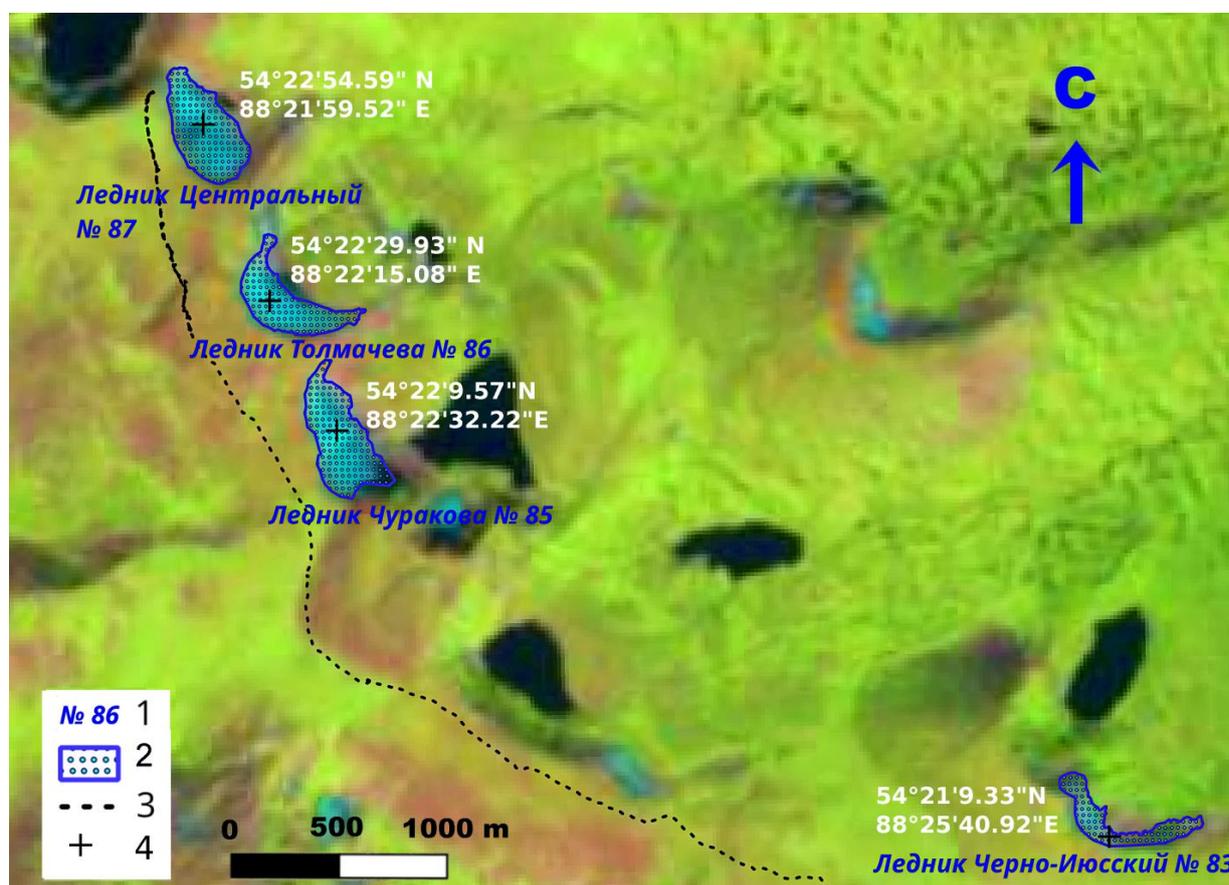


Рис. 1. Картограмма расположения ледников Июско-Терсинской группы обследованных в 2021 г. В основе аэрофотоснимок Landsat от 09.08.2021 [Landsatlook Viewer]
 1 – номер и название ледников; 2 – площади обследованных ледников в 2021 г.; 3 – осевой радиальный маршрут; 4 – центроиды ледников и их координаты (в WGS 84)
 Fig. 1. Schematic map of the Iussko-Tersin glaciers group location surveyed in 2021. Landsat aerial image dated 08.09.2021 is taken as background [Landsatlook Viewer]
 1 – number and name of the glaciers; 2 – areas of surveyed glaciers in 2021, 3 – axial radial route, 4 – glacier centroids and their coordinates (in WGS 84)

При изучении ледников использовались методы фотограмметрии, GPS-метрии, прямых визуальных измерений. Производилось измерение скорости абляции на леднике Черно-Июсский, а также изучение структуры огив ледниковых языков с целью выявления динамики аккумуляции и определения мощности льда.

С помощью GPS-навигатора для каждого ледника определялась абсолютная высота, координаты узловых точек, длина и ширина, записывались пути движения, оконтуривавшие границы ледников и снежников. Погрешность при GPS-измерениях на местности контролировалась и составляла 2,9–3,1 м. При обработке данных на камеральном этапе расчёт длин и площадей ледников осуществлялся в программах QGIS [2021], Google Earth Pro [2021]. Данные GPS-трекера экспортировались и накладывались на соответствующий по времени аэрофотоснимок из открытой базы данных Landsatlook Viewer [2021] для визуального контроля полученных результатов. Пространственное разрешение космоснимков составляет 30 м/пиксель. Использование методик и материалов с указанной погрешностью допустимо, поскольку погрешность расчетов площади составила менее 0,01 км², а именно с этой точностью указана площадь ледников Кузнецкого Алатау как в [Каталог ледников СССР, 1980], так и в работах других исследователей.

Выявление скорости абляции осуществлялось методом вбивания рейки с отметками и посещения ее через зафиксированные промежутки времени с подробной фиксацией погодных условий во время всего периода наблюдений.

Ввиду малых размеров ледников Кузнецкого Алатау для их изучения широко применяется способ парных фотографий, когда с определенного ракурса панорамной фотографией охватывается все снежно-ледовое образование, а фотографии разных лет, сделанные в одну декаду летних месяцев, образуют пары. Подобные серии фотографий хорошо сопоставляются друг с другом. По периметру ледников имеется выступы скал, а в перигляциальной зоне – крупные валуны и их скопления, которые не изменяют своего положения ввиду наличия многомерзлых пород. Относительно этих неподвижных точек легко отслеживать изменения ледника.

Результаты и их обсуждение

Морфометрические показатели ледников, обследованных в 2021 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Морфометрические показатели некоторых ледников Июско-Терсинской группы, обследованных в 2021 г.
Morphometric indicators of some glaciers of the Iyusko-Tersinsky group surveyed in 2021

Название ледника, номер согласно Каталогу ледников СССР	Дата измерений	Наибольшая длина, м	Наибольшая ширина, м	Максимальная и минимальная высота тела ледника, м н.у.м.	Площадь по результатам измерений, км ²
Ледник Черно-Июсский (№ 83)	27.07.21	765	125	1383; 1289	0,04
Ледник Чуракова (№ 85)	28.07.21	650	267	1444; 1314	0,12
Ледник Толмачева (№ 86)	28.07.21	736	205	1490; 1366	0,1
Ледник Центральный (№ 87)	28.07.21	563	275	1495; 1400	0,12



В табл. 2 систематизированы все данные полевых измерений площади ледников с 80 гг. XX в., с указанием ссылки на работы других исследователей, измерения авторов представлены в таблице без ссылок, даже если они были ранее опубликованы.

Таблица 2
Table 2

Изменение площадей некоторых ледников Июско-Терсинской группы
в конце XX – начале XXI вв.

Changes in the areas of some glaciers of the Iussko-Tersinsky group in the late XX – early XXI centuries

Год наблюдений	Площадь ледников по данным полевых исследований, км ²				% суммарной площади четырех ледников от данных [Каталог ледников СССР...]
	ледник Черно-Июский (№ 83)	ледник Чуракова (№ 85)	ледник Толмачева (№ 86)	ледник Центральный (№ 87)	
80-е гг. XX в. [Шпинь, 1980]	0,19	0,24	0,21	0,20	–
2000 [Сюбаев, Ковалев, 2004]	0,10	–	–	–	–
2005	0,06	0,14	0,14	0,14	57,14
2006 [Коваленко, 2008; 2011]	0,08	–	–	0,10	–
2011	0,04	–	–	–	–
2018 [Махрова, Ермаков, 2018]	0,01	0,116	0,103	0,114	40,83
2021	0,04	0,12	0,10	0,12	45,24

Ледник Черно-Июский № 83 обследовался 27 июля и 31 июля 2021 г. Данный ледник относится к морфологическому типу присклоновых, расположен на подветренном склоне обширной платообразной седловины водораздела между реками Верхняя Терсь и Черный Июс [Каталог ледников СССР, 1980]. Данный малый ледник выступает наиболее репрезентативным для всего Центрального района оледенения Кузнецкого Алатау, по некоторым причинам: во-первых, его морфометрические показатели и расположение на открытом склоне без выработанного вместилища является типичным для большинства присклоновых ледников описываемого района, во-вторых, это один из самых изученных ледников Кузнецкого Алатау. В период 1970–1980-х годов он регулярно посещался П.С. Шпинем, в 2000-х годах на леднике в разные годы проводились работы А.А. Сюбаевым, М.М. Адаменко, И.В. Гуляевым и Н.А. Коваленко. Накопленный материал позволяет детально проследить изменения ледника за последние 50 лет. Анализ динамики ледника методом парных фотографий приведен на рис. 2.

Площадь ледника по данным GPS-метрии 27 июля 2021 г. составила 0,04 км². На период измерений крайняя северо-западная часть ледника соединялась с основным телом, поэтому была включена в общую площадь, хотя предыдущие годы на период измерений она отделялась от ледника и образовывала отдельный снежник.

Для Черно-Июского ледника с 1975 г. зафиксировано сильное уменьшение площади. В последнее десятилетие площадь ледника варьирует, то увеличиваясь, то уменьшаясь, составляя не более 40–30 % площади [Каталог ледников СССР, 1980]. Сравнивая фотографии 1973, 2005, 2011 и 2021 гг., можно утверждать, что последнее десятилетие было более благоприятным для развития Черно-Июского ледника. Площадь фирнового поля с 2011 г. несколько увеличилась, но ширина ледника в центральной части, в области

ледяного ядра, продолжает сокращаться. При этом примечательно то, что в 2021 г. наибольшей шириной обладало северо-западное фирновое поле, расположенное под участком водораздела с наибольшими абсолютными высотами.



Рис. 2. Изменение ледника Черно-Июсский (№ 83) в 1973–2021 гг.

I – ледник в июле-августе 1973 г.; II – ледник 9 июля 2005 г.; III – ледник 2 августа 2011 г.;
IV – ледник 27 июля 2021 г.

Fig. 2. Change of the Cherny-Iyusky glacier (№ 83) in 1973–2021

I – glacier in July-August 1973; II – glacier on 9 July 2005; III – glacier on 2 August 2011;
IV – glacier on 27 July 2021

При современной тенденции климатических изменений можно предположить распад ледника на два меньших снежно-ледовых образования в ближайшие десятилетия.

Для Черно-Июсского ледника собран наибольший объем данных о скорости абляции на ледниках Кузнецкого Алатау. Прямые наблюдения за таянием ледника проводились в летние полевые сезоны П.С. Шпинем с 1971 по 1980-е гг. [Шпинь, 1971; 1980; 1987], автором данной статьи (М.М. Адаменко) в 2011 и 2021 гг. Сравнение скоростей абляции для разных лет приведено в табл. 3.

Расчеты П.С. Шпиня показывают, что абляция ледников в 1970–1975 гг. за весь период таяния составляла в среднем 6000–8000 мм в слое воды. За период наблюдений с 23 по 28 августа 1971 г. на фирновом поле Черно-Июсского ледника стоял слой фирна 379 мм (в слое воды). По полученным данным, за пять суток расход вещества на леднике составил 55000–65000 м³ воды без учета таяния в придонной части (величина последнего очень мала).

В 2011 г. для измерения абляции на Черно-Июсском леднике было заложено пять точек. Измерения проводились с 31.07.11 по 25.08.11 в течение 26 дней. Для этого использовались рейки. За период наблюдений на леднике стоял слой фирна в среднем



300–305 см. Средняя скорость таяния фирна составила около 12 см в сутки. При выявленной средней плотности фирна в 0,66–0,68 г/см³ за 12 дней в первой половине августа (с 31.07.11 по 11.08.11) величина абляции составила в среднем 1030 мм в слое воды. За 15 дней во второй половине августа (с 11.08.11 по 25.08.11) величина абляции составила в среднем 1000 мм в слое воды. Таким образом, величина абляции составляла в среднем 80,2 мм в слое воды за сутки. При установленной площади ледника в 0,04 км² и величине абляции в 2040–2070 мм расход вещества на леднике за 26 дней составил 82000–82800 м³ воды, без учета таяния в придонной части.

В 2021 г. (с 27.07.21 по 31.07.21) скорость абляции исследовалась на Черно-Июсском леднике (табл. 3). На юго-восточном поле ледника было установлено 3 алюминиевые рейки по типу лавинного щупа (не дающие тени) с нанесенными сантиметровыми делениями. За четверо полных суток стаяло 43 см фирна при средней скорости 10,75 см в сутки. При средней плотности верхнего слоя фирна в 0,66–0,68 г/см³ величина абляции составляла в среднем 72 мм в слое воды за сутки. При установленной площади ледника в 0,04 км² и величине абляции в 72 мм в сутки расход вещества на леднике за 4 дня составил 11 520 м³ воды, без учета таяния в придонной части.

Таблица 3
Table 3

Скорость абляции ледника Черно-Июсский (№ 83) в 1971–2021 гг.
Ablation rate of the Chernoi-Iussky glacier (№ 83) in 1971–2021

Показатели	Годы		
	1971, по данным [Шпинь, 1980]	2011	2021
Средняя суточная абляция ледника, мм слоя воды	75,8	80,2	72,0
Площадь ледника, км ²	0,19	0,04	0,04
Расход вещества в сутки без учета таяния в природной части, м ³ воды	10000	3280	2880

Ледник Чуракова № 85 относится к морфологическому типу карово-присклоновых. Был обследован 28 июля. По результатам измерений 2021 г., наибольшая длина ледника составила 650 м, наибольшая ширина – 267 м, площадь – 0,12 км². По данным Каталога ледников СССР [1980] в 80-е гг. XX в. длина ледника составляла 520 м, площадь 0,24 км². Таким образом, ледник Чуракова увеличился в длину, при этом сократив свою площадь. В XXI в. площадь ледника варьировала от 0,11 до 0,14 км², то увеличиваясь, то уменьшаясь, в целом составляя около 58–45 % от площади. Изменение параметров ледника Чуракова от 2011 к 2021 г. наглядно показано на рис. 3.

На рис. 3 видно сокращение ледника Чуракова, произошедшее в последние 10 лет. В 2011 г. ледник имел плоский профиль без уступов и обрывов. В 2021 г. по бокам он отступил на 10–12 м, в результате чего имеет выпуклый двухступенчатый профиль. В правой части из-под плотного снега на дневную поверхность выходит лед с хорошо выраженной годовой слоистостью в виде системы провисших огив. Справа и слева от фронтальной части из-под фирна обрывистой линией обнажается лоб ледника. Вся толща льда, вскрытая естественным разрезом длиной около 40 м, сложена молочно-белым льдом с многочисленными годовыми слоями. Видимая мощность льда 6–10 м. Перед фронтом ледника отмечено скопление несортированного обломочного моренного материала.



Рис. 3. Положение и размер ледника Чуракова (№ 85): I – 18 августа 2011 г.; II – 28 июля 2021 г.;
a, b – легко определяемые ориентиры – скопления валунов и выступы скал
Fig. 3. Position and size of the Churakov glacier (№ 85): I – 18 August 2011; II – 28 July 2021;
a, b – easily identifiable landmarks – boulder clusters and rock ledges

Ледник Толмачева № 86 относится к морфологическому типу присклоновых. Был обследован 28 июля (рис. 4). Ледник имеет форму полумесяца, утолщенного по центру. Профиль лба выпуклый. Ниже перегиба лба отмечена крупная слоистость льда. Непосредственно к языку примыкает моренный вал несортированного обломочного материала. Высота вала от 8 м в левой до 3–4 м в правой части, ширина гребня 5–6 м, длина около 100 м. Описываемый моренный вал сравнительно молодой, на субстрате отсутствует растительный покров и лишайники. По данным Каталога ледников СССР [1980], длина ледника составляла 0,32 км, площадь 0,21 км². По результатам измерений 2021 г. наибольшая длина ледника составила 736 м, наибольшая ширина 205 м, площадь 0,1 км². Таким образом, ледник Толмачева увеличился в длину, при этом сократив свою площадь. В XXI в. площадь ледника варьировалась от 0,14 до 0,1 км², то увеличиваясь, то уменьшаясь, в целом составляя около 65 % от площади, приведённой в [Каталог ледников СССР, 1980].



Рис. 4. Положение и размер ледника Толмачева (№ 86) 28 июля 2021 г.
Fig. 4. Position and size of the Tolmachev glacier (№ 86) on 28 July 2021

Ледник Центральный № 87 относится к морфологическому типу карово-присклоновых. Корректнее назвать этот ледник присклоновым, так как он залегает на верхней ступени нагорной террасы, непосредственно под линией осевого водораздела рек Томь и Чулым. Ледник совсем не имеет скального обрамления, создававшего бы затенения и потому открыт солнечному свету. Вместе с тем это один из самых устойчивых ледников Июско-Терсинской группы. Ледник был обследован 28 июля (рис. 5). Он имеет выпуклый профиль. В левой части из-под плотного снега на дневную поверхность выходит лед с хорошо выраженной годовой слоистостью. По данным Каталога ледников СССР [1980], длина ледника составляла 0,4 км, площадь 0,2 км². По результатам измерений 2021 г., наибольшая длина ледника составила 563 м, наибольшая ширина 275 м, площадь 0,12 км². Таким образом, ледник увеличился в длину, при этом сократив свою площадь, как и другие обследованные ледники. В XXI в. ледник имеет относительно стабильную площадь около 0,1 км², что составляет около 50 % от площади, указанной в Каталоге ледников СССР [1980].

Следует отметить, что ледники разных морфологических типов в горах Кузнецкого Алатау неодинаково отреагировали на текущее изменение климата. Малые присклоновые ледники, расположенные на открытых склонах без ниш, которые давали бы затенение, быстро деградировали и перешли в разряд многолетних снежников [Адаменко и др., 2017; Адаменко, Гутак, 2017]. Ледники присклонового типа сильно сократились и в настоящее

время составляют, в среднем, около 30 % от их площади в момент каталогизации в 80-е гг. XX в. Несмотря на то, что крупные ледники Июско-Терсинской группы оледенения продолжают сокращаться, темпы отступления в 2011–2021 гг. замедлились по сравнению со второй половиной XX – первым десятилетием XXI вв.



Рис. 5. Положение и размер ледника Центральный (№ 87) 28 июля 2021 г.
Fig. 5. Position and size of the Central glacier (№ 87) 28 July 2021

Замедление темпов отступления ледников напрямую связано с увеличением осадков в горах Кузнецкого Алатау. Ранее в своих работах мы проводили подробный анализ текущих климатических изменений в горах Кузнецкого Алатау. С 1960-х годов XX в. в центральном районе гор Кузнецкого Алатау отмечается устойчивый растущий тренд увеличения осадков. Если средняя годовая сумма осадков в середине XX в. составляла 1507 мм [Научно-прикладной справочник..., 1990], то за период 1990–2019 гг. уже 1650,7 мм [Адаменко и др., 2021]. Результаты снегомерных работ в долине реки Верхняя Терсь показывают, что в первой декаде марта 2011–2021 гг. водозапас в приводораздельной зоне западного макросклона гор Кузнецкого Алатау составлял до 1801,5 мм в слое воды, что соответствует среднегодовому количеству осадков для западных и юго-западных склонов Канымского нагорья по данным [Ресурсы поверхностных..., 1972]. Метелевая концентрация твердых осадков на ледниках, располагающихся на восточном макросклоне, напрямую не изучалась, но очевидно, что она также возросла вследствие общего увеличения осадков и активизации циклонических процессов.

Заключение

Ледники Июско-Терсинской группы оледенения гор Кузнецкого Алатау продолжают сокращаться. Темпы сокращения в 2011–2021 гг. замедлились по сравнению со второй половиной XX – первым десятилетием XXI вв., что вызвано увеличением осадков в горах Кузнецкого Алатау. Суммарная площадь четырех наиболее крупных ледников Июско-Терсинской группы в XXI в. варьировалась, то увеличиваясь, то уменьшаясь, в целом составляя 57–40 % от суммарной площади этих ледников. При этом крупные каровые и карово-присклоновые ледники Июско-Терсинской группы отступили менее незначительно, чем ледники присклонового типа. Ледники Чуракова, Толмачева и Центральный, в целом, находятся в равновесии с климатом, о чем свидетельствует изменение морфометрии некоторых ледников, зафиксированное в 2018 г. группой ученых. Наши наблюдения под-



тверждают ранее полученные данные, что «происходит уменьшение ширины ледника, при увеличении длины, т.е. ледник растягивается...». Вероятно, эти изменения являются следствием смещения баланса в гольцовой зоне Кузнецкого Алатау: одновременным увеличением снегонакопления и протяженностью периода абляции.

Список источников

- Каталог ледников СССР. 1980. Ленинград, Гидрометеиздат, 44 с.
Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Вып. 21: Красноярский край и Тувинская АССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. 1990. Ленинград, Гидрометеиздат, 665 с.
Google Earth Pro. Electronic resource. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/download/gep/agree.html> (accessed: 02.10.2021).
Landsatlook Viewer. Electronic resource. URL: [andsatlook.usgs.gov/viewer.html](https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html) (accessed: 02.10.2021).
QGIS. Electronic resource. URL: <https://qgis.org/ru/site/> (accessed: 02.10.2021).

Список литературы

- Адаменко М.М. 2008. Современное состояние ледников заповедника «Кузнецкого Алатау». В кн.: Алтай: экология и природопользование. Труды VII российско-монгольской научной конференции молодых ученых и студентов. Бийск, Издательство БПИУ им. М. Шукшина. Ч. 1: 153–155.
Адаменко М.М., Гутак Я.М. 2017. Новый подход к дифференциации малых ледников и многолетних снежников на основе длительности непрерывного существования гляциально-нивального объекта (на примере гор Кузнецкого Алатау). Геосферные исследования, 3: 33–40 DOI: 10.17223/25421379/4/5.
Адаменко М.М., Гутак Я.М., Антонова В.А. 2017. Изменение климата и размеров ледников в горах Кузнецкого Алатау в 1975-2015 гг. Лед и Снег, 57 (3): 334–342. DOI: 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342.
Адаменко М.М., Гутак Я.М., Треньков И.П. 2021. Изменения внутригодового распределения осадков и динамика снежности в горах Кузнецкого Алатау. Геосферные исследования, 2: 101–109. DOI: 10.17223/25421379/19/9.
Галахов В.П., Самойлова С.Ю., Шевченко А.А., Шереметов Р.Т. 2013. Скорость изменения объема ледника Малый Актру (Алтай) за период инструментальных наблюдений. Известия Алтайского государственного университета, 2-3 (79): 147–150. DOI: 10.14258/izvasu(2013)3.2-31.
Иванов Е.Н. 2011. Особенности изменения нивально-гляциальных геосистем горного обрамления юга России. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 4(2): 90–106.
Коваленко Н.В. 2008. Современное состояние малых ледников Кузнецкого Алатау и Плато Путорана. Вестник Московского Университета. Серия 5: География, 3: 67–72.
Коваленко Н.В. 2011. Режим и эволюция малых форм оледенения. Москва, МАКС Пресс, 207 с.
Китов А.Д. 2021. Особенности трансформации и самоорганизации нивально-гляциальных горных геосистем. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 35: 33–43. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.35.33.
Лапин П.С. 2019. Морфогенетическая модель развития современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (4): 375–385. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
Махрова М.Л., Ермаков В.М. 2019. О состоянии малых форм современного оледенения на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау (на примере Ююско-Терсинской группы). В кн.: Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Материалы XXIII Международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых, 20–22 ноября 2019, Абакан, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова: 82–85.
Политова Н.Г., Сухова М.Г., Жилина Т.Н. 2013. Изменение показателей температурно-влажностного режима приземной атмосферы и реакция горных экосистем (на примере

- Алтайского государственного биосферного заповедника). Вестник Томского Государственного Университета, 371: 197–200.
- Ресурсы поверхностных вод СССР: Алтай и Западная Сибирь. 1972. Т. 15. Вып. 2. Ленинград, Гидрометеиздат, 407 с.
- Сюбаев А.А., Ковалев Е.А. 2004. Современное состояние оледенения Кузнецкого Алатау и его динамика во второй половине XX века. Природа и экономика Кузбасса, 9 (2): 41–49.
- Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Курочкин Ю.Н. 2015. Современное состояние и динамика нивально-гляциальных систем массивов Монгун-Тайга и Таван-Богдо-Ола. Лёд и Снег, 55 (1): 49–60. DOI: 10.15356/IS.2015.01.05.
- Шпинь П.С. 1971. Некоторые вопросы современного оледенения Кузнецкого Алатау. Вопросы географии Кузбасса и горного Алтая. Новокузнецк, Изд-во Новокузнецкого полиграфкомбината. Вып. 4: 155–173.
- Шпинь П.С. 1980. Оледенение Кузнецкого Алатау. Москва, Наука, 83 с.
- Шпинь П.С. 1987. Термический режим теплого периода в высотной-гляциальной зоне Кузнецкого Алатау. Гляциология Алтая. Томск, Изд-во ТГУ. Вып. 13: 44–57.

References

- Adamenko M.M. 2008. *Sovremennoe sostoyanie lednikov zapovednika «Kuzneckogo Alatau»* [The current state of the glaciers of the Kuznetsk Alatau Reserve]. In: *Altay: ekologiya i prirodopolzovaniye* [Altai: ecology and nature management]. Proceedings of the VII Russian-Mongolian scientific conference of young scientists and students. Biysk, Publishing house of the Belarusian State Pedagogical University im. M. Shukshina. V. 1: 153–155.
- Adamenko M.M., Gutak J.M. 2017. A New Approach to Separation Small Glaciers from Perennial Snowfields Which is Based on the Data About Duration of the Continuous Existence of Glacial and Firn Objects (on the Example of the Kuznetsky Alatau Mountains). *Geosphere Research*, 3: 33–40 (in Russian). DOI: 10.17223/25421379/4/5.
- Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Antonova V.A. 2017. Climate Change and the Size of Glaciers in the Kuznetsky Alatau Mountains Between 1975 and 2015. *Ice and Snow*, 57 (3): 334–342 (in Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2017-3-334-342.
- Adamenko M.M., Gutak Ya.M., Trenkov I.P. 2021. Changes in the Intra-Annual Distribution of Precipitation and the Dynamics of Snowfall in the Kuznetsk Alatau Mountains. *Geosphere Research*, 2: 101–109 (in Russian). DOI: 10.17223/25421379/19/9.
- Galakhov V.P., Samoilova S.Yu., Shevchenko A.A., Sheremetov R.T. 2013. The Rate of Volume Change in the Glacier Maly Aktru (Altai) for the Period of Instrumental Observations. *Izvestiya of Altai State University*, 2-3 (79): 147–150 (in Russian). DOI: 10.14258/izvasu(2013)3.2-31.
- Ivanov E.N. 2011. Peculiarities of Change of Snow-Glacial Geosystems of the Mountain Frame of the South of Russia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*, 4 (2): 90–106 (in Russian).
- Kovalenko N.V. 2008. The Present-Day State of Small Glacier Forms in Kuznetsky Ala-Too and the Putorana Plateau. *Moscow University Bulletin. Series 5: Geography*, 3: 67–72 (in Russian).
- Kovalenko N.V. 2011. *Rezhim i evolyuciya malyh form oledeneniya*. [Regime and evolution of small forms of glaciation]. Moscow, Publ. MAKS Press, 207 p.
- Kitov A.D. 2021. Features of Transformation and Self-Organization of Mountain Nival-Glacial Geosystems. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences*, 35; 33–43 (in Russian). DOI: 10.26516/2073-3402.2021.35.33.
- Lapin P.S. 2019. Morphogenetic model of development of modern relief in the joining area of the Chuya and Kurai intermountain depressions (Mountain Altai). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43 (4): 375–385 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
- Makhrova M.L., Ermakov V.M. 2019. O sostoyanii malyh form sovremennogo oledeneniya na vostochnom makrosklone Kuzneckogo Alatau (na primere Iyussko-Tersinskoj gruppy) [On the state of small forms of modern glaciation on the eastern macroslope of the Kuznetsk Alatau (on the example of the Iyussko-Tersinsky group)]. In: *Ekologiya Yuzhnoj Sibiri i sopredel'nyh territorij* [Ecology of Southern Siberia and adjacent territories]. Proceedings of the XXIII International



- Scientific School-Conference of Students and Young Scientists, 20–22 November 2019, Abakan, Publ. Khakass State University of N.F. Katanov: 82–85.
- Politova N.G., Sukhova M.G., Zhilina T.N. 2013. Changes of Temperature and Humidity Parameters of Surface Atmosphere and the Reaction of Mountain Ecosystems (Case Study of the Altai State Biosphere Reserve). Tomsk State University Journals, 371: 197–200 (in Russian).
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: Altay i Zapadnaya Sibir [Resources of surface waters of the USSR: Altai and Western Siberia]. 1972. V. 15, Is. 2. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 407 p.
- Syubaev A.A., Kovalev E.A. 2004. Sovremennoe sostoyanie oledeneniya Kuzneckogo Alatau i ego dinamika vo vtoroj polovine XX veka [The current state of glaciation in the Kuznetsk Alatau and its dynamics in the second half of the 20th century]. Priroda i ekonomika Kuzbassa, 9 (2): 41–49.
- Chistyakov K.V., Ganyushkin D.A., Kurochkin Y.N. 2015. Present State and Dynamics of Glacio-Nival Systems of Mongun-Taiga and Tavan-Bogdo-Oia Mountain Massifs. Ice and Snow, 55 (1): 49–60 (in Russian). DOI: 10.15356/IS.2015.01.05.
- Shpin P.S. 1971. Nekotorye voprosy sovremennogo oledeneniya Kuzneckogo Alatau [Some issues of modern glaciation of the Kuznetsk Alatau. Questions of the geography of Kuzbass and Gorny Altai]. Novokuznetsk, Publ. Novokuznetsk Polygraph Combine. V. 4: 155–173.
- Shpin P.S. 1980. Oledenenie Kuzneckogo Alatau [Glaciation of the Kuznetsk Alatau]. Moscow, Publ. Nauka, 83 p.
- Shpin P.S. 1987. Termicheskiy rezhim teplogo perioda v vysotno-glyacial'noj zone Kuzneckogo Alatau. Glyatsiologiya Altaya [Thermal regime of the warm period in the altitudinal-glacial zone of the Kuznetsk Alatau. Glaciology of Altai]. Tomsk, Publ. Tomsk State University. V. 13: 44–57.

Поступила в редакцию 18.01.2022;

поступила после рецензирования 18.02.2022;

принята к публикации 28.02.2022

Received January 18, 2022;

Revised February 18, 2022;

Accepted February 28, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Адаменко Марина Михайловна, кандидат географических наук, доцент кафедры геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности института горного дела и геосистем Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, Россия

Гутак Ярослав Михайлович, профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности института горного дела и геосистем Сибирского государственного индустриального университета, г. Новокузнецк, Россия

Треньков Иван Павлович, заместитель директора по научной работе Государственного природного заповедника «Кузнецкий Алатау», г. Междуреченск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Marina M. Adamenko, PhD in Geography, Associate Professor 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

Ivan P. Trenkov, Deputy Director for Research of the Kuznetsky Alatau State Nature Reserve, Mezhdurechensk, Russia



УДК 551.502

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-53-61

Об оценке загрязнения атмосферного воздуха города Ереван

Маргарян В.Г., Хачатрян Г.А.

Ереванский государственный университет,
Армения, 0025, Ереван, ул. Алека Манукяна, 1
E-mail: vmargaryan@ysu.am, gor.khachatryan2@ysumail.am

Аннотация: Столица Ереван считается самым загрязненным и имеющим серьезные экологические проблемы городом Республики Армения. Относительно загрязнения атмосферного воздуха в Ереване существует очень мало научных исследований. Основная цель статьи – проанализировать и оценить загрязненность атмосферного воздуха города Еревана, имеющуюся динамику и причины загрязнения. В результате установлено, что концентрация диоксида азота превысила ПДК только в 2017 г., примерно в 3 раза, а в 2018 г. она приблизилась к величине ПДК. В целом, за исследуемый период средняя концентрация диоксида азота в г. Ереване составила $0,03 \text{ мг/м}^3$, что не превышает величины ПДК ($0,4 \text{ мг/м}^3$). Превышение диоксида азота наблюдалось в центральных наблюдательных пунктах города. За все обсуждаемые годы средняя годовая концентрация пыли в среднем превышала ПДК примерно в 1,2–1,5 раза. Самые низкие значения концентрации пыли были зарегистрированы в 2018 г. Диоксид серы не превышал значения ПДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$). В 2014–2015 гг. наблюдалась небольшая тенденция роста ($0,1 \text{ мг/м}^3$). В 2015–2018 гг. содержание диоксида серы не изменилось ($0,3 \text{ мг/м}^3$). В 2018–2019 гг. произошло снижение показателя ($0,1 \text{ мг/м}^3$), этот темп сохранился и в 2020 г. Темп этого снижения можно объяснить периодом пандемии COVID-19, во время которой заводы не работали, а также уменьшилась автотранспортная деятельность, что привело к сокращению выбросов и, следовательно, к снижению стоимости диоксида серы. Основными источниками загрязнения воздуха в Ереване являются транспорт, промышленность, энергетика, градостроительство.

Ключевые слова: экология г. Ереван, окружающая среда, мониторинг, загрязнение атмосферы, индекс загрязнения, предельно допустимая концентрация

Для цитирования: Маргарян В.Г., Хачатрян Г.А. 2022. Об оценке загрязнения атмосферного воздуха города Ереван. Региональные геосистемы, 46(1): 53–61. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-53-61

About the Assessment of Atmospheric Air Pollution of the City of Yerevan

Varduhi G. Margaryan, Gor A. Khachatryan

Yerevan State University,
1 Alek Manoukian St, Yerevan 0025, Armenia,
E-mail: vmargaryan@ysu.am, gor.khachatryan2@ysumail.am

Abstract. The capital Yerevan is considered the most polluted and having serious environmental problems city of the Republic of Armenia. There is very little scientific research on atmospheric air pollution in Yerevan. The main purpose of the article is to analyze and evaluate the pollution of the atmospheric air of the city of Yerevan, the existing dynamics and causes of pollution. The concentration of nitrogen dioxide exceeded the MPC only in 2017 by about 3 times, and in 2018 it approached the cost of the MPC. In general, during the study period, the average concentration of nitrogen dioxide in the concentration was 0.03 mg/m^3 , which does not exceed the MPC (0.4 mg/m^3). Excess of nitrogen dioxide was observed in the central observation points of the city. For all the years discussed, the average annual



dust concentration on average exceeded the MPC by about 1.2–1.5 times. The lowest dust concentrations were recorded in 2018. The main sources of air pollution in Yerevan are transport, industry, energy, urban planning. Sulfur dioxide did not exceed the MPC value (0.5 mg/m^3). In 2014–2015, there was a slight upward trend (0.1 mg/m^3). In 2015–2018 the content of sulfur dioxide has not changed (0.3 mg/m^3). In 2018–2019, there was a decrease in the indicator (0.1 mg/m^3), this rate remained in 2020. The rate of this decrease can be explained by the period of the COVID-19 pandemic, during which factories did not work, and motor transport activity decreased, which led to a reduction in emissions and, consequently, to a decrease in the cost of sulfur dioxide.

Keywords: ecology of Yerevan, environment, monitoring, atmospheric pollution, pollution index, maximum permissible concentration

For citation: Margaryan V.G., Khachatryan G.A. 2022. About the Assessment of Atmospheric Air Pollution of the City of Yerevan. *Regional Geosystems*, 46(1): 53–61 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-53-61

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из самых серьезных экологических проблем современных городов [Переведенцев и др., 2004; Karimian et al., 2016; Li et al., 2017; Боровлев, 2020]. Загрязнение воздуха создает опасность для здоровья человека [Чубирко, Пичужкина, 2008], представляет собой глобальный кризис в области здравоохранения [Безуглая, Смирнова, 2008; Гарапова, 2011; Калинин и др., 2013; Лежнин и др. 2014]. Некоторые загрязнители воздуха вызывают «кислотные дожди» [Дорогова и др., 2010; Маклакова, 2019]. При воздействии на растения диоксида серы отмечается появление белесых пятен, некротических полос на листьях, обесцвечивание хлорофилла, приводящее к пожелтению листьев, снижение продуктивности, замедление роста SO_2 отчасти способствует подкислению почвы [Акимов, 2017]. Осаждение вредных химических веществ воздуха (от транспорта, котельных, работающих на твердом и жидком топливе, при сжигании мусора) может приводить к нарушению продуктивных земель [Барышников, Мусийчук, 1992].

Целью настоящего исследования являлась оценка загрязнения воздуха г. Еревана. Загрязнение воздушного бассейна является актуальной проблемой, т.к. г. Ереван входит в список наиболее загрязненных городов Армении с высоким индексом загрязнения атмосферного воздуха.

Объекты и методы исследования

Исследованию загрязнения атмосферного воздуха посвящены многочисленные научные работы [Безуглая, 1986; Меркулов и др., 2012; Маргарян, 2016, 2021; Мещурова, 2020]. В работе использованы архивированные данные «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения за 2014–2020 гг. В 2020 г. контроль за состоянием атмосферного воздуха Еревана осуществлялся на пяти стационарных станциях мониторинга атмосферы, различающихся по физико-географическим условиям и по степени антропогенного влияния (рис. 1). Станция № 1 расположена в северной части г. Ереван, станция № 2 – в северно-западной части г. Ереван, станция № 7 – в центральной части г. Ереван, станция № 18 – в центральной части г. Ереван и больше всего несет антропогенное воздействие, станция № 8 – в северо-восточной части г. Ереван.

Мониторинговое исследование атмосферного воздуха в г. Ереване включало в себя определение содержания в воздухе взвешенных веществ, диоксида серы, диоксида азота, пыли и приземной озона.

В работе были использованы математические, статистические, аналитические методы.

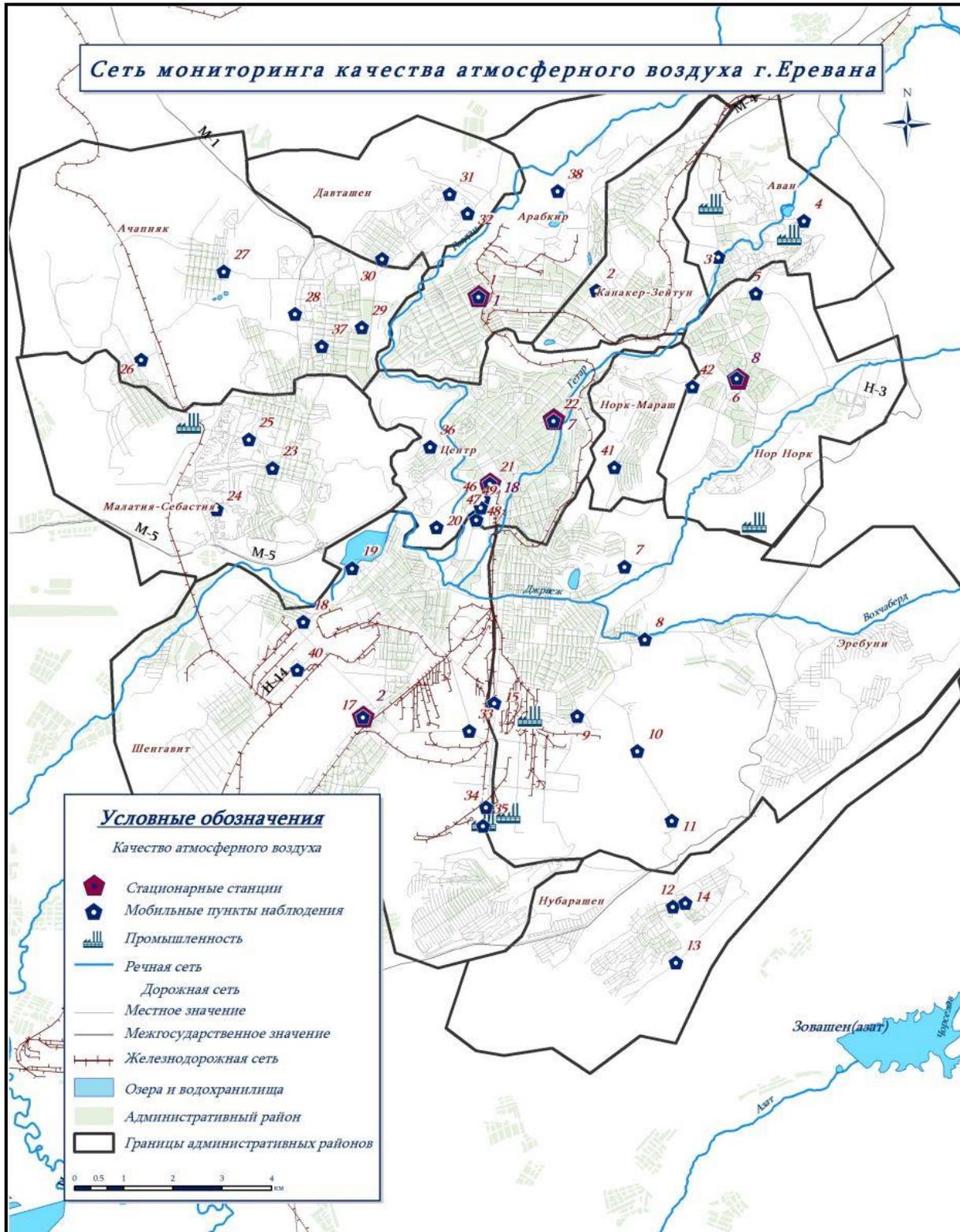


Рис. 1. Сеть мониторинга качества атмосферного воздуха г. Еревана
Fig. 1. Yerevan Atmospheric Air Quality Monitoring Network

Результаты и их обсуждение

В г. Ереван сосредоточено большая часть промышленных предприятий (42 %) и населения (34 %) Армении, а также город выделяется высокой транспортной нагрузкой. Основными источниками загрязнения воздушной среды в г. Ереван являются химическая и металлургическая промышленность, электроэнергетика, транспорт.

Диоксид азота относится к приоритетным загрязняющим веществам. Его содержание в атмосферном воздухе контролируется на всех постах контроля загрязнения атмосферы. На рис. 2 четко видно, что концентрация диоксида азота превысила ПДК только в 2017 г., примерно в 3 раза, в 2018 г. она приблизилась к значению ПДК (рис. 2). В другие исследуемые года значения диоксида азота были в пределах нормы. В целом, за исследуемый период средняя концентрация диоксида азота в г. Ереване составила $0,03 \text{ мг/м}^3$, что не превышает ПДК ($0,4 \text{ мг/м}^3$). Значения диоксида азота в разных точках зрения выражены в разных количествах.

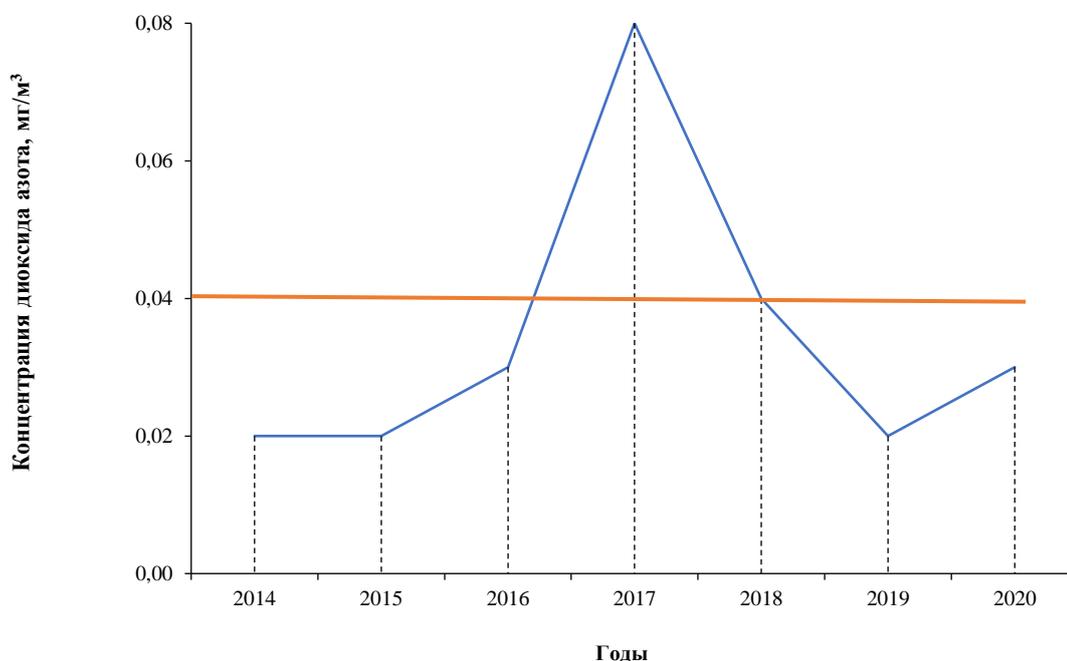


Рис. 2. Динамика средних значений содержания диоксида азота в атмосферном воздухе г. Еревана

Fig. 2. Dynamics of average values of nitrogen dioxide content in the atmospheric air of Yerevan

Согласно средним данным 2014–2020 гг. (рис. 3) в Ереване содержание диоксида азота в наблюдательных пунктах № 2, 7, 8 превысила ПДК, а в наблюдательном пункте № 1 и 18 она достигла значения ПДК. Наблюдательные пункты № 2, 7, 8 расположены в центральной части города. В данных районах города находятся основные образовательные, культурные, финансово-банковские, офисные, правительственные, промышленные учреждения, поэтому здесь сосредоточено большое количество автомобилей и выбросов, которые негативно влияют на качество атмосферного воздуха и являются причиной увеличения количества диоксида азота.

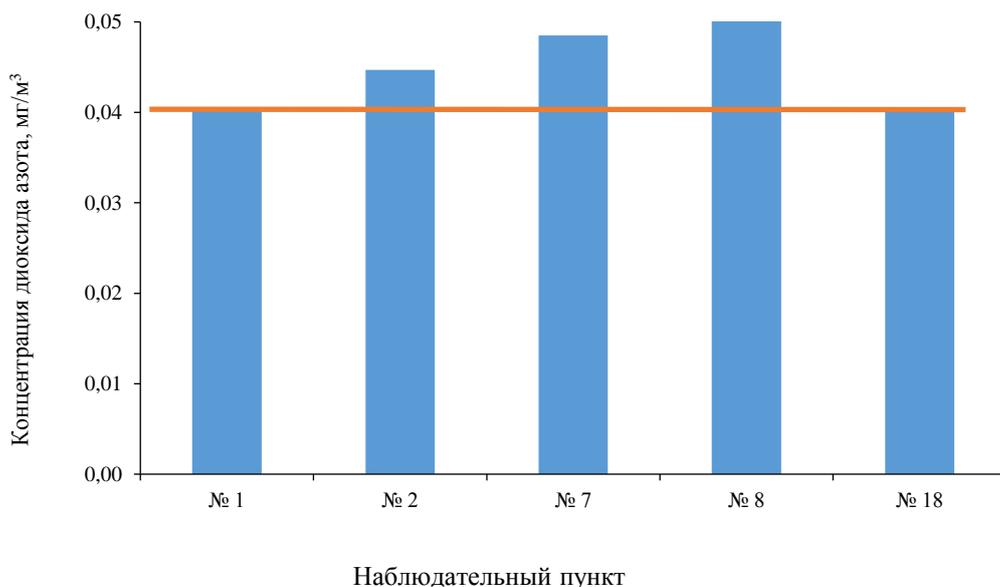


Рис. 3. Усредненные значения диоксида азота (NO_2) в атмосферном воздухе г. Еревана (мг/м^3) для всех наблюдательных пунктов города, 2014–2020 гг.

Fig. 3. Average values of nitrogen dioxide (NO_2) in the atmospheric air of Yerevan (mg/m^3) for all observation points of the city, 2014–2020

Как видно на рис. 4, в исследуемый период диоксид серы не превышал значения ПДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$). В 2014–2015 гг. наблюдалась небольшая тенденция роста ($0,1 \text{ мг/м}^3$). В 2015–2018 гг. содержание диоксида серы не изменилось ($0,3 \text{ мг/м}^3$). В 2018–2019 гг. произошло снижение показателя ($0,1 \text{ мг/м}^3$). Этот темп сохранился и в 2020 г. Темп этого снижения можно объяснить периодом пандемии COVID-19, во время которой заводы не работали, а также уменьшилась автотранспортная деятельность, что привело к сокращению выбросов и, следовательно, к снижению стоимости диоксида серы.

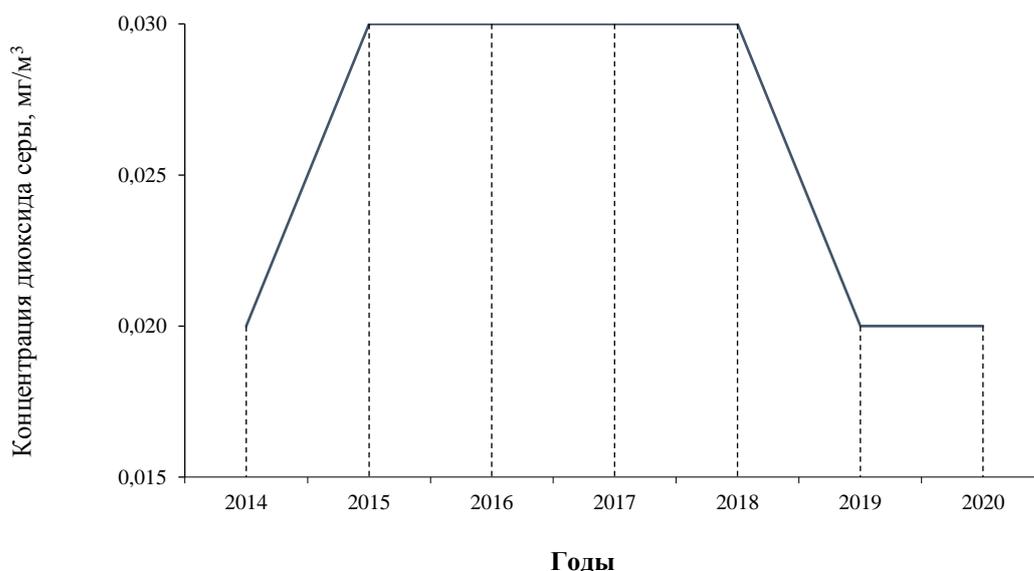


Рис. 4. Усредненные значения диоксида серы (SO_2) в атмосферном воздухе г. Еревана (мг/м^3) для всех наблюдательных пунктов города, 2014–2020 гг.

Fig. 4. Average values of sulfur dioxide (SO_2) in the atmospheric air of Yerevan (mg/m^3) for all observation points of the city, 2014–2020

Воздействие диоксида серы в концентрациях выше предельно допустимых может приводить к существенному увеличению различных болезней дыхательных путей, воздействовать на слизистые оболочки, вызывать воспаление носоглотки, бронхиты, кашель, хрипоту и боль в горле [Акимов, 2017].

На рис. 5, б приведена динамика концентрации пыли для всей территории Еревана (2015–2020 гг.). За все обсуждаемые годы средняя годовая концентрация пыли в среднем превышала ПДК примерно в 1,2–1,5 раза. Самые низкие значения концентрации пыли были зарегистрированы в 2018 г. Высокие значения концентрации пыли в атмосферном воздухе Еревана обусловлены как природно-климатическими условиями и другими источниками загрязнения, так и дефицитом зеленых территорий. Основными источниками загрязнения воздуха в Ереване являются транспорт, промышленность, энергетика, градостроительство.

Наибольший удельный вес загрязнения воздуха наблюдается в административном районе Кентрон (№ 7 и 18) (рис. 5, а), который характеризуется:

- наличием образовательных, культурных, финансово-банковских, офисных, правительственных учреждений;
- большого количества автомобилей, выбросы которых негативно влияют на качество атмосферного воздуха;
- плотностью и высотой зданий и сооружений, что препятствует очищению атмосферного воздуха от пыли и других промышленных выбросов.

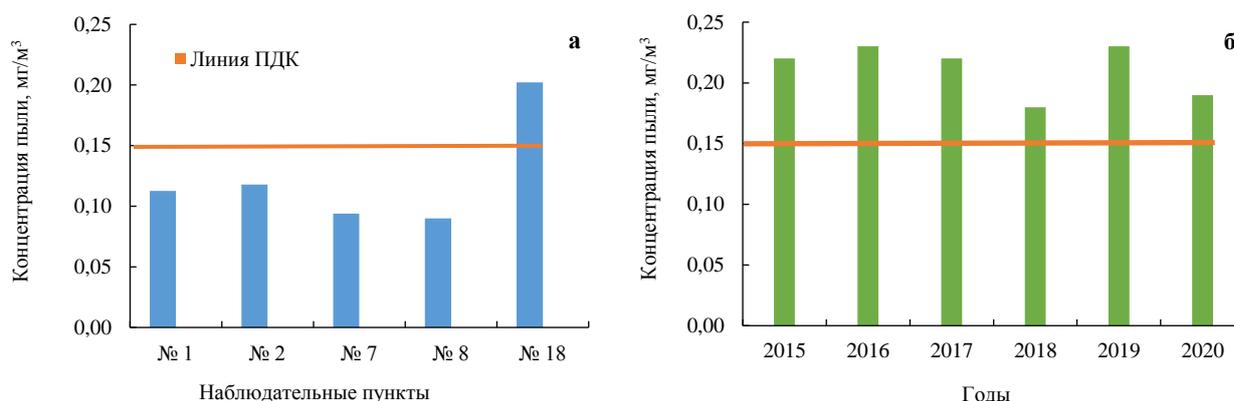


Рис. 5. Концентрация загрязнения пылью атмосферы по наблюдательным пунктам (а) и межгодовое изменение концентраций пыли (б), г. Ереван

Fig. 5. Concentration of atmospheric dust pollution by observation points (a) and interannual change in dust concentrations (b), Yerevan

Заклучение

Содержание азота в атмосферном воздухе г. Еревана превысило значение ПДК только в 2017 г., а в 2018 г. оно приблизилось к значению ПДК.

В целом, концентрация диоксида серы в атмосферном воздухе г. Еревана на протяжении всех изученных лет никогда не превышала значение ПДК и была в пределах нормы.

Концентрация пыли в атмосферном воздухе Еревана за все изученные годы превышала ПДК, что создает серьезные проблемы с точки зрения экологии и, конечно, здоровья людей.

Содержание азота и диоксида серы, а также пыли в целом выше в административном районе Кентрон, что обусловлено высокой урбанизацией, и именно эта часть города

испытывает наибольшую антропогенную нагрузку. А также на этом участке мало озелененных территорий.

Интересно то, что с 2019 г. наблюдалось снижение значений исследуемых элементов в статье, что обусловлено карантинными ограничениями, осуществленными государством во время эпидемии COVID-19.

Список литературы

- Акимов В.С. 2017. Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы. Научный журнал, 6–1 (19): 18–20.
- Барышников И.И., Мусийчук Ю.И. 1992. Здоровье человека. В кн.: Медико-географические аспекты оценки уровня здоровья населения и состояния окружающей среды. СПб.: 11–36.
- Безуглая Э.Ю. 1986. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Ленинград, Гидрометеиздат, 200 с.
- Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. 2008. Воздух городов и его изменения. СПб., Астерион, 253 с.
- Боровлев А.Э. 2020. Исследование содержания мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе жилой зоны Белгорода. Региональные геосистемы, 44 (1): 97–103. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103.
- Гарапова Р.А. 2011. Оценка экологического состояния промышленного города и здоровье населения (на примере УстьКаменогорска). Ползуновский вестник, 4–2: 72–75.
- Дорогова В.Б., Тараненко Н.А., Рычагова О.А. 2010. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на организм (обзор). Бюллетень Восточно-Сибирского Научного центра Сибирского отделения Российской Академии медицинских наук, 1 (71): 32–35.
- Калинкин Д.Е., Карпов А.Б., Тахауов Р.М., Самойлова Ю.А. 2013. Динамика показателей здоровья населения промышленного города. Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины, 4: 14–19.
- Лежнин В.Л., Коньшина Л.Г., Сергеева М.В. 2014. Оценка риска для здоровья детского населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха выбросами автотранспорта, на примере г. Салехарда. Гигиена и санитария, 93 (1): 83–86.
- Маклакова О.А. 2019. Оценка риска развития заболеваний органов дыхания и коморбидной патологии у детей в условиях загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами техногенного происхождения (когортное исследование). Анализ риска здоровью, 2: 56–63. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.06.
- Маргарян В.Г. 2017. Охрана атмосферного воздуха и проблемы обеспечения экологической безопасности в Республике Армения. В кн.: Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. Сборник научных трудов и материалов III Международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи, 30 марта – 02 апреля 2017, Тверь, Тверской государственный технический университет: 262–266.
- Маргарян В.Г. 2021. Статистический анализ выбросов атмосферы и экологическая безопасность: Республика Армения. Ученые записки ЕГУ: Геология и География, 55 (1(254)): 6–12. DOI: 10.46991/PYSU:C/2021.55.1.006.
- Меркулов П.И., Меркулова С.В., Хлевина С.Е., Сергейчева С.В. 2012. Пространственно-временная изменчивость режима увлажнения и ее влияние на здоровье населения Республики Мордовия. Проблемы региональной экологии, 5: 132–138.
- Мещурова Т.А. 2020. Оценка загрязнения атмосферного воздуха в городах Пермского края. Вестник Нижневартовского государственного университета, 1: 110–119. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/17.
- Переведенцев Ю.П., Хабутдинов Ю.Г., Николаев А.А. 2004. Гидрометеорологические основы охраны окружающей среды. Казань, Казанский государственный университет, 133 с.
- Чубирко М.И., Пичужкина Н.М. 2008. Гигиеническая диагностика влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения. Здоровье населения и среда обитания, 1 (178): 19–20.
- Karimian H., Li Q., Li C., Jin L., Fan J., Li Y. 2016. An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing. Aerosol and Air Quality Research, 4: 1081–1092.



Li X., Ma Y., Wang Y., Liu N., Hong Y. 2017. Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM10 and PM2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. *Atmospheric Research*, 198: 185–193.

References

- Akimov V.S. 2017. Dioksid sery i osnovnyye istochniki zagryazneniya atmosfery dioksidom sery [Sulfur dioxide and the main sources of atmospheric pollution with sulfur dioxide]. *Nauchnyy zhurnal*, 6–1 (19): 18–20.
- Baryshnikov I.I. Musiychuk Yu.I. 1992. Zdorovye cheloveka [Human health]. In: *Mediko-geograficheskiye aspekty otsenki urovnya zdorovia naseleniya i sostoyaniya okruzhayushchey sredy* [Medical and geographical aspects of assessing the level of public health and the state of the environment]. St. Petersburg: 11–36.
- Bezuglaya E.Y. 1986. Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh [Monitoring of the state of atmospheric pollution in cities]. Leningrad, Publ. Hydrometeoizdat, 200 p.
- Bezuglaya E.Yu., Smirnova I.V. 2008. *Vozdukh gorodov i ego izmeneniya* [The air of cities and its changes]. St. Petersburg, Publ. Asterion, 253 p.
- Borovlev A.E. 2020. Investigations of fine particles concentrations in the atmospheric air of residential areas. *Regional Geosystems*, 44 (1): 97–103 (in Russian). DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-97-103
- Garapova R.A. 2011. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya promyshlennogo goroda i zdorovye naseleniya (na primere UstKamenogorska) [Assessment of the ecological state of an industrial city and the health of the population (on the example of Ustkamenogorsk)]. *Polzunovskiy Vestnik*, 4–2: 72–75.
- Dorogova V.B., Taranenko N.A., Rychagova O.A. 2010. Environmental Formaldehyde and its Organism Effects (Survey). *Bulletin of Eastern-Siberian Scientific Center Siberian Branch Russian Academy of Medical Sciences*, 1 (71): 32–35 (in Russian).
- Kalinkin D.E., Karpov A.B., Takhaouov R.M., Samoylova Yu.A. 2013. The Dynamics of Health Indicators of Population of Industrial Town. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*, 4: 14–19 (in Russian).
- Lezhnin V.L., Konshina L.G., Sergeeva M.V. 2014. Assessment of Children's Health Risk Posed by Traffic-Related Air Pollution as Exemplified by the City of Salekhard. *Hygiene and Sanitation*, 93 (1): 83–86 (in Russian).
- Maklakova O.A. 2019. Assessing Risks of Respiratory Organs Diseases and Co-Morbid Pathology in Children Caused by Ambient Air Contamination with Technogenic Chemicals (Cohort Study). *Health Risk Analysis*, 2: 56–63 (in Russian). DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.06.
- Margaryan V.G. 2017. Okhrana atmosfernogo vozdukhha i problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti v Respublike Armeniya [Air protection and the problems of ecological safety in the republic of Armenia]. In: *Aktualnyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti i ekologii* [Actual problems of life safety and ecology]. Collection of scientific papers and materials of the III International scientific-practical conference with a scientific school for youth, 30 March – 02 April 2017, Tver, Publ. Tver State Technical University: 262–266.
- Margaryan V.G. 2021. Statistical analysis of atmospheric emissions and ecological security: Republic of Armenia. *Proceedings of the YSU: Geological and Geographical Sciences*, 55 (1(254)): 6–12 (in Russian). DOI: 10.46991/PYSU:C/2021.55.1.006.
- Merkulov P.I., Merkulova S.V., Khlevina S.E., Sergeycheva S.V. 2012. Spatial-Temporal Variability of Moistening Conditions and Its Influence on Health of the Population of the Republic of Mordovia. *Regional Environmental Issues*, 5: 132–138.
- Meshchurova T.A. 2020. Assessment of Air Pollution in the Cities of Perm Region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 1: 110–119 (in Russian). DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/17.
- Perevedentsev Yu.P., Khabutdinov Yu.G., Nikolaev A.A. 2004. *Gidrometeorologicheskiye osnovy okhrany okruzhayushchey sredy* [Hydrometeorological foundations of environmental protection]. Kazan, Publ. Kazanskiy Gosudarstvenniy Universitet, 133 p.



- Chubirko M.I., Pichuzhkina N.M. 2008. Gigiyenicheskaya diagnostika vliyaniya zagryazneniya atmosfernogo vozdukha na zdorovye naseleniya [Hygienic diagnostics of the influence of atmospheric air pollution on public health]. *Zdorovye naseleniya i sreda obitaniya*, 1 (178): 19–20.
- Karimian H., Li Q., Li C., Jin L., Fan J., Li Y. 2016. An improved method for monitoring fine particulate matter mass concentrations via satellite remote sensing. *Aerosol and Air Quality Research*, 4: 1081–1092.
- Li X., Ma Y., Wang Y., Liu N., Hong Y. 2017. Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. *Atmospheric Research*, 198: 185–193.

*Поступила в редакцию 11.10.2021;
поступила после рецензирования 04.12.2021;
принята к публикации 22.01.2022*

*Received October 11, 2021;
Revised December 04, 2021;
Accepted February 22, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маргарян Вардуи Гургеновна, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и гидрометеорологии Ереванского государственного университета, г. Ереван, Армения

Хачатрян Гор Арменович, магистрант кафедры физической географии и гидрометеорологии Ереванского государственного университета, г. Ереван, Армения

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Varduhi G. Margaryan, candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology of the Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Gor A. Khachatryan, master student of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology of the Yerevan State University, Yerevan, Armenia



УДК 504.055+504.3.054
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-62-70

Изучение корреляции концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с шумовой характеристикой транспортного потока (на примере города Воронеж)

^{1,2}Кондауров Р.А., ¹Куролап С.А.

¹Воронежский государственный университет
Россия, 394018, Воронеж, Университетская площадь, 1

²Общество с ограниченной ответственностью «Транспортное проектирование»
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 7Е
E-mail: Romakon@list.ru, skurolap@mail.ru

Аннотация. Состояние окружающей среды и уровень здоровья населения крупных городов во многом зависит от функционирования улично-дорожной сети. Существующие методики оценки воздействия данного источника загрязнения не обладают комплексными свойствами. Также отсутствует комплексная методика, которая позволяла бы одновременно оценивать воздействие химических и физических факторов при оценке рисков заболеваемости населения. Авторами выдвигается гипотеза значимой корреляции максимально-разовой концентрацией загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха с шумовой характеристикой транспортного потока в пределах примагистральных территорий в условиях крупных городов. Подтверждение корреляции между рассматриваемыми показателями позволит статистически обосновать комплексные методики оценки воздействия и риска для здоровья населения при функционировании улично-дорожной сети. Проведенные в натурных условиях эксперименты позволили установить согласованность изменчивости изучаемых показателей, которые помогут оптимизировать процедуру оценки влияния функционирования улично-дорожной сети на состояние окружающей среды и расчёты рисков заболеваемости населения.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, автотранспортные средства передвижения, эквивалентный уровень звука, атмосферный воздух, риски заболеваемости населения

Благодарности: настоящие исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 20-17-00172.

Для цитирования: Кондауров Р.А., Куролап С.А. 2022. Изучение корреляции концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с шумовой характеристикой транспортного потока (на примере города Воронеж). Региональные геосистемы, 46(1): 62–70. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-62-70

Study of the Correlation Between the Concentrations of Pollutants in the Atmosphere Air and Noise Characteristics of Traffic Flow (on the Example of the City of Voronezh)

^{1,2}Roman A. Kondaurov, ¹Semyon A. Kurolap

¹Voronezh State University

1 Universitetskaya Sq., Voronezh 394018, Russia

²Limited Liability Company "Transportnoye proektirovaniye"

7E Moskovsky Avenue, Voronezh, 394026, Russia

E-mail: Romakon@list.ru, skurolap@mail.ru

Abstract. The state of the environment and the level of health of the population of large cities depends to a large extent on the functioning of the street and road network. The existing methods of assessing the

impact of this source of pollution do not have complex properties. There is also no comprehensive methodology that would simultaneously assess the impact of chemical and physical factors in assessing the risks of morbidity of the population. The authors hypothesize that there is a connection between the maximum single concentration of pollutants in the surface layer of atmospheric air and the noise characteristics of the traffic flow within the mainline territories in large cities. Confirmation of the relationship between the considered indicators will allow statistically substantiate comprehensive methods for assessing the impact and risk to public health in the functioning of the road network. The experiments carried out in full-scale conditions allowed us to establish links between the studied indicators, which will help to optimize the procedure for assessing the impact of the functioning of the road network on environmental conditions and calculating the risks of morbidity of the population.

Keywords: street and road network, motor vehicles, equivalent sound levels, ambient air, public health risks

Acknowledgements: This study was carried out with financial support of the Russian Science Foundation, project No. 20-17-00172.

For citation: Kondaurov R.A., Kurolap S.A. 2022. Study of the correlation between the concentrations of pollutants in the atmosphere air and noise characteristics of traffic flow (on the example of the city of Voronezh). *Regional Geosystems*, 46(1): 62–70 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-62-70

Введение

В настоящее время в условиях крупных городов одним из основных источников загрязнения окружающей среды и факторов формирования рисков заболеваемости населения являются функционирующие улично-дорожные сети [Глухов и др., 2015; Куролап и др., 2015; Клепиков, 2020; Прожорина и др., 2020]. Учитывая тот факт, что в условиях крупных городов не всегда представляется возможным проектирование и дальнейшее строительство шумозащитных конструкций, таких как шумозащитные экраны-стенки и посадка шумозащитных лесополос, при возрастающем числе автотранспортных средств вопрос оптимизации комплексной оценки данного источника загрязнения и оценки рисков заболеваемости населения остается актуальным.

Для оптимизации процесса оценки влияния функционирующих улично-дорожных сетей и расчёта рисков заболеваемости населения, по мнению авторов, необходимо учитывать возможные связи основных показателей. В связи с этим авторами выдвигается гипотеза о значимой корреляции между максимально-разовой концентрацией загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха и шумовой характеристикой транспортного потока в пределах примагистральных территорий в условиях крупных городов. Эта гипотеза основана на том, что на величину эмиссии загрязняющих веществ и уровень эквивалентного звука оказывает влияние одна и та же группа факторов: региональные синоптические условия; характер городской застройки и характеристика транспортного потока [Подольский, 1993; Подольский и др., 1999; Власов, 2004; Иванов и др., 1979; Талай и др., 2021].

Авторами была поставлена цель зафиксировать величину корреляции между максимально-разовой концентрацией CO, NO₂, NO, SO₂, сажи (углерода, пигмента черного) и шумовой характеристикой транспортного потока. Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи: осуществить эксперимент и статистическую обработку полученных результатов.

Объекты и методы исследования

В качестве полигона для проведения эксперимента была выбрана примагистральная территория города Воронежа как типичного крупного промышленного города с при-

сущими ему проблемами, связанными с отставанием улично-дорожной сети от роста числа автотранспортных средств на душу населения [Якушев и др., 2013].

Для постановки эксперимента был выбран один из интенсивных участков улично-дорожной сети – Московский проспект (поперечник: дома № 122 и 119). Выбранный участок характеризуется типовой застройкой. Дома первого эшелона представлены конструкциями в 10 и 14 этажей, с удалением от ближайшей оси движения автотранспортных средств соответственно на 52 и 66 м. Согласно своду правил [СП 42.13330.2016] рассматриваемый источник загрязнения относится к магистральным улицам общегородского значения 2-го класса – регулируемого движения. Место для проведения измерений эквивалентного уровня звука, образованного функционированием улично-дорожной сети, соответствовало требованиям межгосударственного стандарта [ГОСТ 20444-2014]. На рис. 1 представлена схема участка проведения эксперимента.



Рис. 1. Схема территории проведения эксперимента
Fig. 1. Layout of the area under experiment

В качестве методической базы эксперимента были использованы различные нормативные документы [ГОСТ 17.2.3.01-86; ГОСТ 20444-2014; ГОСТ 23337-2014; МВИ-4215-002-56591409-2009; МР 4.3.0008-10; РД 52.04.186-89; ОДМ 218.2.099-2019; СанПиН 1.2.3685-21].

В ходе эксперимента были применены следующие средства измерения: шумомер АССЕСТЕНТ S-Light (2 шт.); акустический калибратор ЗАЩИТА-К (1 шт.); газоанализатор ГАНК-4 (4 шт.); метеометр МЭС 200 А (1 шт.) и лазерный дальномер BoschDLE 150 (1 шт.).

Дислокация точек измерения была назначена по обе стороны оси магистрали на расстояниях: 7,50 м, 11,25 м, 15,00 м и 18,75 м от ближайшего источника звука (ближайшей оси полосы движения автотранспортных средств передвижения относительно точки наблюдения). Следует отметить, что при назначении расстояний авторы руководствовались требованиями [ГОСТ 20444-2014], а также величиной, равной половине опорного расстояния (7,50 м). На рис. 2 представлена принципиальная схема постановки эксперимента.

Измерение осуществлялось в дневной период суток (от 7:00 до 20:20) будних дней, при этом измерение в час пик не осуществлялось. В ходе рекогносцировочных исследований было установлено, что на данном участке улично-дорожной сети час пик наступает в периоды 7:50–9:30 и 17:00–19:00.

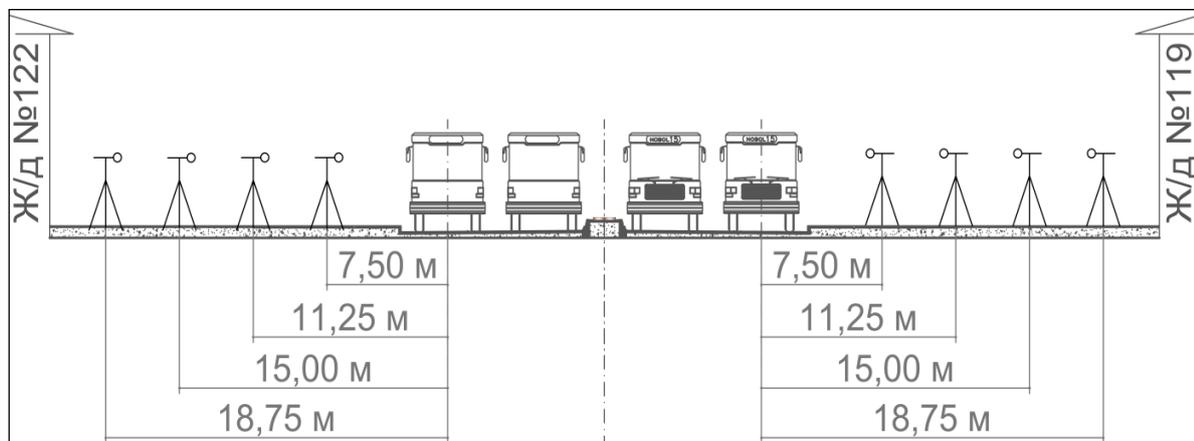


Рис. 2. Принципиальная схема постановки эксперимента
Fig. 2. Schematic diagram of the experimental set up

Единичные измерения осуществлялись в течение 20 мин., т.к. параллельно с измерением эквивалентного уровня звука осуществлялось измерение максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха.

При измерениях эквивалентного уровня звука ($L_{Aeq, \text{потока}}^{авт}$, дБА) были соблюдены требования и рекомендации [ГОСТ 20444-2014; ГОСТ 23337-2014; МР 4.3.0008-10]. Время определения максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха и высота отбора проб были назначены на основании [ГОСТ 17.2.3.01-86; РД 52.04.186-89]. Номенклатура определяемых показателей была установлена в соответствии с пунктом 7.4.2 [ГОСТ 32847-2014] и приложением В [ОДМ 218.2.099-2019].

На основании вышеизложенного, в табл. 1 представлены объемы эксперимента.

Таблица 1
Table 1

Объемы эксперимента
The scope of the experiment

Параметры измерений	Расстояния от точек измерения и до ближайшей оси движения автотранспортного потока относительно точек наблюдения, м			
	7,50	11,25	15,00	18,75
Количество единичных измерений эквивалентного уровня звука	120	360	360	360
Количество единичных измерений концентраций в приземном слое атмосферного воздуха каждого загрязняющего вещества	40	120	120	120
Суммарная величина времени измерения единичных измерений эквивалентного уровня звука и концентраций в приземном слое атмосферного воздуха, мин	1200	3600	3600	3600
Время проведения эксперимента, мин.	12000			



Согласно межгосударственным стандартам [ГОСТ 20444-2014; ГОСТ 23337-2014] были рассчитаны значения шумовых характеристик транспортного потока.

Результаты и их обсуждение

На основании проведенных исследований и обработки результатов эксперимента были получены средние значения максимально-разовых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и значения шумовых характеристик транспортного потока, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты вычислений Calculation results

$L_{\text{Авт}}^{\text{Авт}}$ $L_{\text{Авт}}^{\text{Авт}}$ дБА	Средние максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ, мг/м ³				
	СО	NO ₂	NO	SO ₂	Сажа (углерод, пигмент черный)
7,50 м					
74,5	5,898±1,180	0,385±0,077	0,453±0,091	0,525±0,105	0,171±0,034
11,25 м					
69,4	5,187±0,837	0,208±0,042	0,403±0,081	0,214±0,043	0,128±0,026
15,00 м					
65,8	3,024±0,605	0,157±0,031	0,298±0,060	0,180±0,036	0,073±0,015
18,75 м					
61,3	2,234±0,447	0,148±0,030	0,136±0,027	0,124±0,025	0,051±0,010

Санитарно-гигиеническая оценка результатов обработки экспериментальных данных [СанПиН 1.2.3685-21] была осуществлена на основе действующих нормативных значений. Результаты оценки представлены в табл. 3.

Таблица 3
Table 3

Результаты санитарно-гигиенической оценки обработанных экспериментальных данных The results of the sanitary and hygienic evaluation of the processed experimental data

$L_{\text{Авт}}^{\text{Авт}}$ $L_{\text{Авт}}^{\text{Авт}}$ доли ПДУ	Средние максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ, доли ПДК _{м.р.}				
	СО	NO ₂	NO	SO ₂	Сажа (углерод, пигмент черный)
7,50 м					
1,35	1,18	1,93	1,13	1,05	1,14
11,25 м					
1,26	1,04	1,04	1,01	0,43	0,85
15,00 м					
1,20	0,60	0,79	0,75	0,36	0,49
18,75 м					
1,11	0,45	0,74	0,34	0,25	0,34

Следует отметить, что во всех точках измерения шумовая характеристика транспортного потока превышала установленные нормативные значения для дневного периода суток. Превышение составило от 1,11 до 1,35 дБА. Было зафиксировано превышение значений ПДК_{м.р.} исследуемых загрязняющих веществ до отметки 11,25 м включительно (за исключением SO₂ и сажи / углерода, пигмента черного).

Полученный массив обработанных экспериментальных данных был подвергнут корреляционному анализу, который был выполнен с помощью программы STADIA. Результаты корреляционного анализа были качественно оценены с помощью шкалы Чеддока [Котеров и др., 2019]. Соответствующие результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Результаты корреляционного анализа (коэффициенты линейной корреляции)
Correlation analysis results (linear correlation coefficients)

Сочетание показателей*	Расстояния от ближайшей оси движения автотранспортных средств передвижения относительно точки измерения, м / Характеристика связи между изучаемыми признаками			
	7,50	11,25	15,00	18,75
$L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}} / \text{CO}_{\text{м.р.}}$	0,92 / весьма высокая	0,75 / высокая	0,54 / заметная	0,28 / слабая
$L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}} / \text{NO}_{2\text{м.р.}}$	0,91 / весьма высокая	0,81 / высокая	0,58 / заметная	0,21 / слабая
$L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}} / \text{NO}_{\text{м.р.}}$	0,92 / весьма высокая	0,74 / высокая	0,61 / заметная	0,19 / слабая
$L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}} / \text{SO}_{2\text{м.р.}}$	0,88 / высокая	0,71 / высокая	0,52 / заметная	0,17 / слабая
$L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}} / \text{С}_{\text{м.р.}}$	0,72 / высокая	0,68 / заметная	0,51 / заметная	0,14 / слабая

* $L_{\text{Авт.потока}}^{\text{авт}}$ – эквивалентный уровень звука, дБА; $\bar{X}_{\text{м.р.}}$ – средние максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ, мг/м³

Было рассчитано значение корреляции шумовой характеристикой транспортного потока с максимально-разовыми концентрациями изучаемых загрязняющих веществ, которая изменяется от «весьма высокая» до «слабая». При этом степень корреляции между признаками уменьшается с увеличением расстояния от источника звука (химического загрязнения). Установлено, что величина корреляции между изучаемыми показателями, наблюдаемая до 15 м включительно, может рассматриваться как доказательство принятой гипотезы.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать выводы о наличии значимой корреляции между максимально-разовой концентрацией загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха и шумовой характеристикой транспортного потока в пределах примагистральных территорий в условиях крупных городов. Данный факт мо-



жет лечь в основу построения комплексной модели оценки воздействия улично-дорожной сети на воздушную и акустическую среды примагистральных территорий, а также рисков заболеваемости населения.

Список источников

- Глухов А.Т., Васильев А.Н., Гусева О.А. 2015. Дороги, улицы и транспорт города: мониторинг, экология, землеустройство. Саратов, Саратовский государственный технологический университет, 328 с.
- ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. 2005. М., Стандартинформ, 3 с.
- ГОСТ 20444-2014. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики. 2015. М., Стандартинформ, 15 с.
- ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. 2015. М., Стандартинформ, 19 с.
- ГОСТ 32847-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению экологических изысканий. 2015. М., Стандартинформ, 13 с.
- МВИ-4215-002-56591409-2009. Методика выполнения измерений массовой концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4. 2019. М., НПО ПРИБОР ГАНК, 21 с.
- МР 4.3.0008-10. Методические рекомендации. Применение акустических калибраторов шумомеров и оценка неопределенности измерений. 2011. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 7 с.
- ОДМ 218.2.099-2019. Методические указания по особенностям проведения инженерно-экологических изысканий при проектировании автомобильных дорог общего пользования. 2019. М., Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР), 115 с.
- РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. 1991. М., Госкомгидромет СССР, 694 с.
- СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 469 с.
- СП 42.13330.2016. Планировка и застройка городских и сельских поселений. 2017. М., Стандартинформ, 86 с.
- Трофименко Ю.В., Евгеньев Г.И. 2008. Экология: транспортное сооружение и окружающая среда. М., Академия, 400 с.

Список литературы

- Власов А.Б. 2004. Исследование условий движения и выбросов автотранспортных средств на улично-дорожной сети города. В кн.: Оптимизация ландшафтов и рекреационных зон на зональных и нарушенных землях : сб. материалов Всерос. конф. Воронеж, с. 99–103.
- Иванов В.Н. 1979. Влияние режимов движения автомобиля на выброс вредных веществ. Автомобильный транспорт, 9: 46–48.
- Клепиков О.В. 2020. Мониторинговые исследования по оценке уровня шума от автотранспорта в городе Воронеже. В кн.: Региональная экологическая диагностика состояния воздушной среды промышленных городов. Воронеж, Цифровая полиграфия: 35–42.
- Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Калинина М.В., Бирюков А.П., Ласточкина Е.М., Молодцова Д.В., Вайнсон А.А. 2019. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции. Медицинская радиология и радиационная безопасность, 64 (6): 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.
- Куролап С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М., Прожорина Т.И., Клевцова М.А., Яблонских Л.А., Акимов Л.М., Серeda Л.О., Маслова М.О. 2015. Интегральная экологическая оценка состояния городской среды. Воронеж, Издательство Научная книга, 231 с.

- Подольский В.П., Артюхов В.Г., Турбин В.С., Канищев А.Н. 1999. Автотранспортное загрязнение придорожных территорий. Воронеж, Воронежский государственный университет, 264 с.
- Подольский В.П., Федорова Ю.В. 1993. Колебания уровня транспортных загрязнений в зависимости от динамики интенсивности движения, Автомобильные дороги, 12: 19–20.
- Прожорина Т.И., Куролап С.А., Клепиков О.В. 2020. Исследование влияния автотранспорта на здоровье населения города Воронежа, проживающего в зонах акустического дискомфорта. В кн.: Региональная экологическая диагностика состояния воздушной среды промышленных городов. Воронеж, Цифровая полиграфия: 59–69.
- Талалай Т.О., Лебедева М.Г., Крымская О.В., Крымская А.А. 2021. Содержание загрязняющих веществ в атмосфере города Белгорода в различных синоптических условиях. Региональные геосистемы, 45 (1): 107–117. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.
- Якушев А.Б., Куролап С.А., Карпович М.А. 2013. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрального Черноземья. Воронеж, Издательство Научная книга, 207 с.

References

- Vlasov A.B. 2004. Investigation of traffic conditions and emissions of motor vehicles on the city's road network. In: Optimization of landscapes and recreational zones on zonal and disturbed lands : collection of materials of the All-Russian Conference. Voronezh, pp. 99–103 (in Russian).
- Ivanov V.N. 1979. The influence of vehicle driving modes on the emission of harmful substances. Automobile transport, 9: 46–48 (in Russian).
- Klepikov O.V. 2020. Monitoringovye issledovaniya po ocenke urovnya shuma ot avtotransporta v gorode Voronezhe [Monitoring studies to assess the noise level from vehicles in the city of Voronezh]. In: Regional'naya ekologicheskaya diagnostika so-stoyaniya vozduшной среды promyshlennykh gorodov [Regional ecological diagnostics of the state of the air environment of industrial cities]. Voronezh, Publ. Cifrovaya poligrafiya: 35–42.
- Koterov A.N., Ushenkova L.N., Zubenkova E.S., Kalinina M.V., Biryukov A.P., Lastochkina E.M., Molodtsova D.V., Wainson A.A. 2019. Strength of Association. Report 2. Graduations of Correlation Size. Medical Radiology and Radiation Safety, 64 (6): 12–24 (in Russian). DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.
- Kurolap S.A., Klepikov O.V., Vinogradov P.M., Prozhorina T.I., Klevtsova M.A., Yablonskikh L.A., Akimov L.M., Sereda L.O., Maslova M.O. 2015. Integral'naya ekologicheskaya ocenka sostoyaniya gorod-skoj среды [Integral environmental assessment of the state of the urban environment]. Voronezh, Publ. Nauchnaya kniga, 231 p.
- Podol'skij V.P., Artyuhov V.G., Turbin V.S., Kanishchev A.N. 1999. Avtotransportnoe zagryaznenie pridorozhnykh territorij [Motor vehicle pollution of roadside areas]. Voronezh, Publ. Voronezhskiy gosudarstvenniy universitet, 264 p.
- Podol'skij V.P., Fedorova Y.V. 1993. Fluctuations in the level of transport pollution depending on the dynamics of traffic intensity. Highways, 12: 19–20 (in Russian).
- Prozhorina T.I., Kurolap S.A., Klepikov O.V. 2020. Issledovanie vliyaniya avtotransporta na zdorov'e naseleniya goroda Voronezha, prozhivayushchego v zonah akusticheskogo diskomforta [Study of the impact of motor transport on the health of the population of the city of Voronezh living in zones of acoustic discomfort]. In: Regional'naya ekologicheskaya diagnostika sostoyaniya vozduшной среды promyshlennykh gorodov [Regional ecological diagnostics of the state of the air environment of industrial cities]. Voronezh, Publ. Cifrovaya poligrafiya: 59–69.
- Talalay T.O., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Krymskaya A.A. 2021. The content of pollutants in the atmosphere of the city of Belgorod in various weather conditions. Regional Geosystems, 45 (1): 107–117 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-1-107-117.
- Yakushev A.B., Kurolap S.A., Karpovich M.A. 2013. Ekologicheskaya ocenka vozdeystviya avtotransporta na vozduшный bassejn gorodov Central'nogo Chernozem'ya [Environmental



assessment of the impact of motor transport on the air basin of the cities of the Central Chernozem region]. Voronezh, Publ. Nauchnaya kniga, 207 p.

*Поступила в редакцию 12.11.2021;
поступила после рецензирования 04.12.2021;
принята к публикации 10.01.2022*

*Received November 12, 2021;
Revised December 04, 2021;
Accepted January 10, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кондауров Роман Анатольевич, кандидат географических наук, преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета; ведущий инженер отдела экологического и гидрометеорологического сопровождения проектов Общества с ограниченной ответственностью «Транспортное проектирование», г. Воронеж, Россия

Куrolap Семен Александрович, профессор, доктор географических наук, профессор кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды, заведующий кафедрой геоэкологии и мониторинга окружающей среды, декан факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Kondaurov, Cand. Sc. in Geography, Lecturer of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism of the Voronezh State University; Lead Engineer, Department for Environmental and Hydrometeorological Project Support, Limited Liability Company "Transportnoye Proektirovaniye", Voronezh, Russia

Semyon A. Kurolap, Professor, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Dean of the Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russia

УДК 504.05

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-71-80

Мультифрактальные модели воздействия на водную экосистему: отклик, риск, управление

¹Кочуров Б.И., ²Кульнев В.В., ³Цветков И.В.

¹Институт географии Российской академии наук,
Россия, 109017, Москва, Староманетный переулок, 29

²Центрально-Черноземное межрегиональное управление
Федеральной службы по надзору в сфере природопользования,
Россия, 394087, Воронеж, ул. Ломоносова, 105

³Тверской государственный университет,
Россия, 170100, Тверь, ул. Желябова, 33

E-mail: b.i.kochurov@igras.ru, kulnev@rpn36.ru, mancu@mail.ru

Аннотация. Природные и природно-антропогенные экосистемы и ландшафты являются сложными эмерджентными системами. Для их адекватного описания, оценки состояния и управления необходимо использовать степенное распределение параметров. Детерминированные (усреднённые) параметры, в значительной мере, упрощают описание такой системы и не позволяют в полной мере определять вероятность возникновения в экосистеме негативных изменений (риска) при антропогенных воздействиях. Использование фрактального подхода в экологических исследованиях решает эту проблему. Целью работы является разработка мультифрактальной модели воздействия на водную экосистему, основанной на принципах самоорганизации природной экосистемы. Суммарный отклик экосистемы на антропогенное воздействие предложено оценивать путем наложения ее мультифрактального образа на выделенные формы критической организации экосистемы, которая отвечает пределам самовосстановления структуры гидробиоценоза. Нарушение самоорганизации экосистемы эквивалентно нарушению фрактальности, обеспечивающей ее жизнеспособность в изменяющихся условиях внешней среды. Проведена формализация показателей, регламентирующих предельно допустимую экологическую нагрузку (ПДЭН), когда хозяйственная деятельность человека не превышает порогов устойчивости экосистемы. Это позволяет на примере алгоремедиации водоемов обеспечить наиболее приемлемые параметры хозяйственной деятельности и контроль за восстановлением техногенно-нарушенных водных экосистем.

Ключевые слова: алгоремедиация, водная экосистема, гидробиоценоз, мультифрактальная динамика, управление рисками

Благодарность: Работа выполнена по государственному заданию «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования». FMGE-2019-0007 AAAA-A19-119021990093-8.

Для цитирования: Кочуров Б.И., Кульнев В.В., Цветков И.В. 2022. Мультифрактальные модели воздействия на водную экосистему: отклик, риск, управление. Региональные геосистемы, 46(1): 71–80. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-71-80



Multifractal Models of Impact on the Aquatic Ecosystem: Response, Risk, Management

¹Boris I. Kochurov, ²Vadim V. Kulnev, ³Ilya V. Tsvetkov

¹Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetny Lane, Moscow 109017, Russia,

²Central Chernozem Interregional Administration
Federal Service for Supervision of Nature Management, Voronezh, Russia
105 Lomonosov St, Voronezh 394087, Russia

³Tver State University,
33 Zhelyabova St, Tver, 170100, Russia

E-mail: b.i.kochurov@igras.ru, kulnev@rpn36.ru, mancu@mail.ru

Abstract. Natural and natural-anthropogenic ecosystems and landscapes are complex emergent systems. For their adequate description, assessment of the state and control, it is necessary to use the power-law distribution of parameters. Deterministic (averaged) parameters greatly simplify the description of such a system and do not allow to fully determine the probability of negative changes (risk) occurring in the ecosystem under anthropogenic impacts. The use of the fractal approach in ecological research solves this problem. The aim of the work is to develop a multifractal model of the impact on the aquatic ecosystem based on the principles of self-organization of the natural ecosystem. The total response of ecosystems to anthropogenic impact is proposed to be assessed by superimposing its multifractal image on the selected forms of critical organization of the ecosystem, which meets the limits of self-healing of the structure of hydrobiocenosis. Violation of ecosystem self-organization is equivalent to violation of fractality, which ensures its viability in changing environmental conditions. The formalization of indicators regulating the maximum permissible environmental load (PDN), when human economic activity does not exceed the thresholds of ecosystem stability, has been carried out. This makes it possible, using the example of the algoremediation of reservoirs, to provide the most acceptable parameters of economic activity and control over the restoration of technogenically disturbed aquatic ecosystems.

Keywords: algoremediation, aquatic ecosystem, hydrobiocenosis, multifractal dynamics, risk management

Acknowledgment: The work was carried out according to the state task "Assessment of physical, geographical, hydrological and biotic changes in the environment and their consequences for creating the foundations of sustainable nature management". FMGE-2019-0007 AAAAA-A19-119021990093-8.

For citation: Kochurov B.I., Kulnev V.V., Tsvetkov I.V. 2022. Multifractal Models of Impact on the Aquatic Ecosystem: Response, Risk, Management. *Regional Geosystems*, 46(1): 71–80 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-71-80

Введение

Экологические системы различают по уровню и иерархической организации, которая формируется определенными системообразующими факторами, имеющими самостоятельный круговорот веществ и энергии. Болотную кочку, лужу можно рассматривать как экосистему микроуровня. Небольшое озеро служит примером водной экосистемы мезоуровня. Экосистема отдельно взятого материка или географической области находится на макроуровне организации. Наша планета является экологической системой глобального уровня. Каждый уровень организации исследования характеризуется своими особенностями и предъявляет свои требования при использовании для хозяйственных целей по функциональному соподчинению более мелких и простых в более крупные системы.

Исходя из этого можно «сворачивать» и «разворачивать» экологические системы, то есть изменять их масштабируемость во времени и в пространстве. В математике для описания указанного процесса принято определение фрактальности как меры системной

сложности объектов и систем. Данный подход применительно к водным экологическим системам мы попытаемся описать в настоящей статье, имея в виду, что фрактальность экосистемы означает воспроизводство ее структуры в динамике при соблюдении принципа соразмерности условий хозяйственного использования и сохранения экосистемы.

Объекты и методы исследования

Как известно, любая динамическая система, равно как и геосистема и её составная часть экосистема обладает открытостью и т. д., функционирует в характерных для неё лимитах достаточности действующих факторов, в пределах действия которых экосистема не утрачивает своей устойчивости. Благодаря саморегуляции состояний поддерживается гомеостаз экосистемы, под которым понимается ее способность поддерживать устойчивое динамическое равновесие в изменяющихся условиях внешней среды [Кочуров и др., 2021].

В гомеостазе экосистема достигает наибольшей эффективности функционирования, однако, по мере приближения уровней действующих факторов к лимитирующим показателям устойчивости, эффективность функционирования экосистемы резко снижается, и она переходит в режим самосохранения. При этом гомеостаз сменяется на бистабильность (неустойчивое равновесие), а в экосистеме происходят необратимые морфологические изменения. Эксплуатация водных ресурсов, равно как и в целом природных ресурсов, имеет свои пределы: увеличивая нагрузку на природную среду, ее нельзя истощать, нарушая естественный природный цикл регенерации биоресурса [Кочуров и др., 2021].

Во многих исследованиях отмечается повышенная аккумуляция ксенобиотиков в водной среде как рек [Ясинский и др., 2007; Лисецкий и др., 2015; Баскакова и др., 2020; Koronkevich et al., 2020; Zhiltsov et al., 2020], так и водохранилищ [Воробьев и др., 2000; Иванова, 2020; Krupa et al., 2020].

Оценка состояния водной экосистемы включает несколько действий (этапов) [Подгорный, 2017]:

- разработка системы критериев показателей, описывающих основные структурно-функциональные характеристики экосистемы; они должны быть количественными, построенными на основе имеющихся баз данных и временных рядов, чутко реагирующими на различные изменения в экосистеме;

- анализ возникающих рисков – вероятность возникновения того или иного изменения в экосистеме при антропогенном воздействии или при принятии управленческих решений для достижения определённого состояния экосистемы; разработка стратегии управления состоянием экосистемой, оценка её эффективности, возникающие новые риски;

- мониторинг и управление состоянием экосистемой, оценка отклонения от нормального состояния (режимный сдвиг).

Очевидно, что нарушение естественного воспроизводства экосистемы определяет предельно допустимую экологическую нагрузку (ПДЭН), под которой понимается возникающая в процессе хозяйственной или иной деятельности человека нагрузка, которая не нарушает устойчивости (гомеостаза) экологической системы. Она определяется характеристическими фрактальными показателями (Dd , Dk) [Кульнев и др., 2021]:

$$\text{ПДЭН} = Dp \rightarrow (DdVDk) \text{ при } Re(0,1) \rightarrow 1.$$

Достижение ПДЭН эквивалентно состоянию бистабильности экосистемы, при котором уровень внешнего воздействия, например, поступление загрязняющих веществ, сравнивается с пределом его биотической компенсации, $R = P$, когда самовосстановление экосистемы прекращается (рис. 1).

Природное восстановление биоресурсов происходит за счет естественных природных механизмов – биопродукционных, климатических и гидрологических. В случае, когда природное восстановление не происходит и продолжается ухудшение экологического состояния водного объекта (начинается «цветение» водоема синезелеными водорослями, в результате которого значительно ухудшаются органолептические характеристики воды, снижается рекреационный потенциал водоема и водная среда загрязняется, в том числе, цианотоксинами), наступает момент возможности применения управляющего действия, которое может быть представлено, например, альгоремедиацией.

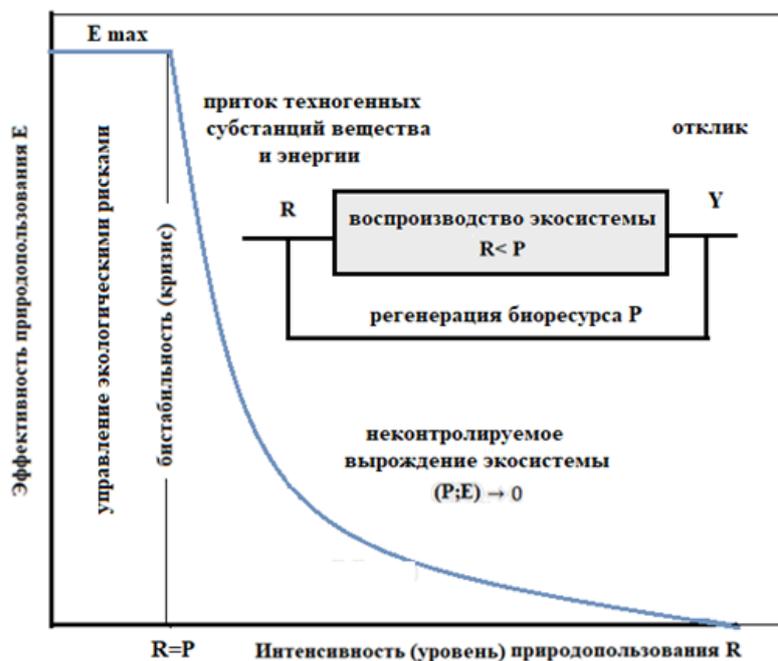


Рис. 1. Схема техноприродного цикла хозяйственной эксплуатации экосистем
 Fig. 1. Scheme of technoprirodny cycle of economic exploitation of ecosystems

Под альгоремедиацией понимается восстановление экологического состояния водных объектов за счет метаболического потенциала планктонной альгофлоры [Кульнев и др., 2021]. Альгоремедиация, корректирующая нарушение метаболизма водного объекта, улучшает гидрохимические [Кульнев и др., 2021], гидробиологические (по фитопланктону) [Кульнев, Почечун, 2016] и органолептические показатели, восстанавливает водные объекты до рыбохозяйственного и рекреационного назначения, а также может применяться для обеспечения экологической безопасности промышленного водопользования [Коронкевич, Мельник, 2017].

Если обозначить R – интенсивность (уровень) природопользования; Z – антропогенно возобновимые ресурсы; P – природно-возобновимые ресурсы, то эффективность природопользования будет определяться соотношением

$$E = R / (Z + P). \quad (1)$$

Очевидно, что чем интенсивнее природопользование, тем ниже его эффективность, т. е. эксплуатация природного ресурса становится все дороже, поскольку затраты на его восстановление возрастают. В этой связи все более актуальной становится задача превентивного управления (прогнозирования) возникающими экологическими рисками.

В плане описания экосистем, которые способны управлять адаптацией к внешнему фактору в динамически развивающейся среде, фракталы являются наиболее удобным математическим инструментом [Арнольд, 2004; Ясинский, Сидорова, 2018]. Механизм са-

морегуляции, описываемый фракталом, задает такой структурный каркас сообществ, который сохраняется и развивается за счет оптимального распределения потоков вещества и энергии [Кульнев, Почечун, 2016; Ясинский, Сидорова, 2018; Кульнев и др., 2021].

Результаты и их обсуждение

Применительно к задачам геоэкологии фрактальность отражает меру самоподобия взаимодействующих сред (хозяйственной и природной), ограничивающей развитость структуры экосистемы [Коронкевич, Мельник, 2017; Ясинский, Сидорова, 2018; Кульнев и др., 2021]:

$$N(\delta) = \mu\delta^{1-D}, \quad (2)$$

где $N(\delta)$ – структура (размер) экосистемы, $\mu\delta$ – шаг масштабирования, D – фрактальная мера самоподобия техноприродных процессов.

В математическом плане оценка фрактальности техноприродных процессов сводится к их воспроизведению через фрактальный шаблон (рис. 2) и сводится к одному числу – фрактальной размерности $D \in (1; 2)$ [Moon et al., 2007; Кульнев, Почечун, 2016; Wang et al., 2018].

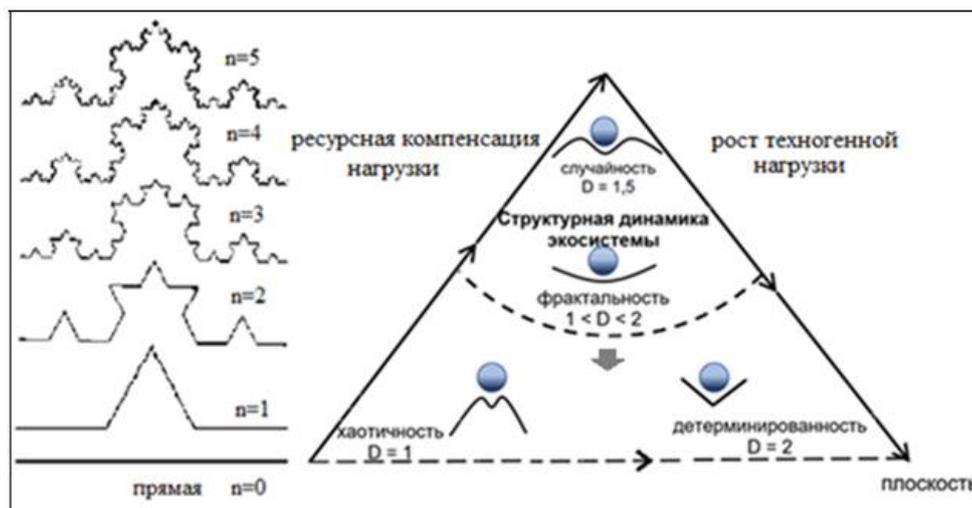


Рис. 2. Фрактал как математический инструмент описания техноприродных процессов
Fig. 2. Fractal as a mathematical tool for describing techno-natural processes

В соответствии с принципом толерантности, устойчивость экосистемы, определяющая ее жизнеспособность, ограничена дефицитом и избыточностью факторов, достижение которых говорит об изменении устойчивого цикла на предельный неустойчивый [Кульнев, Почечун, 2016].

Для связи фрактальности экосистемы с ее жизнеспособностью введем непрерывную функцию фрактальной «температуры» техноприродных процессов на интервале $D \in (1; 2)$ следующим образом:

$$T_f = a \times \left(\frac{1}{n-D} - \frac{1}{n} \right), \quad (3)$$

где D – фрактальный показатель экосистемы, n – размерность пространства, в которое вложен фрактальный объект, a – поправочный коэффициент, выбираемый индивидуально (в нашем случае $n = 2$, $a = 1$).

Физический смысл функции (3) состоит в идентификации пределов экологической емкости среды, ограниченной характеристическими значениями фрактальных показателей

экосистемы. Наилучшая линейная аппроксимация функции (3), определяющая область фрактальности (скейлинга параметров), достигается в характеристических точках $D_d = 1,2$; $D_k = 1,7$, вне которых показатели процессов практически скачком увеличиваются от значения $D = 1,7$ до $D = 1,9$, что свидетельствует о нарушении гомеостаза и начале неконтролируемого вырождения экосистемы (рис. 3, таблица).

На основании изложенного, мультифрактальную динамику техноприродных процессов можно представить следующей моделью:

$$D = \sum_{j=1}^2 a_{ij} F_j(D) / 2; 1,2 \leq D \leq 1,7, \quad (4)$$

где D – фрактальная мера техногенного преобразования экосистемы, $F_j(D)$ – факторные нагрузки экосистемы, a_{ij} – весовые коэффициенты действующих факторов.

Физически модель (4) интерпретируется следующим образом: область жизнеспособности экосистемы, определяемая ее саморегуляцией, оценивается отклонением факторной нагрузки $F_j(D)$ от экологического оптимума $F_j(D = 1,5)$: чем выше отклонение, тем сильнее конкретный фактор угнетает жизнеспособность экосистемы.

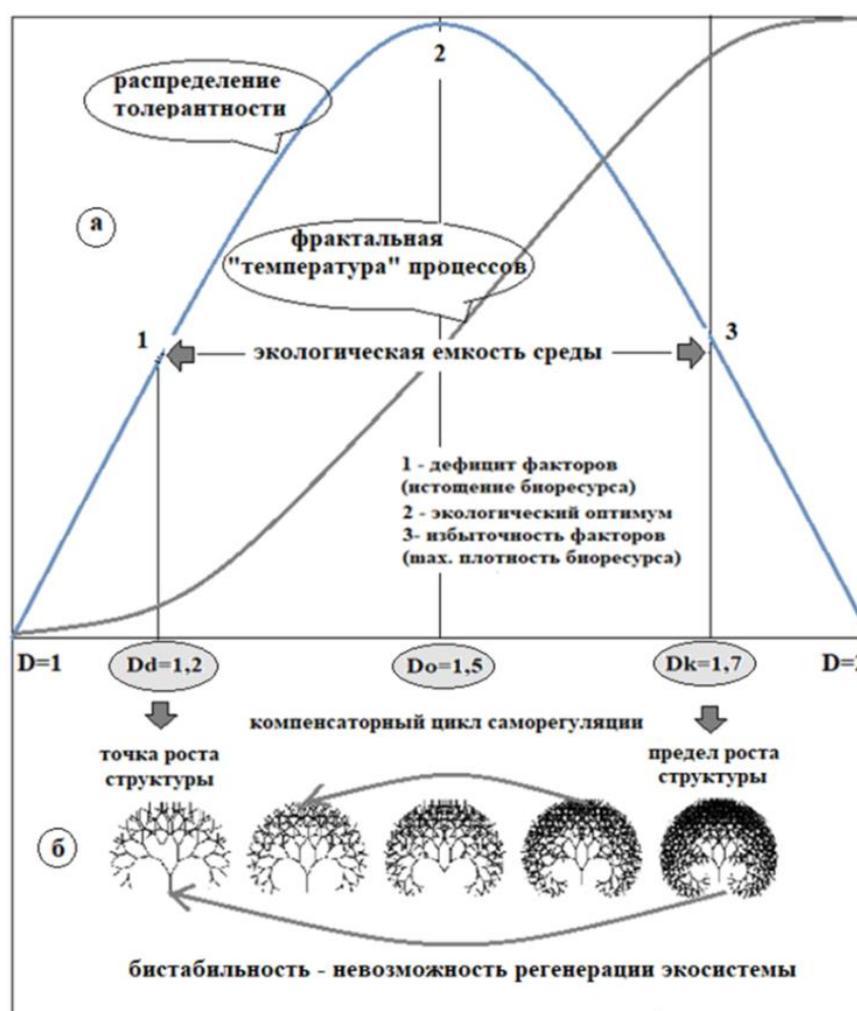


Рис. 3. Фрактальная размерность экосистемы, определяемая Гауссовой кривой: связь фрактальности экосистемы с ее жизнеспособностью (а); метафора структурной динамики экосистемы в условиях факторных нагрузок (б)

Fig. 3. Fractal dimension of the ecosystem determined by the Gaussian curve: Relationship of ecosystem fractality with its viability (a), metaphor of ecosystem structural dynamics under factor loads (b)

Динамика экосистем в условиях лимитирующих фрактальных показателей
Dynamics of ecosystems under conditions of limiting fractal indicators

Характеристические фрактальные показатели	Особенности системной динамики
Дефицит факторов $D_d = (1,2 \pm 0,1)$	Детерминированная динамика экосистемы, в которой отсутствует саморегуляция ее структуры из-за истощения биоресурса. Поведение экосистемы регулируется некомпенсируемыми однонаправленными антропогенными факторами влияния – появлением очагов загрязнений, с которыми экосистема не справляется самостоятельно.
Экологический оптимум $D_o = (1,5 \pm 0,1)$	Саморегулируемая динамика экосистемы в пределах экологической емкости среды. При достижении экологического оптимума линейный тренд процесса меняет знак на противоположный, образуя техноприродный цикл. Нарушениям цикла соответствует смещение состояний экосистемы относительно оптимума – чем оно больше, тем хуже саморегулируемость состояний.
Избыточность факторов $D_k = (1,7 \pm 0,1)$	Хаотическая динамика экосистемы, сопровождаемая резкими скачками ее системных характеристик. Начало неконтролируемого вырождения экосистемы из-за роста некомпенсируемых очагов загрязнений.

Максимально $F_j(D = 1,7)$ и минимально $F_j(D = 1,2)$ переносимые значения факторов являются теми лимитирующими значениями, за пределами которых существование экосистемы уже невозможно [Арнольд, 2004; Трубецков, 2011].

Близость фрактальной меры техногенного преобразования экосистемы к характеристическим показателям ее устойчивости определяет следующую оценку экологического риска:

$$R_e(0,1) = D * Q = \begin{pmatrix} R_e \rightarrow 1, \text{ если } D \rightarrow (1,2 \vee 1,7) \\ R_e \rightarrow 0, \text{ если } D \rightarrow 1,5 \\ 0 < R_e < 1, \text{ если } (1,2 < D < 1,7) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $R_e(0,1)$ – вероятность экологического риска, Q – предполагаемая величина ущерба от техногенного воздействия.

Заключение

Анализ решений вероятности экологического риска (5) для исследуемого техноприродного объекта сводится к оценке предельности смещений его состояний относительно экологического оптимума и ранжированию возникших при этом экологических рисков:

– решениям $D \rightarrow 1,5; R_e \rightarrow 0$ соответствует наиболее благоприятная динамика экосистемы, при которой загрязнения утилизируются без затрат биоресурса. В этом состоянии обеспечивается наиболее продуктивный метаболизм экосистемы, определяющий максимальную развитость структуры при минимизации экологических рисков;

– решениям $1,2 < D < 1,7; 0 < R_e < 1$ соответствует саморегулируемая динамика экосистемы, при которой обеспечивается утилизация загрязнений с частичными затратами биоресурса, восстанавливаемыми естественным образом после снятия нагрузки;

– решениям $D \rightarrow (1,2 \vee 1,7); R_e \rightarrow 1$ соответствует неустойчивая динамика (бистабильность) экосистемы, при которой утрачиваются свойства резистентности (саморегуляции состояний) в результате истощения биоресурса. В этом состоянии ресурса экосистемы явно недостаточно, чтобы запустить саморегуляцию, а, значит, утилизировать поступающие извне загрязнения;



– решениям $D > 1,7$; $R_e = 1$ соответствует наиболее неблагоприятная, кризисная динамика, при которой наблюдаются необратимые качественные изменения экосистемы, несмотря на снятие внешней нагрузки.

Когда водная экосистема по причине негативного воздействия техногенных факторов приходит к дисбалансу (выведению из динамической устойчивости) в своём существовании, который выражается, например, в массовом развитии сине-зеленых водорослей, тогда возникает потребность в управляющем воздействии. Отличным примером управления геоэкологическими рисками при современном водопользовании является альгоремедиация водных объектов различного назначения с одновременным контролем состояния экосистемы согласно приведенному методологическому подходу.

Таким образом, разработанная модель воздействия антропогенных факторов на водную экосистему позволяет на основе опытных данных оценить предельно допустимую экологическую нагрузку (ПДЭН), обеспечить наиболее приемлемые параметры хозяйственной деятельности и контроль за восстановлением нарушенных экосистем.

Список литературы

- Арнольд В.И. 2004. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М., Изд-во МЦНМО, 32 с.
- Баскакова А.Г., Иванова Е.Ю., Куролап С.А. 2020. Оценка содержания генотоксических соединений в поверхностных водах Донского бассейна на территории Воронежской области. Региональные геосистемы, 44 (2): 221–230. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-221-230.
- Воробьев Ю.Л., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. 2000. Управление риском и устойчивое развитие: Человеческое измерение. Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика, 8 (6): 12–26.
- Иванова Е.Ю. 2020. Аккумуляция генотоксических соединений некоторыми компонентами водных и прибрежных экосистем Воронежского водохранилища. Региональные геосистемы, 44 (1): 113–120. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-1-113-120.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. 2017. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий. Водные ресурсы, 44 (1): 3–14. DOI: 10.7868/S0321059617010072.
- Кочуров Б.И., Ивашкина И.В., Ермакова Ю.И. 2021. Самоорганизация и саморазвитие урбогеосистем. География и природные ресурсы, 42 (3): 37–44. DOI: 10.15372/GIPR20210304.
- Кульнев В.В., Насонов А.Н., Цветков И.В., Межова Л.А. 2021. Оценка техногенной нагруженности Нижнетагильского городского пруда и управление геоэкологическими рисками на основе мультифрактальной динамики. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле, 21 (1): 4–11. DOI: 10.18500/1819-7663-2021-21-1-4-11.
- Кульнев В.В., Почечун В.А. 2016. Применение альголизации питьевых водоемов Нижнетагильского промышленного узла. Медицина труда и промышленная экология, 1: 20–22.
- 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.
- Подгорный К.А. 2017. Требования и подходы к разработке биологических индикаторов и проведению интегрированного анализа состояния водных экосистем: обзор. Труды АтлантНИРО, 1 (4): 5–45
- Трубецков Д.И. 2011. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней. Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика, 19 (2): 69–88. DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-2-69-88.
- Ясинский С.В., Гулов Ф.Н., Шилькрот Г.С. 2007. Метод оценки выноса биогенных элементов в овражно-балочную и речную сеть малой реки. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 4: 44–53.
- Ясинский С.В., Сидорова М.В. 2018. Динамика водоёмкости в России и её регионах. Вопросы географии, 145: 406–413.

- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S. 2020. Environmental and Economic Indicators of Anthropogenic Impacts on Water Resources in Russia and the World. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 90 (4), 428–436. DOI: 10.1134/S1019331620040103.
- Krupa E., Barinova S., Romanova S., Aubakirova M., Ainabaeva N. 2020. Planktonic invertebrates in the assessment of long-term change in water quality of the sorbulak wastewater disposal system (Kazakhstan). *Water*, 12 (12): 3409. DOI:10.3390/w12123409.
- Moon B.-H., Seo G.-T., Jang D.-J., Kim S.-S. 2007. Size and fractal dimension of particles in the River Nakdong. *Water Science and Technology*, 55 (1–2): 113–120. DOI: 10.2166/wst.2007.060.
- Wang X.J., Jiang R.G., Xie J.C., Wang Y.P., Zhang Y.J., Wang J., Wen C.C. 2018. Spatiotemporal variability of runoff using fractal dimension in the Weihe River Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191 (1): 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/191/1/012059.
- Zhiltsov S.S., Zonn I.S., Semenov A.V., Grishin O.E., Markova E.A. 2020. Role of water resources in the modern world. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 105: 13–29. DOI: 10.1007/698_2020_598.

Reference

- Arnol'd V.I. 2004. "Zhestkie" i "myagkie" matematicheskie modeli ["Hard" and "soft" mathematical models]. Moscow, Publ. MTsNMO, 32 p.
- Baskakova A.G., Ivanova E.Yu., Kurolap S.A. 2020. Assessment of the content of genotoxic compounds in natural waters on the example of the Don basin in the Voronezh region. *Regional Geosystems*, 44 (2): 221–230 (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-2-221-230.
- Vorob'ev Yu.L., Malinetskiy G.G., Makhutov N.A. 2000. Risk Management and Sustainable Development. Humanitarian Dimension. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 8 (6): 12–26 (in Russian).
- Ivanova E.Y. 2020. The accumulation of genotoxic compounds some components of the aquatic and coastal ecosystems of the Voronezh reservoir. *Regional Geosystems*, 44 (1): 113–120 (in Russian). DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-1-113-120.
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. 2017. Changes in Moskva r. runoff under anthropogenic impacts. *Water Resources*, 44 (1): 1–11 (in Russian). DOI: 10.7868/S0321059617010072.
- Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Ermakova Yu.I. 2021. Self-Organization and Self-Development of Urbogeosystems. *Geography and Natural Resources*, 42 (3): 37–44 (in Russian). DOI: 10.15372/GIPR20210304.
- Kul'nev V.V., Nasonov A.N., Tsvetkov I.V., Mezхова L.A. 2021. Assessment of Technogenic Load of Nizhny Tagil City Pond and Environmental Risk Management Based on Multifractal Dynamics. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 21 (1): 4–11 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2021-21-1-4-11.
- Kul'nev V.V., Pochechun V.A. 2016. Algolization of drinkable water basins in Nizhny Tagil industrial complex. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 1: 20–22 (in Russian).
- Lisetskii F.N., Degtyar A.V., Buryak Zh.A., Pavluk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. Reki i vodnyye obyekty Belogoria [Rivers and water bodies of Belogorye]. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
- Podgornyy K.A. 2017. Requirements and approaches for developing biological indicators and performing an integrated analysis of aquatic ecosystems state: an overview. *Trudy AtlantNIRO*, 1 (4): 5–45 (in Russian).
- Trubetskov D.I. 2011. Phenomenon of Lotka-Volterra Mathematical Model and Similar Models. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 19 (2): 69–88 (in Russian). DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-2-69-88.
- Yasinsky S.V., Goorov F.N., Shilkrot G.S. 2007. Method of Drifted-Over Evaluation of Biogenic Elements to Ravine-Balka and River System by Small River. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 4: 44–53 (in Russian).
- Yasinsky S.V., Sidorova M.V. 2018. Dynamics of water intensity of the economy in Russia and its regions. *Questions of geography*, 145: 406–413 (in Russian).



- Koronkevich N.I., Varabanova E.A., Georgiadi A.G., Zaitseva I.S. 2020. Environmental and Economic Indicators of Anthropogenic Impacts on Water Resources in Russia and the World. Herald of the Russian Academy of Sciences, 90 (4), 428–436. DOI: 10.1134/S1019331620040103.
- Krupa E., Barinova S., Romanova S., Aubakirova M., Ainabaeva N. 2020. Planktonic invertebrates in the assessment of long-term change in water quality of the sorbulak wastewater disposal system (Kazakhstan). Water, 12 (12): 3409. DOI:10.3390/w12123409.
- Moon B.-H., Seo G.-T., Jang D.-J., Kim S.-S. 2007. Size and fractal dimension of particles in the River Nakdong. Water Science and Technology, 55 (1–2): 113–120. DOI: 10.2166/wst.2007.060.
- Wang X.J., Jiang R.G., Xie J.C., Wang Y.P., Zhang Y.J., Wang J., Wen C.C. 2018. Spatiotemporal variability of runoff using fractal dimension in the Weihe River Basin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 191 (1): 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/191/1/012059.
- Zhiltsov S.S., Zonn I.S., Semenov A.V., Grishin O.E., Markova E.A. 2020. Role of water resources in the modern world. The Handbook of Environmental Chemistry, 105: 13–29. DOI: 10.1007/698_2020_598.

Поступила в редакцию 29.11.2021;

поступила после рецензирования 15.12.2021;

принята к публикации 28.12.2021

Received November 29, 2021;

Revised December 15, 2021;

Accepted December 28, 2021

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

Кочуров Борис Иванович, профессор, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования Института географии РАН, Москва, Россия

Кульнев Вадим Вячеславович, кандидат географических наук, ведущий специалист-эксперт отдела государственного экологического надзора Центрально-Черноземного межрегионального управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, г. Воронеж, Россия

Цветков Илья Викторович, доктор технических наук, профессор Тверского государственного университета, г. Тверь, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boris I. Kochurov, Professor, Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher, Department of Physical Geography and Environmental Problems of the Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

Vadim V. Kulnev, Candidate of Geographical Sciences, Leading Specialist-Expert of the Department of State Environmental Supervision of the Central Chernozem Interregional Administration of the Federal Service for Supervision of Nature Management, Voronezh, Russia

Ilya V. Tsvetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Tver State University, Tver, Russia



УДК 551.43

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-81-93

Морфологическое разнообразие верхнего течения реки Десна

Лобанов Г.В., Жохов М.В.

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского,
Россия, 241036, Брянск, ул. Бежицкая, 14
E-mail: lobanov_grigorii@mail.ru

Аннотация. Крупные, морфологически однородные отрезки течения рек рассматриваются как уровень организации форм руслового рельефа. Предполагается, что различия морфологии отражают влияние отдельных факторов на интенсивность и направление русловых процессов. Вместе с тем, методические основы исследования этого уровня руслового рельефа рассматриваются в отечественной и зарубежной литературе схематично. В статье приведены результаты изучения морфологически однородных отрезков течения верхней Десны. Приведены методические основы выделения и описания крупных отрезков течения как уровня организации руслового рельефа. Обосновано большое значение геолого-геоморфологических факторов в обособлении морфологически однородных отрезков русла, в том числе в эпохи расхождений, значительно превышающих современные значения. Представлены сведения о морфологических характеристиках крупных отрезков течения, приведена их типология. Рассмотрены механизмы влияния строения долины и водосборной территории на обособление морфологически однородных отрезков течения.

Ключевые слова: макроизлучины, факторы руслового процесса, морфологически однородные отрезки течения, геолого-геоморфологическое строение долины, верхнее течение р. Десна

Для цитирования: Лобанов Г.В., Жохов М.В. 2022. Морфологическое разнообразие верхнего течения реки Десна. Региональные геосистемы, 46(1): 81–93. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-81-93

Morphological diversity of the upper reaches of the Desna River

Grigory V. Lobanov, Mikhail V. Zhohov

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education
Bryansk State Academician I.G. Petrovski University
14 Bezhitskaya St, Bryansk 241036, Russia
E-mail: lobanov_grigorii@mail.ru

Abstract. The article describes the morphological diversity of the upper reaches of the Desna River at the level of large sections of the current. The catchment area and the valley of the Desna River is distinguished by a great variety of relief and geological structure, which is manifested both in modern riverbed processes and the morphology of the riverbed. It is noted that the epochs of high costs can be traced in the configuration of the modern channel, and the most studied consequence of high costs is the formation of macromeanders. Large, morphologically homogeneous sections of the current are considered as the level of organization of the forms of riverbed relief. It is assumed that morphological differences reflect the influence of individual factors on the intensity and direction of riverbed processes. At the same time, the methodological foundations of the study of this level of riverbed relief are considered schematically in the domestic and foreign literature. The article presents the results of studying morphologically homogeneous segments of the upper reaches of the Desna River. The methodological foundations of the identification and description of large sections of the flow as a level of organization of the channel relief are given. The great importance of geological and geomorphological factors in the isolation of morphologically homogeneous sections of the riverbed, including in epochs of expenditures significantly exceeding modern values, is substantiated. The information about the morphological



characteristics of large sections of the flow is presented, their typology is given. The mechanisms of the influence of the structure of the valley and the catchment area on the isolation of morphologically homogeneous flow segments are considered.

Keywords: macromeanders, factors of the riverbed process, morphologically homogeneous flow segments, geological and geomorphological structure of the valley, upper course of the Desna river

For citation: Lobanov G.V., Zhohov M.V. 2022. Morphological diversity of the upper reaches of the Desna River. *Regional Geosystems*, 46(1): 81–93 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-81-93

Введение

Морфологические особенности русла, т.е. сочетание форм разного порядка на отрезках значительной протяжённости может рассматриваться как свидетельство направленности и интенсивности русловых процессов. Вместе с тем, соотношение между конфигурацией русла и его современными деформациями на равнинных реках Европейской части России обычно сложнее. Морфология современного русла отражает работу реки в эпохи с разными руслоформирующими расходами, в том числе значительно превышающими современные значения. Под эпохами здесь понимаются отрезки времени протяжённостью от нескольких тысяч до десятков тысяч лет, в течение которых условия климата и стока складывались таким образом, что обеспечивали руслоформирующие расходы, превышавшие современные значения. В европейской части России таковыми были эпохи частичной и полной деградации покровного оледенения – в связи со стоком больших объёмов талых вод и глубинного вреза долин в связи с понижением базиса эрозии [Марков, 1965; Герасимов и др., 1982].

В периоды стока больших объёмов талых вод потоки в основном следовали существующей долинно-балочной сети, но в некоторых случаях перестраивали её конфигурацию – образовывали новые долины или изменяли соотношения порядков рек иным распределением расходов. Например, некоторые долины доледниковых притоков были врезаны на большую глубину и в современную эпоху выступают уже локальными базисами эрозии – верховьями крупных рек. Эпохи вреза долин связаны со значительным понижением глобального базиса эрозии, вследствие регрессии уровня Мирового океана во время ледниковых максимумов.

Из теоретических представлений о факторах русловых процессов есть основание предполагать, что периоды больших расходов, очевидно, отличались от современной эпохи меньшим соотношением сопротивления грунтов ложа размыву и мощности потока, интенсивными горизонтальными и вертикальными деформациями и формированием крупных форм русла, сохранившихся до настоящего времени [Панин, Сидорчук, 2006; Панин, 2015; Сидорчук, Панин, 2017].

На реках Европейской части России разного порядка хорошо изучены отдельные (преимущественно крупные) формы русла, связь происхождения которых с эпохами больших руслоформирующих расходов подтверждена палеогеографическими, литологическими и геоморфологическими методами. Вследствие внешнего сходства с современными формами меандрирующего русла, но значительно превосходящими размерами, их принято именовать макроизлучинами. Наиболее вероятно, что морфологическое сходство с излучинами современного русла определяется одинаковым механизмом формирования изгибов. Значительные размеры, которые превышают типичные значения для современных излучин в n раз, обусловлены большими руслоформирующими расходами. Закономерно, что со снижением расходов макроизлучины становятся реликтовыми формами. Сохраняется их географическое положение и облик (соотношение морфологических характеристик), а конфигурация лишь частично усложняется вторичными изгибами русла [Чернов, 2020; Матлахова, 2021; Сидорчук и др., 2021].

Сравнение особенностей морфологии русла со строением речных долин показывает, что макроизлучины следует рассматривать как частный случай проявления русловых процессов большей интенсивности в морфологии современного русла. При перестройке (или формировании) долин в эпохи высокой водности или активного вреза закладывались, вероятно, и более крупные (в сравнении с макроизлучинами) формы – морфологически однородные отрезки.

Уровень отрезков течения обычно выделяется в иерархических классификациях русловых форм, но их необходимые и существенные признаки, методы выделения, особенности динамики отрезков описываются только в самом общем приближении. Среди признаков однородности следует обозначить морфодинамический тип, общие черты конфигурации русла (повороты, изгибы, расширения и сужения), характерные размеры и разнообразие русловых форм, коэффициент извилистости отрезков, направление и скорость деформаций. В обособлении отрезков прослеживается заметное влияние геолого-геоморфологических факторов – прочностных характеристик пород, слагающих дно и склоны долины; уклона продольного профиля русла; модуля твёрдого стока на водосборной территории. Границы отрезков в большинстве случаев совпадают с геолого-геоморфологическими рубежами, разделяющими участки долины с неодинаковым строением. Связь протяжённых, морфологически обособленных отрезков русла с различиями геолого-геоморфологического строения долины и водосборных бассейнов прослеживается на реках разных порядков, но хорошо изучена, прежде всего, на крупных реках [Чалов и др., 2004; Русловедение ..., 2008].

Особенности русловых процессов и морфологии русла на протяжённых отрезках средних и малых рек редко становятся объектом изучения; чаще имеются фрагментарные сведения об отдельных коротких участках, которые затрагиваются хозяйственной деятельностью (строительство небольших гидротехнических сооружений, прокладка инженерных коммуникаций).

Изучение причин морфологических различий отрезков течения расширяет теоретические представления о факторах руслового процесса на разных уровнях организации, в частности вклада характеристик прочностных характеристик грунтов, слагающих дно и склоны долины в условиях современного изменения климата [Bollati et al., 2014; Rinaldi et al., 2015; García et al., 2021]. Прикладное значение таких исследований заключается в уточнении границ применимости методов гидрологической аналогии в оценке возможности переноса результатов локальных исследований и наблюдений на похожие, но удалённые объекты; обобщённых оценок скорости русловых деформаций. Следует заметить, что конфигурация русла рассматривается как фактор интенсивности и направленности переформирований. Самые крупные формы ориентируют поток относительно оси меандрирования, ограничивают варианты развития горизонтальных деформаций и, кроме того, нередко усложняют оценку характера и прогноз русловых процессов.

Объекты и методы исследования

Характер и механизм связи между геолого-геоморфологическим строением долины и морфологией русла рассмотрены нами на примере верхнего течения р. Десна. Выбор объекта изучения обусловлен тремя причинами: хорошей изученностью отрезка течения; разнообразным геолого-геоморфологическим строением долины и водосборной территории; их переформированием в поздневалдайское и послеледниковое время. Последнее обстоятельство позволяет считать связь между морфологией русла и строением долины, слабо изменёнными последующими геоморфологическими процессами – боковой эрозией, оползневыми деформациями.

Верхнее течение р. Десна (верхнее Подесенье) – участок протяжённостью около 300 км от плотины Десногорского водохранилища до устья р. Болва (в черте г. Брянск).



В геоморфологическом строении верхнего Подесенья выделяется два участка. Верховья реки до впадения р. Ветьма пересекают моренную равнину с покровом флювиогляциальных песков и супесей на краевых частях водоразделов. Ниже устья р. Ветьма геолого-геоморфологическое строение лево- и правобережья существенно различается. Левобережье представляет собой пологоволнистую равнину, краевые части которой повсеместно покрыты флювиогляциальными суглинками и песками мощностью до 5–8 м. Покров флювиогляциальных отложений переходит в долинные зандры, в которых сформированы три невыдержанные по высоте и простираию надпойменные валдайские террасы. Правобережье занято полого-холмистой, денудационной равниной, которая сложена с поверхности покровными суглинками; здесь флювиогляциальные отложения встречаются фрагментарно. Русло реки преимущественно меандрирующее, встречаются излучины разных типов и разной степени развитости; относительно прямолинейные участки, русловые разветвления отсутствуют. Расход воды равномерно увеличивается к верхней границе среднего течения до $80 \text{ м}^3/\text{с}$, большая доля бокового притока поступает с левобережья. Ширина поймы на участке изменяется от 500 до 2500 м. Типы пойменных грунтов и средние уклоны бассейна связаны с особенностями геоморфологического строения исследуемой территории. Поймы рек бассейна верхнего Днепра сложены преимущественно двумя типами грунтов: песками и суглинками. Прочие типы грунтов – супеси, глины и торф отмечаются фрагментарно и не образуют литологически однородных протяжённых участков береговых уступов [Лобанов и др., 2013]. Значительная часть пойм мелиорирована в 70 гг. [Природные ресурсы ..., 2007; Лобанов и др., 2020]¹².

Условия развития горизонтальных деформаций свободные. Русло смещается вдоль и поперёк долины с максимальной скоростью до первых метров в год, однако активно деформируемые участки сравнительно редки. На значительном протяжении современные проявления русловых процессов редки – береговые уступы, в том числе в вершинах излучин покрыты древесной и кустарниковой растительностью [Смирнова и др., 2008].

По особенностям морфологии русла и строения долины в верхнем течении Десны визуально выделено 25 участков средней протяжённостью 8,1 км (округлённо). Разработка типологий участков течения считается перспективным направлением для формирования научно-методической основы рационального управления водным хозяйством [Kondolf et al., 2016; Nardini, Brierley, 2021]. Границы участков определены по картографическим материалам разной подробности. Первичный материал анализа составляют топографические карты масштаба 1:50000 (Генштаба); по ним выделены самые заметные морфологические различия, составляющие «ядра» участков. Положение границ участков уточнено по материалам невысокого уровня генерализации: топографическим картам масштаба 1:25000 (ГГЦ) и спутниковым снимкам высокого разрешения. Объективность выделения границ обоснована отражением в морфологии русла смены сочетаний факторов русловых процессов – гидрологических (впадение притоков) и геолого-геоморфологических (уклон продольного профиля; крутизна и высота склонов долины, литологический состав руслоформирующих грунтов в настоящее время и в эпоху поздневалдайского вреза).

Взаимное расположение морфологически однородных участков и геолого-геоморфологическое строение территории, в которой формировалась и развивалась долина верхней Десны, показано на рис. 1. Схема геоморфологического районирования, приведённая на участке, разработана авторами на основе фондовых геологических материалов и топографических карт.

¹ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. Электронный ресурс. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 15 декабря 2021)

² Геоморфологическая карта: Карта геоморфолого-неотектонического районирования нечерноземной зоны РСФСР. 1984. Масштаб 1:1500000. ПКО, редактор Сова А.С

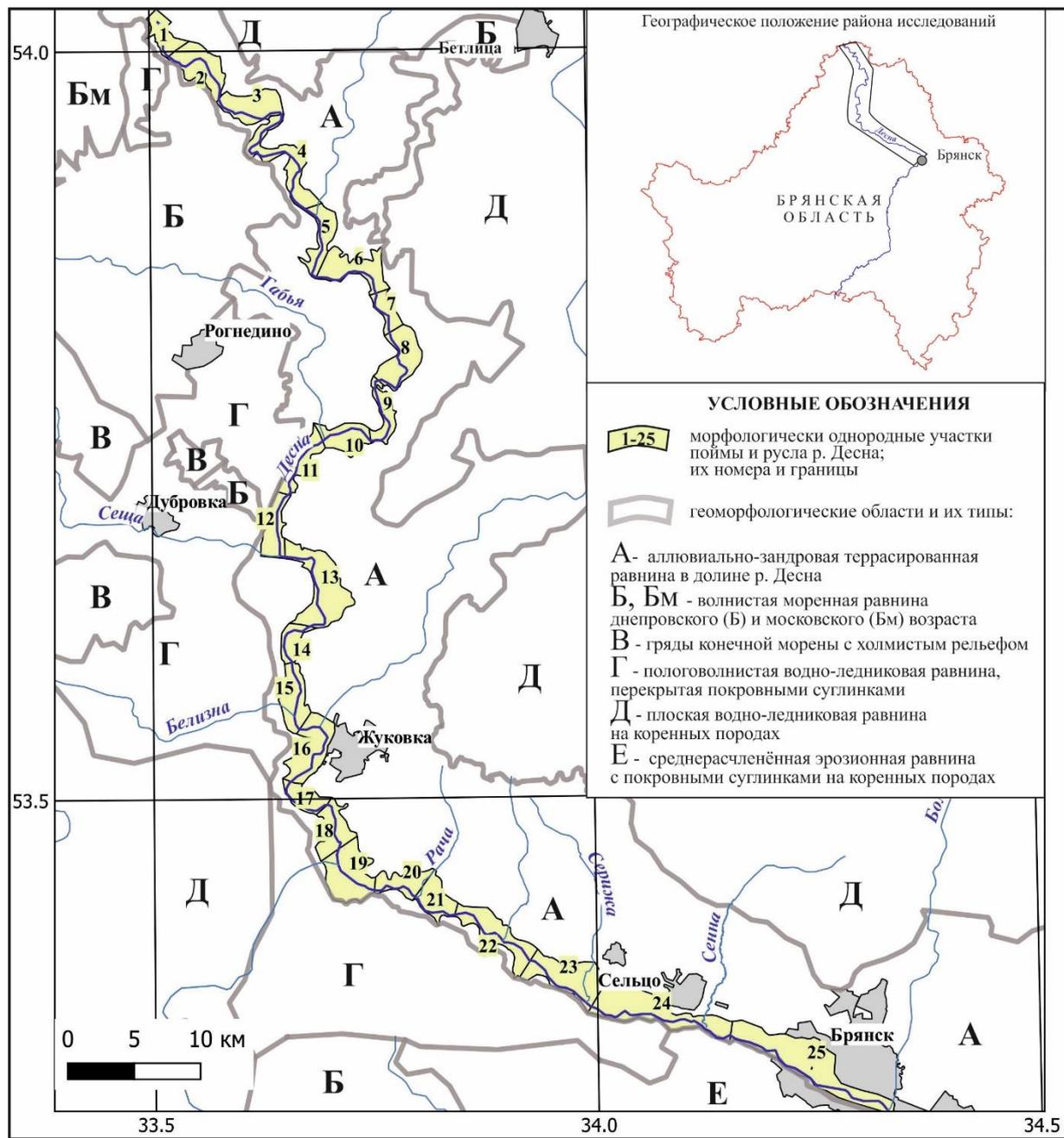


Рис. 1. Географическое положение и геоморфологическое строение района исследований
Fig. 1. Geographical location and geomorphological structure of the research area

Поскольку гидрологические характеристики Десны равномерно возрастают вниз по течению, предложено рассматривать, прежде всего, геолого-геоморфологические факторы обособления участков, и при необходимости учитывать непосредственное влияние на динамику и морфологию русла крупных притоков и увеличение расходов вниз по течению. Сбор и систематизация сведений о строении долины и соседних водосборных площадей выполнен по общедоступным геологическим и картографическим материалам: геологическим картам масштабом 1:200000, геоморфологическим картосхемам, топографическим картам разного масштаба. Морфологические характеристики участков приведены в таблице.



Характеристики морфологически однородных участков русла
 Characteristics of morphologically homogeneous sections of the riverbed

Номер участка	Длина (округлённо), м	Уклон, %	Коэффициент извилистости	Типологическая группа
1	6285	0,143	1,87	I
2	8561	0,175	1,73	II
3	10231	0,205	2,09	I
4	16238	0,154	2,24	III
5	8199	0,134	1,64	IV
6	8279	0,109	1,76	II
7	6001	0,183	1,91	V
8	8918	0,090	2,53	VI
9	6690	0,075	1,55	II
10	6427	0,156	1,79	IV
11	6663	0,225	1,35	VII
12	5664	0,124	1,30	VIII
13	10720	0,121	1,90	VI
14	6670	0,075	2,27	V
15	9872	0,142	1,96	IX
16	9720	0,134	2,53	V
17	5506	0,127	1,50	X
18	5390	0,148	1,48	XI
19	9806	0,092	2,38	IX
20	5675	0,088	1,87	XI
21	3784	0,185	1,73	X
22	12894	0,078	2,09	VII
23	6909	0,087	2,24	X
24	15825	0,044	1,64	VII
25	16894	0,101	1,76	VIII

Результаты и их обсуждение

Изменения сочетаний геолого-геоморфологических факторов хорошо выражены в морфологии русла. Такого рода связь отмечалась исследователями других речных систем [Falkowski et al., 2017; Ostrowski et al., 2021]. Здесь речь идёт не только об изменениях состава и инженерно-геологических свойств пойменных отложений, но и строении склонов долины и водосборных территорий. Причины совпадения на качественном уровне получили объяснение из теоретических и опытных представлений о влиянии прочностных характеристик руслоформирующих грунтов на скорость и направление горизонтальных и вертикальных деформаций как в настоящее время, так и по мере образования современной долины. Влияние последнего фактора установлено ретроспективным анализом развития долины – из анализа взаимного расположения надпойменных террас.

Сходство морфологии участков позволяет объединить их в типологические группы. Характеристики отдельных факторов русловых процессов на участках одной группы отличаются, а сходство итогового результата (морфологии русла) обеспечивается постоянством соотношения сил, препятствующих и способствующих деформациям русла. Например, одинаковая интенсивность русловых деформаций обеспечивается как постепенным увеличением расхода, так и изменением сопротивления грунтов размыву.

Границы участков и распространение типологических групп приведено на рис. 1. Боковые границы участков соответствуют подошве голоценовой поймы (согласно геологическим картам масштаба 1:200000). Выбор боковых границ обусловлен свободным

меандрированием реки в позневалдайское время и послеледниковую эпоху, так что в границах этого промежутка времени ширина пояса меандрирования и поймы совпадают³.

Далее приведено описание типологических групп.

Первую группу (I в легенде рис. 2) образуют участки 1, 3 (номера на рис. 1) меандрирующего русла с излучинами высокой степени развитости. Среднегодовой расход сравнительно невелик – до 13 м³/с, но геолого-геоморфологическое строение способствует горизонтальным деформациям. Пойма и склоны долины сложены слабоустойчивыми к размыву флювиогляциальными отложениями. В эпоху высоких руслоформирующих расходов сформирована широкая пойма (до 1,5 км), по которой свободно смещается современное русло.

Вторую группу (II) составляют крупные изгибы русла (2, 6, 9), конфигурация которых в основных чертах повторяется в бровках надпойменных террас. Верхнее крыло изгиба – длинное, более пологое; нижнее – короткое, крутое; вершины упираются в границы пояса меандрирования. У вершин берег размывается так, что руслоформирующими становятся отложения террас или дочетвертичные породы. Асимметрию крыльев изгиба можно рассматривать как результат динамики русла на уровне макроизлучин в ограниченных условиях горизонтальных русловых деформаций. Изгибы усложнены излучинами современного русла разной степени развитости (в том числе и крутыми заваленными) и их сериями. Участки отличаются сравнительно небольшой извилистостью (1,55–1,76).

В отдельную группу (III) выделен участок 4, на котором долина образует два крупных изгиба (врезанные макроизлучины), конфигурация которых повторяется в бровках террас и долины. Вместе с тем, ширина поймы 0,5–1,0 км и условия горизонтальных деформаций свободные; поэтому в современном русле чередуются прямолинейные отрезки и крутые излучины.

Четвёртую группу (IV, участки 5 и 10) отличает чередование коротких прямолинейных отрезков и крупных плавных изгибов современного русла. Пойма двусторонняя (1,2–1,5 км); в бровках террас прослеживаются изгибы макроизлучин, хотя рельеф поймы без выраженных перепадов. Общее направление русла выдержано в пространстве, но за счёт крупных излучин коэффициент извилистости составляет 1,76–1,79.

Пятая группа (V, участки 7, 14, 16) объединяет комплексы форм русла в сужениях долины. Комплексы включают короткие прямолинейные отрезки, которые следуют вдоль уступов правого берега, и примыкающие сверху и снизу серии излучин современного русла высокой степени развитости. В целом комплекс можно рассматривать как макроизлучину с вторичными изгибами на крыльях. Современное русло повторяет очертания бровки долины и надпойменных террас валдайского возраста, что указывает на его устойчивое положение. Морфология отрезков удовлетворительно объясняется привязкой к сужениям доледниковой долины Десны, с ограниченными условиями развития горизонтальных деформаций.

Шестую группу (VI, участки 8, 13) образуют отрезки русла, в расширениях пояса меандрирования, которые соответствуют, кроме того, широким участкам дочетвертичной долины. Конфигурация крупных изгибов современного русла частично или полностью не совпадает с изгибами бровок террас, что указывает на свободные условия горизонтальных деформаций в эпоху развития макроизлучин. Для современного русла характерно чередование прямолинейных отрезков и отдельных излучин, среди которых часто встречаются омеговидные.

Участки седьмой группы (VII, 11, 22, 24) отличаются меандрирующим руслом с сегментными излучинами высокой степени развитости, которые чередуются с плавными изгибами русла. Морфологические характеристики излучин на участках 22 и 24 суще-

³ Государственная геологическая карта России. Электронный ресурс. URL: <http://www.geolkarta.ru/> (дата обращения: 15 декабря 2021).

ственно больше вследствие увеличения расхода до $70 \text{ м}^3/\text{с}$ (в сравнении с $35 \text{ м}^3/\text{с}$ на участке 11). Свободный характер горизонтальных деформаций, отражённый в морфологии и динамике излучин, обусловлен широкой невысокой двусторонней поймой.

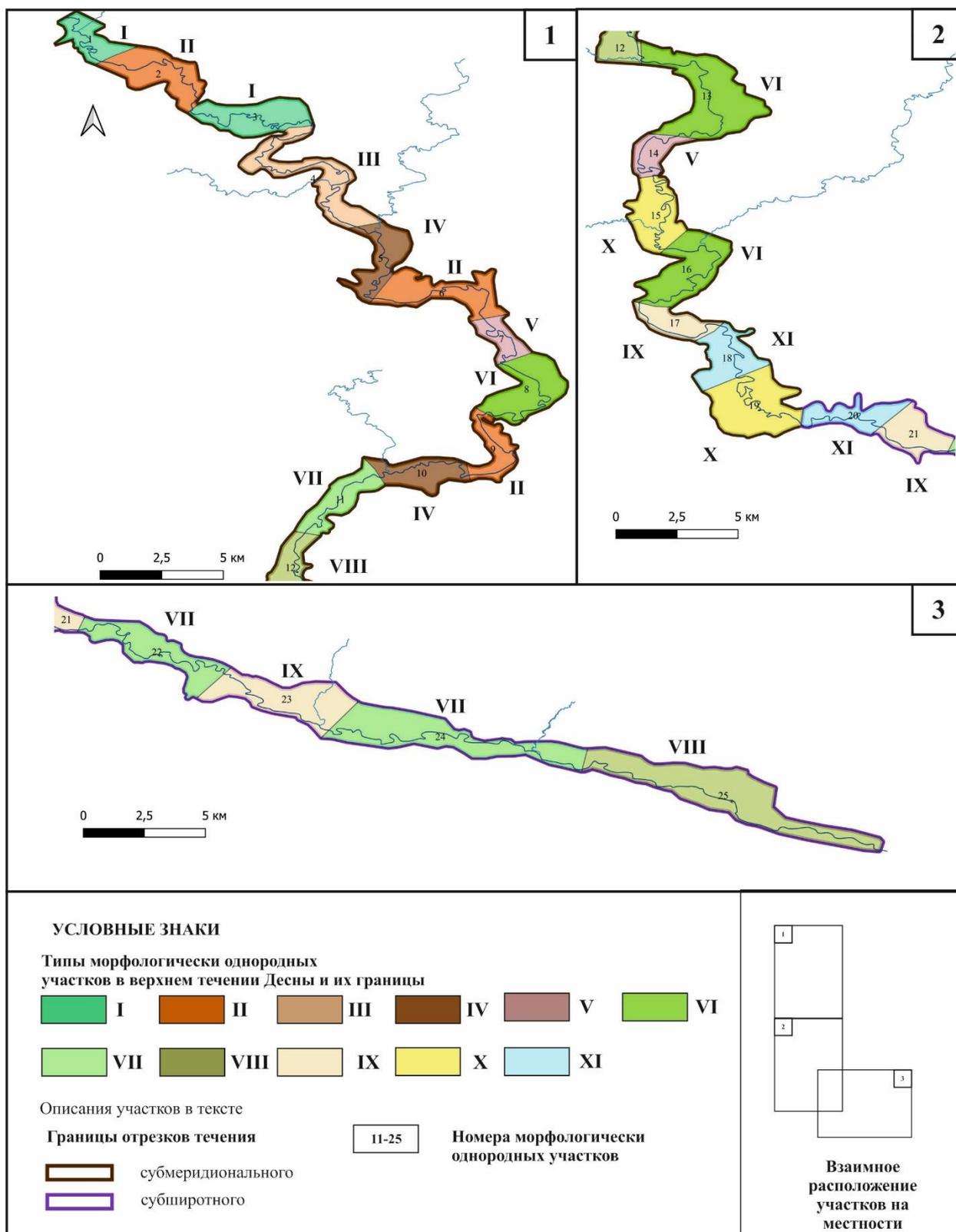


Рис. 2 Морфологическое разнообразие долины верхней Десны
 Fig. 2. Morphological diversity of the Upper Desna Valley

Восьмую группу (VIII; участки 12, 25) составляют участки, объединённые тремя признаками: существенной асимметрией склонов долины, неширокой и глубокой доледниковой долиной (выявлено по геологическим картам и профилям) и значительной долей прямолинейных отрезков. Русло устойчиво следует вдоль правого склона средней крутизны, местами обрывающегося к руслу; левый склон – пологий, террасирован. Узкий врез долины в дочетвертичные отложения в течение последующих этапов развития ограничивал масштабы горизонтальных деформаций, что в свою очередь определяет большую долю прямолинейных отрезков современного русла. Правобережная пойма очень узкая, местами первые десятки метров. Левобережная пойма шириной 1,3–1,6 км со сложным грядистым рельефом.

Девятую группу (IX, участки 15 и 19) отличает сильноизвилистое русло в расширениях долины. Примечательно, что на обоих участках впадают справа крупные притоки (Белизна и Угость соответственно).

Десятую группу (X, участки 17, 21, 23) составляют протяжённые участки прямолинейного русла с редкими пологими излучинами. Пойма плоская; в тылу участков 17 и 21 крупные озёра, пойма 23-го участка дренируется р. Серижа.

Одиннадцатая группа (XI, участки 18, 20) – меандрирующее русло с излучинами высокой степени развитости (синусоидальные, сегментные, заваленные), сформированное в специфических условиях динамики потока. Участки примыкают к повороту бровок долины, террас и соответственно современного русла сверху и снизу. Для верхнего (18-го) участка характерен большой уклон профиля и меньший коэффициент извилистости. Такие особенности конфигурации в меньших масштабах прослеживаются на участках V-ой группы.

Описанные выше группы неравномерно распределены по верхнему течению Десны. Выделяется два отрезка течения, формальной границей которого выступает смена направления долины от субмеридионального на субширотное. Выше устья поворота направление и конфигурация долины часто изменяется, в плановых очертаниях бровок склонов и надпойменных террас – характерны изгибы, повороты, расширения и сужения. Для русла характерны крупные повороты – макроизлучины; ширина современного пояса меандрирования значительно меньше ширины долины. Особенности морфологии определяются перестройкой доледниковой долины р. Десна в плейстоцене. Здесь распространены участки групп I–VI (неисключительно). На субширотном отрезке (ниже поворота) направление бровок долины и надпойменных террас выдержано в пространстве. Границы современного пояса меандрирования соответствуют пойме (группы I–VII).

Анализ вероятных причин различий строения выделенных участков позволяют судить о нескольких механизмах влияния геолого-геоморфологических факторов на морфологию русла [Лобанов, Синицина, 2019; Лобанов и др., 2021]:

1. Прочностные свойства пород склонов долины (коренных и надпойменных террас) определяют скорость и направление отступления береговых уступов. Современное русло редко следует вдоль коренных склонов, чаще – вдоль уступов террас, сложенных обычно слабоустойчивым к размыву перемытым флювиогляциальным материалом. В эпохи высокой водности ширина пояса меандрирования занимала почти всё пространство дна долины, что подтверждается характерными изгибами бровок разновозрастных поздневалдайских террас. В динамике современного русла крупные изгибы и повороты русла задают особенности гидравлики потока, а через неё чередование прямолинейных и меандрирующих участков, зон размыва и аккумуляции.

2. Состав пород, слагающих приречные территории (коренных и четвертичных) определяет различия в объёмах поступления материала с водоразделов и, соответственно скорости горизонтальных деформаций. Сложный гранулометрический состав моренно-



водно-ледниковых отложений верхнего Подесенья проявляется в незначительных, но всё же заметных различиях прочностных характеристик руслоформирующих грунтов.

3. Изменения уклона продольного профиля выступают одним из главных факторов обособления участков русла разной морфологии. Различия уклонов обусловлены неодинаковой амплитудой тектонических движений в неоген-четвертичное время. Судя по особенностям строения бассейна и долины, имеет место два механизма формирования дифференциации уклона. Первый – непосредственная деформация продольного профиля. Второй механизм действует опосредованно. На участках новейших поднятий с амплитудой 150–200 м и более выражены вертикальные деформации, здесь формируется относительно прямолинейное русло. На участках менее активных поднятий и (или) инверсий направления движений русло свободно смещается, формирует извилистые, весьма протяжённые отрезки на одном гипсометрическом уровне.

4. Перестройки режима речного стока в эпоху четвертичных оледенений проявляются в обособлении отрезков русла в специфических гидрологических и геолого-геоморфологических условиях. В частности, формирование сильно извилистого русла ниже узла слияния верхнего течения р. Десна с доледниковой долиной Десны (соответствует современной долине малой реки Сеща).

Заключение

Особенности геолого-геоморфологического строения долины редко объясняют морфологические особенности отдельных форм русла. Более заметно их влияние на уровне верхних ступеней иерархии руслового рельефа – макроизлучин и морфологически однородных отрезков русла. Крупные формы руслового рельефа в долине верхней Десны образованы в эпохи больших руслоформирующих расходов – позднеледникового вреза, тёплых и влажных периодов голоцена. Последующие русловые процессы в разной степени трансформировали крупные формы. На некоторых участках русло сохраняет положение длительное время – современные формы совпадают с ранее созданными. Такая ситуация встречается на участках глубинной эрозии. Более распространён вариант усложнения ранее созданных форм современными, меньшего размера – так происходит почти на всей верхней Десне. Наконец весьма часто крупные русловые формы полностью трансформируются – последующими процессами. Такая ситуация характерна для расширений долины. Здесь свободное меандрирование перестраивает дно, а ранее существовавшие макроизлучины срезаются.

Изучение морфологического разнообразия и оценка его причин на уровне крупных форм решает две задачи: выделение отрезков русла, для которых может быть целесообразно вести многолетний мониторинг состояния русла и берегов; расширение методической основы прогнозирования русловых процессов, в соответствии с реакцией потока в разных руслоформирующих грунтах на изменения климата и хозяйственной активности.

Список литературы

- Герасимов И.П., Величко А.А. 1982. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет: Атлас-монография. М., Наука, 156 с.
- Лобанов Г.В., Синицина Е.В. 2019. Влияние различий геологического строения на морфологию русел малых и средних рек бассейна верхнего Днепра. В кн.: Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием, 3–6 сентября 2019, Москва, Ленанд: 286–287.
- Лобанов Г.В., Зройчикова О.А., Полякова А.В., Сабайда Е.А., Новикова М.А., Тришкин Б.В. 2013. Геолого-геоморфологические факторы структуры и динамики флювиальных систем в бассейне верхнего Днепра. Вестник Томского государственного университета, 373: 189–197.

- Лобанов Г.В., Зверева А.Ю., Протасова А.П., Тришкин Б.В., Новикова М.А., Полякова А.В. 2020. Геоморфологическое районирование на основе цифровых моделей рельефа (по данным SRTM для верхнего Поднепровья). *Геоморфология*, 3: 44–55. DOI: 10.31857/S0435428120030074.
- Лобанов Г.В., Зуева Е.В., Жохов М.В. 2021. Факторы морфологического разнообразия русла верхней Десны. В кн.: Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения, 11–15 октября 2021, Ижевск, Удмуртский университет: 122–124.
- Марков К.К. 1965. Четвертичный период (Ледниковый период – антропогенный период): К VII Международному конгрессу Ассоциации по изучению четвертичного периода (ИНКВА). М., Издательство Московского университета, 371 с.
- Матлахова Е.Ю. 2021. Макроизлучины реки вороны как свидетельства мощного речного стока в позднеледниковье. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*, 2: 103–109.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю. 2006. Макроизлучины ("большие меандры"): проблемы происхождения и интерпретации. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*, 6: 14–22.
- Панин А.В. 2015. Флювиальное рельефообразование на равнинах умеренного пояса Евразии в позднем плейстоцене – голоцене. Автореф. дис. ... док. геогр. наук. М., 46 с.
- Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации: Брянская область. 2007. Под ред. Н.Г. Рыбальского, Е.Д. Самотёсова, А.Г. Митюкова. М., НИИ-Природа, 1144 с.
- Русловедение: теория, география, практика. 2008. Под ред. Р.С. Чалова. М., URSS, 607 с.
- Сидорчук А.Ю., Панин А.В. 2017. Геоморфологические подходы к оценке величины речного стока в геологическом прошлом (ст. 1. морфометрические зависимости). *Геоморфология*, 1: 55–65. DOI: 10.15356/0435-4281-2017-1-55-65
- Сидорчук А.Ю., Украинцев В.Ю., Панин А.В. 2021. Оценка годового стока Волги в позднеледниковье по данным о размерах палеорусел. *Водные ресурсы*, 48 (6): 643–655. DOI: 10.31857/S0321059621060171.
- Смирнова Е.А., Лобанов Г.В., Бахраков Г.В. 2009. Влияние прочностных характеристик грунтов на интенсивность русловых деформаций в среднем течении р. Десны. *Геоморфология*, 2: 75–83.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. 2004. Речные излучины. М., МГУ, 371 с.
- Чернов А.В. 2020. Морфология и голоценовая эволюция поймы реки Москвы в Нижнем течении. *Географический вестник*, 1 (52): 60–70. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-1-60-70.
- Bollati, I.M., Pellegrini L., Rinaldi M., Duci G., Pelfini M. 2014. Reach-scale morphological adjustments and stages of channel evolution: The case of the Trebbia River (northern Italy). *Geomorphology*, 221: 176–186. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.06.007.
- Falkowski T., Ostrowski P., Siwicki P., Brach M. 2017. Channel morphology changes and their relationship to valley bottom geology and human interventions; a case study from the Vistula Valley in Warsaw, Poland. *Geomorphology*, 297: 100–111. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.011.
- García J.H., Ollero A., Ibisate A., Fuller I.C., Death G., Piégay H. 2021. Promoting fluvial geomorphology to “live with rivers” in the Anthropocene Era. *Geomorphology*, 380: 107649. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107649.
- Kondolf G.M., Piégay H., Schmitt L., Montgomery D.R. 2016. Geomorphic classification of rivers and streams. *Tools in Fluvial Geomorphology*, 133–158. DOI: 10.1002/9781118648551.ch7.
- Nardini A., Brierley G. 2021. Automatic river planform identification by a logical-heuristic algorithm. *Geomorphology*, 375: 107558. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107558.
- Ostrowski P., Falkowski T., Utratna-Żukowska M. 2021. The effect of geological channel structures on floodplain morphodynamics of lowland rivers: A case study from the Bug River, Poland. *CATENA*, 202: 105209. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105209.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. 2015. A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management. *Geomorphology*, 251: 122–136. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.05.010.



References

- Gerasimov I.P., Velichko A.A. 1982. Paleogeografija Evropy za poslednie sto tysjach let: Atlas-monografija [Paleogeography of Europe over the last hundred thousand years: Atlas-monograph]. Moscow, Publ. Nauka, 156 p.
- Lobanov G.V., Sinicina E.V. 2019. Vlijanie razlichij geologicheskogo stroenija na morfologiju rusel mal'yh i srednih rek bassejna verhnego Dnepra [Effect of Differences in Geological Structure on the Morphology of the Channels of Small and Medium Rivers in the Upper Dnieper Basin]. In: Zakonomernosti projavlenija jerozionnyh i ruslovyh processov v razlichnyh prirodnyh uslovijah [Patterns of manifestation of erosion and channel processes in various natural conditions]. Materials of the V All-Russian Scientific Conference with International Participation, 3–6 September 2019, Moscow, Lenand: 286–287.
- Lobanov G.V., Zroychikova O.A., Poliakova A.B., Sabayda Y.A., Novikova M.A., Trishkin B.V. 2013. Geology-Geomorphology Factors of the Structure and Dynamics of the Fluvial Systems in the Upper Dnieper. Tomsk State University Journal, 373: 189–197 (in Russian).
- Lobanov G.V., Zvereva A.Yu., Protasova A.P., Trishkin B.V., Novikova M.A., Polyakova A.V. 2020. Geomorphological Zonation Based on Digital Elevation Models (from Srtm Data Over the Upper Dnieper Region). Geomorphology RAS, 3: 44–55 (in Russian). DOI: 10.31857/S0435428120030074.
- Lobanov G.V. Zueva E.V., Zhohov M.V. 2021. Faktory morfologicheskogo raznoobrazija rusla verhnej Desny [Factors of morphological diversity of the bed of the upper Desna]. In: Tridcat' shestoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshhanie po probleme jerozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov [Thirty-sixth Plenary Interuniversity Coordination Meeting on the Problem of Erosion, Channel and Estuary Processes]. Reports and brief communications, 11–15 October 2021, Izhevsk, Publ. Udmurtskij universitet: 122–124.
- Markov K.K. 1965. Chetvertichnyj period [Tekst]: (Lednikovyj period – antropogenovyj period): K VII Mezhdunarodnoy kongressu Associacii po izucheniju chetvertichnogo perioda (INKVA) [Quaternary Period [Text]: (Ice Age – Anthropogenic Period): Towards the VII International Congress of the Association for the Study of the Quaternary Period (INQUA)]. Moscow, Publ. Moskovskogo universiteta, 371 p.
- Matlakhova E.Yu. 2021. Macromeanders of the Vorona River as evidences of high river runoff in the Late Glacial. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya, 2: 103–109 (in Russian).
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu. 2006. Macromeanders ("Barge Meanders"): Problems of Origin and Interpretation. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya, 6: 14–22 (in Russian).
- Panin A.V. 2015. Fljuvial'noe rel'efoobrazovanie na ravninah umerennogo pojasa Evrazii v pozdnem plejstocene – golocene [Fluvial relief formation on the plains of the temperate zone of Eurasia in the late Pleistocene – Holocene]. Abstract. dis. ... doc. geogr. sciences. Moscow, 46 p.
- Prirodnye resursy i okruzhajushhaja sreda sub#ektov Rossijskoj Federacii: Brjanskaja oblast' [Natural resources and environment of the subjects of the Russian Federation: Bryansk region]. 2007. Ed. by N.G. Rybal'skogo, E.D. Samotjosova, A.G. Mitjukova. M., Publ. NIA-Priroda, 1144 p.
- Ruslovedenie: teorija, geografija, praktika [Russian studies: theory, geography, practice]. 2008. Ed. by R.S. Chalov. Moscow, Publ. URSS, 607 p.
- Sidorchuk A.Yu., Panin A.V. 2017. Geomorphological Approach to the River Runoff Evaluation in the Geological Past (Paper 1. Regime Equations). Geomorphology RAS, 1: 55–65 (in Russian). DOI: 10.15356/0435-4281-2017-1-55-65.
- Sidorchuk A.Yu., Ukraintsev V.Yu., Panin A.V. 2021. Estimating Annual Volga Runoff in the Late Glacial Epoch from the Size of River Paleochannels. Water Resources, 48 (6): 643–655 (in Russian).
- Smirnova E.A., Lobanov G.V., Bastrakov G.V. 2009. The Ground Hardness Impact on Riverbed Deformations in the Middle Reach of Desna. Geomorphology RAS, 2: 75–83 (in Russian).
- Chalov R.S., Zavadsky A.S., Panin A.V. 2004. River meanders. Moscow, Publ. Moskovskiy gosudarstvennyj universitet, 371 p. (in Russian).
- Chernov A.V. 2020. Morphology and Holocene Evolution of the Moscow River Floodplain in the Lower Reaches. Geographical bulletin, 1 (52): 60–70 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2020-1-60-70.

- Bollati, I.M., Pellegrini L., Rinaldi M., Duci G., Pelfini M. 2014. Reach-scale morphological adjustments and stages of channel evolution: The case of the Trebbia River (northern Italy). *Geomorphology*, 221: 176–186. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.06.007.
- Falkowski T., Ostrowski P., Siwicki P., Brach M. 2017. Channel morphology changes and their relationship to valley bottom geology and human interventions; a case study from the Vistula Valley in Warsaw, Poland. *Geomorphology*, 297: 100–111. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.011.
- García J.H., Ollero A., Ibasate A., Fuller I.C., Death G., Piégay H. 2021. Promoting fluvial geomorphology to “live with rivers” in the Anthropocene Era. *Geomorphology*, 380: 107649. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107649.
- Kondolf G.M., Piégay H., Schmitt L., Montgomery D.R. 2016. Geomorphic classification of rivers and streams. *Tools in Fluvial Geomorphology*, 133–158. DOI: 10.1002/9781118648551.ch7.
- Nardini A, Brierley G. 2021. Automatic river planform identification by a logical-heuristic algorithm. *Geomorphology*, 375: 107558. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107558.
- Ostrowski P., Falkowski T., Utratna-Żukowska M. 2021. The effect of geological channel structures on floodplain morphodynamics of lowland rivers: A case study from the Bug River, Poland. *CATENA*, 202: 105209. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105209.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. 2015. A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management. *Geomorphology*, 251: 122–136. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.05.010.

*Поступила в редакцию 28.12.2021;
поступила после рецензирования 10.01.2022;
принята к публикации 25.01.2022*

*Received December 28, 2021;
Revised January 10, 2022;
Accepted January 25, 2022*

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лобанов Григорий Владимирович, кандидат географических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского, г. Брянск, Россия

Жохов Михаил Викторович, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского, г. Брянск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grigory V. Lobanov, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management of the Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, Bryansk, Russia

Mikhail V. Zhohov, Postgraduate student of the Department of Geography, Ecology and Land Management of the Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, Bryansk, Russia



УДК 556.5
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-94-107

Критерии подбора рек-аналогов в расчетах расхода наносов

Шмакова М.В.

Институт озерадения Российской академии наук,
обособленное структурное подразделение «Санкт-Петербургский
Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»
Россия, 196105, СПб, ул. Севастьянова, 9
E-mail: m-shmakova@yandex.ru

Аннотация: Выбор реки-аналога для назначения параметра трения в формулах расхода наносов представляется затрудненным ввиду известной ограниченности наблюдений за твердым стоком и отсутствием публикаций в последних изданиях гидрологических ежегодников измеренных значений гидравлических переменных состояния потока – средней скорости течения, средней глубины потока. В связи с этим для назначения параметра трения в формулах расхода наносов приходится определяться с выбором реки-аналога умозрительно, отдавая предпочтение количественному соответствию одних аргументов и пренебрегая другими. В данной работе рассмотрены три группы водотоков в выделенных гидравлических диапазонах (водности, глубины потока и уклона) и проведено масштабирование по основным аргументам параметра трения – скорости потока, глубины, уклона и средней крупности донных отложений. Выявлено, что для больших равнинных рек значимо соответствие всех аргументов, тогда как для горных рек важно соответствие только кинематических аргументов формул. При этом для малых и средних рек равнинного типа значимость аргументов определяется типом расчетной формулы. Полученные результаты могут быть полезны при выборе реки-аналога при отсутствии данных наблюдений в соответствии с весом рассматриваемых аргументов в некоторых формулах общего расхода наносов.

Ключевые слова: формула расхода наносов, наносы, речная гидравлика, река-аналог, критерий соответствия, параметр трения

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме №0154-2019-0003.

Для цитирования: Шмакова М.В. 2022. Критерии подбора рек-аналогов в расчетах расхода наносов. Региональные геосистемы, 46(1): 94–107. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-94-107

Criteria for Selecting Analogous Rivers in Sediment Flow Calculations

Marina V. Shmakova

Institute of Limnology Russian Academy of Sciences
9 Sevastyanova St, Saint-Petersburg 196105, Russia
E-mail: m-shmakova@yandex.ru

Abstract. The choice of an analog river for assigning the friction parameter in sediment flow formulas seems difficult due to the known limitations of observations of solid runoff and the lack of publications in the latest editions of Hydrological yearbooks of measured values of hydraulic variables of the flow state – the average flow velocity, the average flow depth. In this regard, to assign the friction parameter in the sediment flow formulas, it is necessary to determine the choice of an analog river speculatively, giving preference to the correspondence of one argument and neglecting the other. In this paper, three groups of watercourses in the selected hydraulic ranges are considered and scaling is carried out according to the main arguments of the friction parameter – flow velocity, depth, slope and average size of bottom

sediments. It is revealed that for large flat rivers, the correspondence of all arguments is significant, whereas for mountain rivers, the correspondence of only the kinematic arguments of formulas is important. For small and medium-sized rivers of the lowland type, however, the significance of the arguments is determined by the type of calculation formula. The results obtained can be useful when choosing an analog river in accordance with the weight of the arguments under consideration in some formulas for the total sediment flow.

Keywords: sediment transport formula, sediments, river hydraulics, rivers-analogues, compliance criterion, friction parameter

Acknowledgements: The research was funded by the study № 0154-2019-0003 of the State research plan for the IL RAS.

For citation: Shmakova M.V. 2022. Criteria for Selecting Analogous Rivers in Sediment Flow Calculations. Regional Geosystems, 46(1): 94–107 (in Russian) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-94-107

Введение

В гидрологической практике для неосвещенных наблюдениями водотоков за основу оценки основных гидрологических величин принимаются результаты расчетов этих показателей или аргументы для их расчетов по так называемым рекам-аналогам и их водосборным бассейнам [СП 33-101-2003; Методические рекомендации ..., 2009; СП 58.13330.2012]. При этом можно выделить следующие типы гидрологических величин:

1. Удельные гидрологические величины. Эти величины, полученные в результате пространственно-временных обобщений, по сути, являются региональными и показывают общие закономерности формирования твердого и водного стока на водосборе и представлены как интегральные функции климатических и пространственных факторов (модуль и слой стока, модуль твердого стока, среднегодовая мутность воды и так далее).

2. Параметры распределения гидрологических величин (коэффициенты вариации и асимметрии, квантили разной обеспеченности и так далее).

3. Динамические характеристики системы (гидрографы стока воды весеннего паводья и дождевых паводков, внутригодовое распределение стока).

4. Статические характеристики, которые принимаются постоянными для текущего состояния системы (коэффициент стока, редукции, параметр шероховатости и так далее).

В современной отечественной и зарубежной научной литературе достаточно публикаций, посвященных вопросам расчета гидрологических величин при недостаточности или отсутствии данных наблюдений [Лобанов, Никитин, 2006; Гагарина, 2011; Космаков и др., 2013; Cai et al., 2017; Dahe, Deshmukh, 2018]. Однако методические аспекты подбора рек-аналогов, выходящие за рамки рекомендуемых в известных нормативах, в этих работах почти не рассматриваются. При этом определенную сложность вызывает оценка не самих гидрологических величин, а параметров динамической системы для последующих более детальных расчетов. В масштабах речной гидравлической системы к таким параметрам относится показатель трения. Некоторые аргументы, определяющие этот показатель, отличаются достаточно большой изменчивостью даже в пределах одного водотока.

Как показала практика расчетов, оценка параметра трения в формулах расхода воды и расхода наносов по обобщенной информации о крупности донных отложений в большинстве случаев не дает приемлемого результата. Вне всякого сомнения, приведенные зависимости служат хорошими количественными ориентирами для первичных оценок искомых гидравлических переменных состояния речного потока. Но для более точных детальных расчетов требуется уточнение значений этой величины. И, если позволяют данные наблюдений за гидравлическими переменными состояниями речного потока, проводится дополнительная калибровка этого параметра.

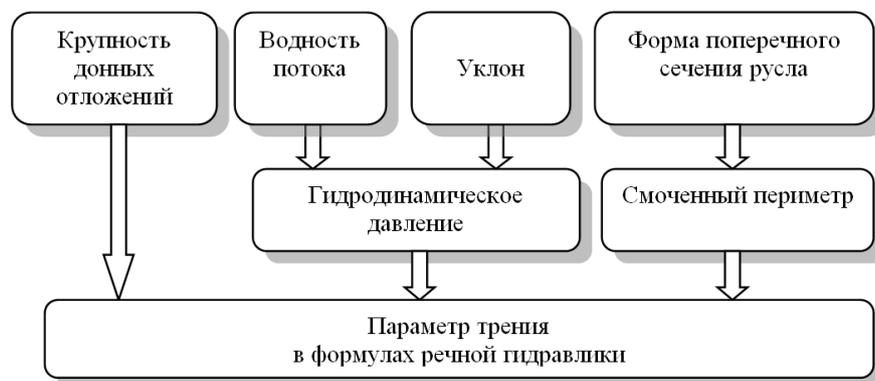
Ввиду многообразия водотоков по водности, гидравлическим характеристикам, форме русла и донным отложениям достаточно сложно унифицировать зависимости параметра трения от отмеченных аргументов. И в ряде случаев эпизодических данных наблюдений недостаточно для полноценной калибровки этого параметра. Одним из возможных путей решения проблемы назначения параметра трения для гидравлических расчетов при отсутствии данных наблюдений за расходом наносов может служить выбор реки-аналога со сходными гидравлическими характеристиками.

Целью настоящей работы является анализ ключевых гидравлических факторов, определяющих вклад в значение параметра трения в формулах расхода наносов, а также определение критериев соответствия реки-аналога для оценки параметра трения в этих формулах.

Объекты и методы исследования

Параметр трения в формулах речной гидравлики. В разное время было проведено много исследований, направленных на количественную оценку параметра шероховатости. Значения этой величины соотносились с качественными характеристиками донных отложений, слагающих русло, и бурностью речного потока [Срибный, 1932]. Данные этих исследований представлены в соответствующих таблицах, например, в трудах И.Ф. Карасева [1975], рекомендациях СНИП [2.05.03-84], таблицах Чоу [Chow, 1959], результатах различных исследований [Barnes, 1967; Arcement, Schneider, 1989; Heritage et al., 2004; Melis et al., 2019; Косиченко, 2020; Ахмедова, Наумов, 2021].

При этом в настоящее время нередко оценка параметра трения в различных формулах речной гидравлики и при математическом моделировании речного потока осуществляется обратным путем, минимизацией отклонений между наблюдаемыми и рассчитанными гидравлическими переменными состояния потока. И несмотря на то что коэффициент Шези поставлен в зависимость от средней глубины потока, расчеты для разных периодов водности требуют дополнительных уточнений в значении параметра шероховатости. В свою очередь, это обусловлено тем, что сила трения определена целым комплексом факторов, и крупность донных отложений – лишь один из этих факторов. В.М. Лохтин [1895] отмечает три ключевых аргумента, которые обуславливают гидравлическое своеобразие водотока: водность, уклон и размываемость ложа реки. Остальные характеристики водотока и его русла являются результатом взаимодействия указанных аргументов [Лохтин, 1895]. Приведенные аргументы представлены во многих физически обоснованных формулах расхода наносов. Последнее хорошо проиллюстрировано в работе [Лепихин, Возняк, 2020], где в результате аналитических построений получена функция удельного расхода наносов в общем виде. Сочетание этих аргументов определяет также и значение основного параметра таких формул – показателя трения (см. рисунок).



Факторы, определяющие значение параметра трения в формулах речной гидравлики
Factors determining the value of the friction parameter in river hydraulics formulas

Сопротивление русла водотока также определяется и геометрическим масштабом такового и формой его поперечного сечения. Так, значения смоченного периметра русла при разном соотношении ширины русла и высоты берегов при одинаковой водности будут различаться. В свою очередь, это обусловит разницу в значениях площади приложения силы, и, как следствие, в значениях сопротивления на твердой границе потока.

Таким образом, подбор реки-аналога должен быть обусловлен соответствием водности, уклона русла, формы поперечного сечения и крупности донных отложений для исследуемого водотока. Однако в связи с известной ограниченностью наблюдений за твердым стоком найти реку-аналог той же физико-географической принадлежности с точным соответствием этих показателей нередко бывает невозможно. При этом встает вопрос обоснования критерия соответствия исследуемого водотока при выборе реки-аналога – приоритет этих характеристик (вес того или иного аргумента) и какие характеристики должны определять это соответствие?

Формулы сопротивления трения в речной гидравлике. Сопротивление трения представляет проекцию результирующей всех касательных сил, действующих вдоль твердой границы по направлению движения. В речной гидравлике в качестве сопротивления трения используют такие величины, как коэффициент Шези C (коэффициент сопротивления трения по длине), параметр шероховатости n , гидравлическое трение λ , а также сцепление частиц грунта при сдвиге c и коэффициент внутреннего трения f . При этом значения параметров трения при прочих равных гидравлико-морфологических условиях определяются водностью потока. Водность потока, с одной стороны, обуславливает площадь взаимодействия речного потока и русла, а с другой стороны, определяет значение гидродинамического давления на твердую границу потока. Например, сила трения $F_{\text{сorp}}$ может быть представлена по аналогии с известной в грунтоведении зависимостью сопротивления грунта сдвигу давлению со стороны потока [Бабков и др., 1950]:

$$F_{\text{сorp}} = Pf + cS,$$

где давление со стороны потока P представляет собой комплекс сил ($F_{\text{потока}}$), действующих в потоке на движущиеся и неподвижные частицы грунта; c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м×с²); f – коэффициент внутреннего трения, б/р; S – площадь приложения силы, м². То есть, с увеличением массы движущегося потока возрастает и касательное напряжение на его твердой границе.

Наиболее используемая в расчетах речной гидравлики формула коэффициента Шези (формула Н.Н. Павловского) C , м^{0.5}/с имеет вид [Карасев, 1975]:

$$C = \frac{R^y}{n},$$

где R – гидравлический радиус, м; y – показатель степени, зависящий от значений коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса.

Гидравлическое трение λ в формуле Дарси-Вейсбаха связано с коэффициентом сопротивления C следующей зависимостью [Карасев, 1975]:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}.$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Касательное напряжение на твердой границе потока τ , кг/(м×с²), представляющее собой результирующую всех сил сопротивления, отнесенную к единице площади поверхности, прямо пропорционально гидравлическому трению:

$$\tau = -\lambda|v|v.$$

где v – скорость потока, м/с.

Таким образом, изменение касательного напряжения на твердой границе потока в зависимости от водности потока должно отразиться на параметре, характеризующем трение в соответствующих гидравлических формулах и моделях. При этом также многие исследователи ставят значение гидравлического сопротивления в зависимость от режима движения потока – установившееся и неустановившееся движение [Карасев, 1975]. «... гидравлические сопротивления зависят не только от наполнения русла и шероховатости, но и от предыстории движения» [Карасев, Коваленко, 1994].

Анализ расчетных формул. Рассмотрим несколько формул общего расхода наносов и проанализируем связь параметра сопротивления трения с основными гидравлическими показателями – крупностью донных отложений, водностью речного потока и уклоном. Для анализа были выбраны четыре формулы общего расхода наносов – формулы Карима-Кеннеди, Энгелунда-Хансена, Бэгнольда, а также аналитическая формула расхода наносов [Шмакова, 2018]. Эти формулы показали наиболее хороший результат в расчетах при проведении сравнительного анализа расчетных формул данного типа на независимом материале [Шмакова, 2018].

Аналитическая формула расхода наносов имеет вид [Шмакова, 2018]:

$$G = \frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{в}}} Q \left[\frac{c}{hg} - \rho_{\text{в}}(1-f)I \right]. \quad (1)$$

где G – общий расход наносов, кг/с; Q – расход воды, м³/с; $\rho_{\text{гр}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – плотность грунта и воды соответственно, кг/м³; I – уклон дна, б/р; h – глубина потока, м; f – коэффициент внутреннего трения, б/р (допускается значение $f > 1$); c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м×с²); g – ускорение свободного падения, м/с².

Параметры f и c формулы (1) зависят от фазы водности водотока и крупности донных отложений. Для определения значений параметра f могут быть использованы зависимости для разных периодов водности, приведенные в работе [Шмакова, 2020]. Аппроксимируя эти зависимости линейными функциями для разных периодов водности (достоверность аппроксимаций составила 0,92, 0,99 и 0,83 для каждого периода водности соответственно), получим:

$$\begin{aligned} f_1 &= -0.1293D + 1.7143, \\ f_2 &= -0.0477D + 1.2937, \\ f_3 &= -0.0114D + 1.0556, \end{aligned}$$

или в общем виде:

$$f_i = a_i D + b_i,$$

где i – индекс водности (1 – максимальная (обеспеченностью $P \leq 33,3$ %)), 2 – средняя ($33,3 < P < 66,7$ %), 3 – минимальная водность ($P \geq 66,7$ %)); D – качественный признак крупности донных отложений: 1 – суглинки; 2 – песок; 3 – песчано-галечные; 4 – гравий; 5 – галька.

Значения параметра c для связанного грунта (суглинки) в среднем по результатам оптимизации для исследуемых рек равны 0,385, 0,505 и 1,55 кг/(м×с²) для периодов малой, средней и большой водности соответственно. Для несвязанного грунта для большинства расчетных рек в периоды средней и большой водности значения параметра c в результате оптимизации получались равными нулю. Для периода малой водности значения этого параметра при оптимизации определялись в диапазоне от нуля до несколько десятых кг/(м×с²).

С учетом изложенного, выражение (1) в обобщенном виде примет вид:

$$G = Q \left[K_1 h^{-1} - K_2 I + K_3 D I \right],$$
$$K_1 = \frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{в}}} \frac{c_i}{g} \approx 0.164 c_i,$$
$$K_2 = \frac{\rho_{\text{гр}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{в}}} [1 + b_i] \approx 1606 [1 - b_i],$$
$$K_3 = \frac{\rho_{\text{гр}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{в}}} a_i \approx 1606 a_i.$$

Формула Карима (*Karim M.F.*) и Кеннеди (*Kennedy J.F.*). Карим и Кеннеди получили формулу общего расхода наносов (2) через теорию размерностей, поставив в зависимость общего расхода наносов от средней и динамической скорости потока, гидравлической крупности и среднего размера частиц d_{50} , м [Karim, Kennedy, 1983]:

$$G = B \cdot k \left[\frac{v}{\sqrt{g(\rho_{\text{грунта}}/\rho_{\text{воды}} - 1)d_{50}}} \right]^{2.97} \left(\frac{u^*}{\omega} \right)^{1.47} \sqrt{g(\rho_{\text{грунта}}/\rho_{\text{воды}} - 1)d_{50}^3}, \quad (2)$$

где B – ширина потока, м; k – коэффициент пропорциональности, равный 0,00139; d_{50} – размер частиц обеспеченностью 50 %, м; u^* – динамическая скорость, м/с; ω – гидравлическая крупность частиц, м/с.

Гидравлическая крупность ω , м/с определяется по формуле [Караушев, 1960]:

$$\omega = K \sqrt{dg}.$$

где K – коэффициент пропорциональности, б/р.

Динамическая скорость рассчитывается как отношение касательного напряжения на границе к плотности воды:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_{\text{воды}}}}.$$

где τ – касательное напряжение на дне, кг/(м×с²).

Касательные напряжения на дне в соответствии с квадратичным законом сопротивления записываются в виде:

$$\tau = -\lambda |v| v,$$
$$\lambda = gn^2 h^{-1/3},$$

где λ – гидравлическое сопротивление на дне реки; n – коэффициент шероховатости русла.

Выделяя основные аргументы формулы и обобщая прочее, выражение (2) примет вид:

$$G = B d^{-2.205} v^{4.44} n^{1.47} h^{-0.245} K_1,$$
$$K_1 = \frac{k \cdot K^{-1.47}}{\rho_{\text{в}}^{1.485} g^{0.485} \left(\frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{в}}} - 1 \right)^{0.985}}.$$



Формула Энгелунда (Engelund F.) и Хансена (Hansen E.). Полученная в середине прошлого века формула Энгелунда – Хансена (3) имеет вид [Engelund, Hansen, 1967]:

$$G = \rho_{\text{грунта}} \cdot B \left(\frac{0.05|v|^5}{\left(\frac{\rho_{\text{грунта}}}{\rho_{\text{воды}}} - 1\right)\sqrt{g}d_{50}C^3} \right), \quad (3)$$

где d_{50} – средний диаметр частиц, м; C – коэффициент Шези, м^{0.5}/с.

Коэффициент Шези вычисляется по формуле Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} h^{1/6}.$$

В требуемой записи формула будет (3) иметь вид:

$$G = B|v|^5 d_{50}^{-1} n^3 h^{-0.5} K_1,$$

$$K_1 = 0.05 \rho_{\text{гр}} \frac{1}{\left(\frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{в}}} - 1\right) g^{0.5}} \approx 25.64.$$

Формула Р. Бэгнольда (4) представляет собой полуэмпирическую зависимость [Visser, 1996]:

$$G = \frac{|v|^3}{C^2} \left(0.24 + 0.01 \frac{u^* C}{\omega g^{1/2}} \right) \rho_{\text{воды}}.$$

Проводя процедуру приведения расчетной формулы к обобщенному виду аналогично представленным выше, получим

$$G = K_1 v^3 n^2 h^{-\frac{1}{3}} + K_2 v^4 d_{50}^{-0.5} n^2 h^{-\frac{1}{3}},$$

$$K_1 = 0.24 \rho_{\text{в}} = 240,$$

$$K_2 = 0.01 \rho_{\text{в}}^{0.5} g^{-0.5} K^{-1} \approx 0.1 K^{-1}.$$

Для оценки значимости каждого аргумента (уклона, крупности донных отложений и водности (глубины)) для каждой формулы проведем приблизительную оценку вклада аргументов в расчетную функцию.

Классификация рек. В соответствии с приведенными выше основными критериями соответствия выбора реки-аналога для расчетного водотока (водность, уклон и крупность донных отложений), выявим, какие из этих величин будут являться определяющими для водотоков того или иного типа для каждой расчетной формулы. Ввиду того, что диапазоны изменений аргументов достаточно большие

$$I \in [10^{-7}; 10^{-1}],$$

$$h \in [10^{-1}; 10^2],$$

$$d_{50} \in [10^{-6}; 10^0]$$

следует рассматривать вклад аргументов для отдельных типов рек, разделив последние на группы по следующим признакам: малые, средние, большие и горные, полугорные, равнинные. Различные сочетания указанных признаков позволят сузить диапазоны изменений аргументов (табл. 1). В табл. 1 приведены характерные значения гидравлических переменных состояния рек согласно классификациям (по площади водосбора и по водности,

по уклону, классификация горных рек, классификация по расходу воды, по скорости течения и так далее), представленным в различных литературных источниках [Гагошидзе, 1970; Чалов, 1979; Владимиров и др., 1991; ГОСТ Р 57567-2017]. Дополнить приведенные классификации диапазонами изменения основных гидравлических переменных состояния речного потока позволила информация, приведенная в результатах исследований [Антимонов, 1950; Гагошидзе, 1970; Ржаницын, 1985; Болдаков, 1993; Бутаков и др., 1996; Чалов, 2017].

Таблица 1
Table 1

Характерные значения гидравлических переменных состояния рек разных типов для среднего периода водности
Characteristic values of hydraulic variables of the state of rivers of different types for the average water content period

Классификация рек	Показатели			
	F , км ²	I	h , м	v , м/с
Равнинные реки, $I \leq 0,0005$				
очень малые	≤ 200	$> 0,001$ ил, песок, галька	$< 0,5$	$< 0,2$
малые	200–2000	0,0001–0,004 ил, песок, галька	0,5–1,5	
средние	2000–50000	0,00015–0,0006 ил, песок, галька	0,7–2,5	0,2–1
большие	≥ 50000	0,00005–0,0001 ил, песок, галька	$> 2,5$	> 1
Полугорные реки, $I \in (0,0005; 0,005)$				
малые	≤ 50	$> 0,005$ песок, гравий, галька	$< 0,5$	1,3–3
средние	50–800	0,0005–0,005 песок, гравий, галька	0,5–2	
большие	≥ 800	0,0003–0,005 песок, гравий, галька	> 2	
Горные реки, $I \geq 0,005$				
малые	≤ 50	$> 0,1$ камни, глыбы	$< 0,5$	2,5–5
средние	50–800	0,01–0,1 галька, камни	0,5–2	
большие	≥ 800	0,005–0,014 песок, гравий, галька, камни	> 2	

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим вклад основных аргументов формул 1–4 для средних значений гидравлических переменных состояния по диапазонам их изменений для каждой группы рек. Для формул аддитивного типа, которому соответствует аналитическая формула расхода наносов (1) уместно оценить вклад слагаемых (с учетом их степенных функций аргументов и коэффициентов) в относительных единицах.

В табл. 2 приведены вычисленные значения степенных функций аргументов и их вклад в расчет общего расхода наносов в формуле (1) для равнинных рек.



Согласно полученным результатам (см. табл. 2), для малых и средних рек равнинного типа значимость аргументов в формуле (1) равноценна. Для больших равнинных рек преимущественное значение имеет соответствие водности рек.

Таблица 2
Table 2

Вклад вычисленных значений степенных функций аргументов в аналитической формуле расхода наносов (1) для равнинных рек
Contribution of the calculated values of the power functions of the arguments in the analytical formula of sediment flow (1) for plain rivers

Типизация рек	Значения степенных функций аргументов формулы		Значения слагаемых формулы (1)		Вклад аргументов, %	
	I	h	$I(-K_2 + K_3D)$	K_1h^{-1}	I	h
Малые	10^{-3}	$h^{-1} = 0,5^{-1} = 2$	0,324	0,166	66	34
Средние	10^{-4}	$h^{-1} = 2^{-1} = 0,5$	0,0324	0,0414	44	56
Большие	10^{-5}	$h^{-1} = 6^{-1} = 0,17$	0,00324	0,014	19	81

Для оценки вклада аргументов в формулах мультипликативного вида уместно принимать во внимание порядок (значения степени) уже вычисленных значений степенных функций аргументов. Рассмотрим подробно вклад аргументов формул (2)–(4) для равнинных рек (табл. 3). Формула Бэгнольда (4) имеет смешанный тип, но порядок степеней основных аргументов в каждом из слагаемых схож. Это дает основание провести оценку вклада по одному из слагаемых, например, по второму.

Таблица 3
Table 3

Вклад вычисленных значений степенных функций аргументов в формулах (2)–(4) для равнинных рек
Contribution of calculated values of power functions of arguments in formulas (2)–(4) for plain rivers

Типизация рек	Значения степенных функций аргументов формулы			Вклад аргументов		
	v	d_{50}	h	v	d_{50}	h
Формула Карима-Кеннеди (2)						
Малые	$v^{4.4} = 0,1^{4.4} = 4 \times 10^{-5}$	$(d_{50})^{-2.205} = 0,00075^{-2.205} = 10^7$	$h^{-0.245} = 0,5^{-0.245} = 1,2$	10^{-5}	10^7	10^0
Средние	$v^{4.4} = 0,6^{4.4} = 0,1$	$(d_{50})^{-2.205} = 0,00075^{-2.205} = 10^7$	$h^{-0.245} = 2^{-0.245} = 0,84$	10^{-1}	10^7	10^{-1}
Большие	$v^{4.4} = 2^{4.4} = 22$	$(d_{50})^{-2.205} = 0,00075^{-2.205} = 10^7$	$h^{-0.245} = 6^{-0.245} = 0,64$	10^1	10^7	10^{-1}
Формула Энгелунда-Хансена (3)						
Малые	$v^5 = 0,1^5 = 10^{-5}$	$(d_{50})^{-1} = 0,00075^{-1} = 10^3$	$h^{-0.5} = 0,5^{-0.5} = 1,4$	10^{-5}	10^3	10^0
Средние	$v^5 = 0,6^5 = 0,08$	$(d_{50})^{-1} = 0,00075^{-1} = 10^3$	$h^{-0.5} = 2^{-0.5} = 0,71$	10^{-2}	10^3	10^{-1}
Большие	$v^5 = 2^5 = 32$	$(d_{50})^{-1} = 0,00075^{-1} = 10^3$	$h^{-0.5} = 6^{-0.5} = 0,41$	10^1	10^3	10^{-1}
Формула Бэгнольда (4)						
Малые	$v^4 = 0,1^4 = 10^{-4}$	$(d_{50})^{-0.5} = 0,00075^{-0.5} = 36$	$h^{-1/3} = 0,5^{-1/3} = 1,26$	10^{-4}	10^1	10^0
Средние	$v^4 = 0,6^4 = 0,13$	$(d_{50})^{-0.5} = 0,00075^{-0.5} = 36$	$h^{-1/3} = 2^{-1/3} = 0,79$	10^{-1}	10^1	10^{-1}
Большие	$v^4 = 2^4 = 16$	$(d_{50})^{-0.5} = 0,00075^{-0.5} = 36$	$h^{-1/3} = 6^{-1/3} = 0,55$	10^1	10^1	10^{-1}

Таким образом, аргументами с наибольшей по модулю степенью в формулах (2) и (3) для малых рек являются кинематические показатели – средняя скорость потока и средняя крупность донных отложений. При этом для средних и больших равнинных рек значимость средней крупности донных отложений в этих формулах становится определяющей. В формуле Бэгнольда (4) для средних и больших равнинных рек вклад всех аргументов равноценен, тогда как для малых рек наиболее веский вклад в расчеты привносит средняя скорость потока.

Интересно заметить, что для формулы Карима-Кеннеди (2) существенный вклад (степень седьмого порядка) в расчеты привносит значение средней крупности донных отложений d_{50} . Принимая во внимание то, что эта величина в русловых потоках характеризуется очень широким диапазоном значений, ее оценка сопряжена с определенной погрешностью [Лепихин, Возняк, 2020]. В свою очередь, это обуславливает существенный вклад в погрешности расчетов по данной формуле.

В табл. 4 приведены результаты, полученные по аналогии с приведенным выше анализом (см. табл. 3) для всех формул по всем группам рек. Здесь представлены результаты оценки вклада вычисленных значений степенных функций аргументов рассматриваемых формул. Соответствие приведенных аргументов будет определяющим при назначении рек-аналогов для расчетов расхода наносов.

Таблица 4
Table 4Вклад аргументов в расчетных формулах общего расхода наносов для разных типов рек
Contribution of arguments in the calculation formulas of the total sediment runoff
for different types of rivers

Типы рек	Формула			
	1	2	3	4
Равнинные реки				
Малые	I, D, h	v, d_{50}	v, d_{50}	v
Средние	I, D, h	d_{50}	v, d_{50}, h	v, d_{50}, h
Большие	h	d_{50}	v, d_{50}, h	v, d_{50}, h
Полугорные реки				
Малые	I, D	d_{50}	v, d_{50}, h	v, d_{50}, h
Средние	I, D	d_{50}	v, d_{50}, h	v, d_{50}, h
Большие	I, D	d_{50}	v, d_{50}, h	v, d_{50}, h
Горные реки				
Малые	I, D	v, d_{50}	v	v
Средние	I, D	v, d_{50}	v	v
Большие	I, D	v, d_{50}	v	v

Согласно результатам оценки вклада основных аргументов в формулы расхода наносов (1)–(4) для рек горного и полугорного типов выявлены следующие закономерности. Для горных рек значимый вклад во всех формулах ожидаемо привносят кинематические аргументы – скорость и крупность донных отложений. Аналогично ситуация обстоит для полугорных рек в оценках для формул (1) и (2). В формулах (3) и (4) для полугорных рек вклад аргументов относительно равноценен.

Заключение

Вне всякого сомнения, приведенные расчеты значимости вклада того или иного аргумента в оценки соответствия реки-аналога и исследуемого водотока в расчетах по формулам расхода наносов несколько условны. И прежде всего эта условность определяется приведенными в табл. 1 значениями переменных состояния потока для выделенных групп



рек. Эти данные получены из различных источников, не везде согласованы между собой и в ряде случаев являются приблизительными. Помимо этого, значительные диапазоны изменения переменных состояния речного потока в пределах одной группы в несколько порядков также могут привносить неточности в оценке вклада аргументов в расчетной формуле.

При этом если располагать данными наблюдений за гидравлическими переменными состояния потока (глубиной, скоростью, уклоном) исследуемой реки и возможных для этого водотока рек-аналогов, то оценка вклада аргументов расчетных формул позволит определить наилучшее соответствие без отмеченных выше недостатков.

Таким образом, представленный метод может служить ориентиром в назначении реки-аналога для расчетов по приведенным формулам общего расхода наносов при полном отсутствии данных наблюдений за гидравлическими переменными состояния потока исследуемой реки. При наличии эпизодических данных наблюдений, приведенные оценки позволят определиться с выбором реки-аналога для последующих расчетов с большей точностью.

Список источников

- ГОСТ Р 57567-2017. Определение гидроморфологических показателей состояния рек. Национальный стандарт Российской Федерации. Качество воды. 2017. М., Стандартинформ, 16 с.
- Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. 2009. Под ред. А.В. Рождественского. Санкт-Петербург, Нестор-история, 194 с.
- СНИП 2.05.03-84. «Мосты и трубы». По изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМ П—91). Проектный конструкторско-технологический институт транспортного строительства. 1992. М., 425 с.
- СП 58.13330.2012. Свод правил по проектированию и строительству. Гидротехнические сооружения. Основные положения. 2012. М.
- СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. 2004. М.
- Чалов Р.С. 2017. Руслые процессы (русловедение). М., Инфра-М, 569 с.

Список литературы

- Антимонов Н.А. 1950. Исследования малых рек. Л., Гидрометеиздат, 128 с.
- Ахмедова Н.Р., Наумов В.А. 2021. Влияние изменения коэффициента шероховатости русла на максимальные расчетные уровни малого водотока в заданном створе (на примере р. Нельма). Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 4 (49): 74–80. DOI: 10.24866/2227-6858/2021-4/74-80.
- Бабков В.Ф., Быковский Н.И., Гербурт-Гейбович А.В., Тулаев А.Я. 1950. Грунтоведение и механика грунтов. М., Дориздат, 334 с.
- Болдаков Е.В. 1993. Жизнь рек. М., Государственное издательство технико-теоретической литературы, 64 с.
- Бутаков Г.П., Голосов В.Н., Дедков А.П., Кичигин А.Н., Мозжерин В.И., Сидорчук А.Ю., Чернов А.В. 1996. Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети. Эрозионные и руслые процессы, 2: 56–70.
- Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. 1991. Охрана окружающей среды. Л., Гидрометеиздат, 424 с.
- Гагарина О.В. 2011. Минимальные расходы воды в нормативно-методической базе России: специфика расчетов минимального стока малых рек при отсутствии данных наблюдений. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 1: 18–26.

- Гагошидзе М.С. 1970. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси, Сабизта сакартвело, 386 с.
- Карасев И.Ф. 1975. Руслевые процессы при переброске стока. Л., Гидрометеиздат, 288 с.
- Карасев И.Ф., Коваленко В.В. 1994. Статистические методы речной гидравлики и гидрометрии. СПб., Гидрометеиздат, 208 с.
- Караушев А.В. 1960. Проблемы динамики естественных водных потоков. Л., Гидрометеиздат, 390 с.
- Косиченко Ю.М. 2020. Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке. Экология и водное хозяйство, 2 (5): 155–168. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-155-168.
- Космаков И.В., Космаков В.И., Петров В.М., Дурнев В.Ф. 2013. Региональная методика расчёта годового и максимального стока рек северной части Енисейского края. Инженерные изыскания, 1: 56–59.
- Лепихин А.П., Возняк А.А. 2020. К проблеме оценки транспорта наносов. Географический вестник, 4 (55): 125–136. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-125-136.
- Лобанов В.А., Никитин В.Н. 2006. Региональные модели определения характеристик максимального стока в зависимости от гидрографических факторов. Метеорология и гидрология, 11: 60–69.
- Лохтин В.М. 1895. О механизме речного русла. Казань, типография Б.Л. Домбровского, 76 с.
- Ржаницын Н.А. 1985. Руслформирующие процессы рек. Л., Гидрометеиздат, 263 с.
- Срибный М.Ф. 1932. Нормы сопротивления движению естественных водотоков и расчет отверстий больших мостов. М.–Л., Гострансиздат, 148 с.
- Чалов Р.С. 1979. Географические исследования русловых процессов. М., МГУ, 232 с.
- Шмакова М.В. 2020. Методология решения геоэкологических задач, связанных с оценкой твердого стока водных объектов. Автореф. дис. ... док. геогр. наук. СПб, 48 с.
- Шмакова М.В. 2018. Расчеты твердого стока рек и заиления водохранилищ. СПб., Издательство ВВМ, 1495 с.
- Arcement G.J., Schneider V.R. 1989. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. U.S. Geological survey water-supply paper 2339, 44 p.
- Barnes H. 1967. Roughness Characteristics of Natural Channels. Washington, United States government printing office, 219 p.
- Cai M., Yang S., Zhao C., Zhou Q., Hou L. 2017. Insight into runoff characteristics using hydrological modeling in the data-scarce southern Tibetan Plateau: Past, present, and future. Plos one, 12 (5): e0176813. DOI: 10.1371/journal.pone.0176813.
- Chow V.T. 1959. Open channel hydraulics. New York, McGraw-Hill, 350 p.
- Dahe P.D., Deshmukh B.B. 2018. Estimation of annual runoff in indravatisub basin of godavari river using statistical approach. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 5 (5): 167–175. doi: 10.26562/IJIRAE.2018.MYAE10079.
- Engelund F., Hansen E.A. 1967. A monograph on Sediment transport in Alluvial Streams. Copenhagen, Nordic Hydrology, 62.
- Heritage G.L., Moon B.P., Broadhurst L.J., James C.S. 2004. The frictional resistance characteristics of a bedrock-influenced river channel. Earth Surface Processes and Landforms, 29 (5): 611–627. DOI: 10.1002/esp.1057.
- Karim M.F., Kennedy J.F. 1983. Computer-based Predictors for Sediment Discharge and Friction Factor of Alluvial Streams. Proc. Second International Symposium on River Sedimentation, 219–233.
- Melis M., Poggi D., Fasanella G.O., Cordero S., Katul G.G. 2019. Resistance to flow on a sloping channel covered by dense vegetation following a dam break. Water Resources Research, 31 (2): 274–292. DOI: 10.1029/2018WR023889.
- Visser P.J. 1996. Application of sediment transport Formulae to sand-dike breach Erosion. Oceanographic Literature Review 9 (43): 954.



References

- Antimonov N.A. 1950. Issledovaniya malykh rek [Studies of small rivers]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 128 p.
- Ahmedova N.R., Naumov V.A. 2021. Influence of the channel roughness factor change on the maximal design levels of a small watercourse in a given river cross (Nelma river example). FEFU: School of Engineering Bulletin, 4 (49): 74–80 (in Russian). DOI: 10.24866/2227-6858/2021-4/74-80.
- Babkov V.F., Bykovskii N.I., Gerburt-Geibovich A.V., Tulaev A.Ya. 1950. Gruntovedenie i mekhanika gruntov [Soil science and soil mechanics]. Moscow, Publ. Dorizdat, 334 p.
- Boldakov E.V. 1993. Zhizn' rek [Life of the rivers]. Moscow, Publ. Gosudarstvennoe izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoi literatury, 64 p.
- Butakov G.P., Golosov V.N., Dedkov A.P., Kichigin A.N., Mozzherin V.I., Sidorchuk A.Yu., Chernov A.V. 1996. Malye reki kak naibolee uyazvimoe zveno rechnoi seti [Small rivers as the most vulnerable link of the river network]. Erozionnye i ruslovye protsessy, 2: 56–70.
- Vladimirov A.M., Lyakhin Yu.I., Matveev L.T., Orlov V.G. 1991. Okhrana okruzhayushchey sredy [Environmental protection]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 424 p.
- Gagarina O.V. 2011. Low-Water Discharges in the Regulatory-Methodological Base of Russia: the Specific Character of Calculation of Minimum River Drains in the Absence of Observations Data. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences, 1: 18–26 (in Russian).
- Gagoshidze M.S. 1970. Selevye yavleniya i bor'ba s nimi [Mudflow phenomena and the fight against them]. Tbilisi, Publ. Sabieta sakartvelo, 386 p.
- Karasev I.F. 1975. Ruslovye processy pri perebroske stoka [Channel processes during the transfer of runoff]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 288 p.
- Karasev I.F., Kovalenko V.V. 1994. Statisticheskie metody rechnoj gidravliki i gidrometrii [Statistical methods of river hydraulics and hydrometry]. Saint Petersburg, Publ. Gidrometeoizdat, 208 p.
- Karashev A.V. 1960. Problemy dinamiki estestvennykh vodnykh potokov [Problems of dynamics of natural water flows]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 390 p.
- Kosichenko Yu.M. 2020. Integrating Data on Canal Bed Roughness in Earthen Channel and Lining. Ecology and water management, 2 (5): 155–168 (in Russian). DOI: 10.31774/2658-7890-2020-2-155-168.
- Kosmakov I.V., Kosmakov V.I., Petrov V.M., Durnev V.F. 2013. Regional Calculation Method for the Annual and Maximum River Runoff in the Northern Part of the Yenisey Ridge. Engineering surveys, 1: 56–59 (in Russian).
- Lepikhin A.P., Wozniak A.A. 2020. On the Problem of Sediment Transport Assessment. Geographical bulletin, 4 (55): 125–136 (in Russian). DOI: 10.17072/2079-7877-2020-4-125-136.
- Lobanov V.A., Nikitin V.N. 2006. Regional Models for Determination of Design Maximum Runoff Versus Hydrographic Factors of Watersheds. Meteorology and Hydrology, 11: 60–69 (in Russian).
- Lokhtin V.M. 1895. O mekhanizme rechnogo rusla [About the mechanism of the riverbed]. Kazan', Publ. B.L. Dombrovskogo, 76 p.
- Rzhanitsyn N.A. 1985. Rusloformiruyushchie protsessy rek [Channel-forming processes of rivers]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 263 p.
- Sribnyi M.F. 1932. Normy soprotivleniya dvizheniyu estestvennykh vodotokov i raschet otverstii bol'shikh mostov [Norms of resistance to the movement of natural watercourses and the calculation of the openings of large bridges]. Moscow–Leningrad, Publ. Gostransizdat, 148 p.
- Chalov R.S. 1979. Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov [Geographical studies of riverbed processes]. Moscow, Publ. MGU, 232 p.
- Shmakova M.V. 2020. Metodologiya resheniya geoeologicheskikh zadach, svyazannykh s ochenkoj tverdogo stoka vodnykh ob'ektov [Methodology for solving geoeological problems related to the assessment of solid runoff of water bodies]. Abstract. dis. ... doc. geogr. sciences. Saint Petersburg, 48 p.
- Shmakova M.V. 2018. Calculations of Solid River Flow and Siltation of Reservoirs. Saint Petersburg, Publ. VVM, 145 p.
- Arcement G.J., Schneider V.R. 1989. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. U.S. Geological survey water-supply paper 2339, 44 p.



- Barnes H. 1967. Roughness Characteristics of Natural Channels. Washington, United States government printing office, 219 p.
- Cai M., Yang S., Zhao C., Zhou Q., Hou L. 2017. Insight into runoff characteristics using hydrological modeling in the data-scarce southern Tibetan Plateau: Past, present, and future. Plos one, 12 (5): e0176813. DOI: 10.1371/journal.pone.0176813.
- Chow V.T. 1959. Open channel hydraulics. New York, McGraw-Hill, 350 p.
- Dahe P.D., Deshmukh B.B. 2018. Estimation of annual runoff in indravatisub basin of godavari river using statistical approach. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 5 (5): 167–175. doi: 10.26562/IJIRAE.2018.MYAE10079.
- Engelund F., Hansen E.A. 1967. A monograph on Sediment transport in Alluvial Streams. Copenhagen, Nordic Hydrology, 62.
- Heritage G.L., Moon B.P., Broadhurst L.J., James C.S. 2004. The frictional resistance characteristics of a bedrock-influenced river channel. Earth Surface Processes and Landforms, 29 (5): 611–627. DOI: 10.1002/esp.1057.
- Karim M.F., Kennedy J.F. 1983. Computer-based Predictors for Sediment Discharge and Friction Factor of Alluvial Streams. Proc. Second International Symposium on River Sedimentation, 219–233.
- Melis M., Poggi D., Fasanella G.O., Cordero S., Katul G.G. 2019. Resistance to flow on a sloping channel covered by dense vegetation following a dam break. Water Resources Research, 31 (2): 274–292. DOI: 10.1029/2018WR023889.
- Visser P.J. 1996. Application of sediment transport Formulae to sand-dike breach Erosion. Oceanographic Literature Review 9 (43): 954.

*Поступила в редакцию 14.01.2022;
поступила после рецензирования 03.02.2022;
принята к публикации 14.02.2022*

*Received January 14, 2022;
Revised February 3, 2022;
Accepted February 14, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шмакова Марина Валентиновна, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории математических методов моделирования Института озероведения РАН Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН, Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Marina V. Shmakova, Doctor of Geography, Leading Researcher of the Laboratory of Mathematical Modeling Methods of the Institute of Limnology RAS of the St. Petersburg Federal Research Center RAS, St. Petersburg, Russia



УДК 556.16

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-108-118

Динамика гидроэкологической ситуации р. Тихая Сосна на территории Белгородской и Воронежской областей

¹Курепина В.А., ²Киселев В.В., ¹Корнилов А.Г.

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

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

E-mail: vika.kurepina.97@mail.ru, vladislav_kiselev_v93@mail.ru, kornilov@bsu.edu.ru

Аннотация. Рассмотрены пространственная и временная динамика развития гидроэкологической ситуации в бассейне р. Тихая Сосна на территории Белгородской и Воронежской областей на фоне реализации программ развития интенсивного животноводства. Выявлены два основных фактора формирования гидроэкологической ситуации в бассейне р. Тихая Сосна: сокращение численности сельского населения и успешная реализация программ развития интенсивного животноводства. Экологическая ситуация для реки Тихая Сосна может оцениваться как умеренно напряженная: при сохранении структуры и облика водных экосистем периодически наблюдается сверхнормативное загрязнение водной среды такими биогенными компонентами, как соединения азота, фосфора, БПК₅. Картографированы места размещения производственных площадок животноводческих комплексов и ферм на территории Волоконовского, Алексеевского, Красногвардейского, Новооскольского, Чернянского, Красненского районов Белгородской области и Острогожского, Лискинского и Каменского районов Воронежской области. Определена геохимическая нагрузка для реки Тихая Сосна по показателям содержания соединений азота, фосфора, меди, железа и др. и проведён статистический анализ показателей содержания загрязняющих веществ в р. Тихая Сосна по данным Росгидромета.

Ключевые слова: гидроэкологическая ситуация, животноводческие комплексы, бассейн р. Тихая Сосна, свиноводство, птицеводство, гидрохимический анализ воды, Белгородская область, Воронежская область

Для цитирования: Курепина В.А., Киселев В.В., Корнилов А.Г. 2022. Динамика гидроэкологической ситуации р.Тихая Сосна на территории Белгородской и Воронежской областей. Региональные геосистемы, 46(1): 108–118. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-108-118

Dynamics of the Hydroecological Situation in the Tikhaya Sosna River on the Territory of the Belgorod and Voronezh Regions

¹Viktoria A. Kurepina, ²Vladislav V. Kiselev, ¹Andrey G. Kornilov

¹ Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia

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

E-mail: vika.kurepina.97@mail.ru, vladislav_kiselev_v93@mail.ru, kornilov@bsu.edu.ru

Abstract. The spatial and temporal dynamics of the development of the hydroecological situation in the basin of the Tikhaya Sosna River on the territory of the Belgorod and Voronezh regions against the background of the implementation of programs for the development of intensive livestock breeding are considered. Two main factors of the formation of the hydroecological situation in the basin of the Tikhaya Sosna River have been identified: a decrease in the number of the rural population, and the successful implementation of programs for

the development of intensive animal husbandry. The ecological situation for the Tikhaya Sosna River can be assessed as moderately stressful: while maintaining the structure and appearance of aquatic ecosystems, excessive pollution of the aquatic environment with such biogenic components as nitrogen, phosphorus, and BOD5 compounds is periodically observed. The locations of the production sites of livestock complexes and farms on the territory of the Volokonovsky, Alekseevsky, Krasnogvardeisky, Novooskolsky, Chernyansky, Krasnensky districts of the Belgorod region and Ostrogzhsky, Liskinsky and Kamensky districts of the Voronezh region have been mapped. The geochemical load for the Tikhaya Sosna River was determined in terms of the content of compounds of nitrogen, phosphorus, copper, iron, etc., and a statistical analysis of the indicators of the content of pollutants in the Quiet Pine according to Roshydromet.

Keywords: hydroecological situation, livestock complexes, river basin Tikhaya Sosna, pig breeding, poultry farming, hydrochemical analysis of water, Belgorod region, Voronezh region

For citation: Kurepina V.A., Kiselev V.V., Kornilov A.G. 2022. Dynamics of the hydroecological situation of the Tikhaya Sosna River in the Belgorod and Voronezh regions. *Regional Geosystems*, 46 (1): 108–118 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-108-118

Введение

Бассейн р. Тихая Сосна расположен на территории двух областей и составляет 4 350 км², на территорию Белгородской области приходится 2086,1 км², а на территорию Воронежской области 2263,9 км² – это 16-й по площади бассейн р. Дон. Общая протяженность р. Тихая Сосна составляет 161 км, в границах Белгородской области 86 км, а в границах Воронежской области 75 км – это 15-й по длине приток р. Дон, который относится к классу качества воды – 3 «а» (загрязненная). Тихая Сосна протекает в Волоконовском, Красногвардейском и Алексеевском районах Белгородской области, в Острогожском районе Воронежской области, относится к средним рекам центрального Черноземья, представляющим вместе с малыми реками основу гидрографической сети России [Колмыков, 2005; Дмитриева, 2010; 2018; Бучик и др., 2019].

Современный рельеф речного водосбора представлен водно-эрозионными формами овражно-балочной сети, характеризуется высокой эродированностью [Алексеевский и др., 2014; Василенко, 2019]. Густота эрозионной сети в бассейне р. Тихая Сосна достигает 0,8–1,0 км/км² [Лисецкий и др., 2015].

Предметом исследования в данной статье является гидроэкологическая ситуация в бассейне р. Тихая Сосна, ее динамика, причины и следствия изменений в связи с интенсивным развитием агропромышленного комплекса в Белгородской и Воронежской областях за период с 2008 по 2020 гг.

Вследствие интенсивного развития сельского хозяйства в Центрально-Черноземных регионах России водные объекты сильно подвержены загрязнению и деградации со стороны смыва минеральных и органических удобрений [Апухтин, Кумани, 2015; Киселев и др., 2020], животноводческих стоков, неочищенных сточных вод и др.

Объекты и методы исследования

Исследование гидроэкологической ситуации в бассейне р. Тихая Сосна включало следующие этапы:

1. Изучение сельскохозяйственной нагрузки на водосборную территорию бассейна р. Тихая Сосна в границах Белгородской и Воронежской областей, в том числе: выявление мест расположения животноводческих комплексов.
2. Анализ статистических данных, характеризующих динамику изменения гидрохимических показателей в р. Тихая Сосна за период 2008–2020 гг.
3. Оценку гидроэкологической ситуации в р. Тихая Сосна за выбранный период.

На основании данных из Администраций Волоконовского, Алексеевского, Красногвардейского, Новооскольского, Чернянского, Красненского, Острогожского, Лискинского и Каменского районов и с помощью данных дистанционного зондирования, были выявлены места размещения производственных площадок животноводческих комплексов и ферм, представленные на рис. 1, в частности позиционировано местоположение свинокомплексов, птицефабрик, и предприятий КРС [Георгиади и др., 2014; Киселев, Корнилов, 2019].

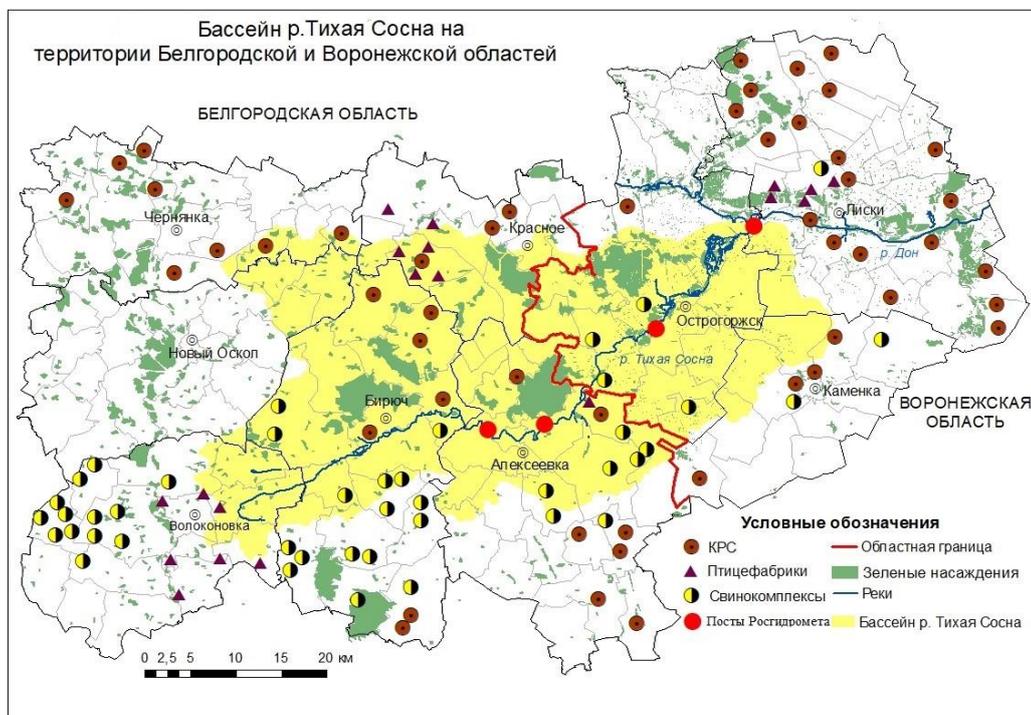


Рис. 1. Размещение животноводческих площадок на территории бассейна р. Тихая Сосна в границах Белгородской и Воронежской областей [Курепина и др., 2019]

Fig. 1. Placement of livestock sites on the territory of the river basin. Silent Pine within the boundaries of the Belgorod and Voronezh regions [Kurepina et al., 2019]

Результаты и их обсуждение

В районах расположения бассейна р. Тихая Сосна наиболее динамично развивающейся сельскохозяйственной отраслью является животноводство.

Например, на территории Алексеевского района расположено 4 хозяйства по развитию молочного животноводства и 3 крестьянских (фермерских) хозяйства (далее – К(Ф)Х). Работают десять свинокомплексов, принадлежащих ЗАО «Алексеевский Бекон», на территории Мухоудеровского сельского поселения работает птицефабрика ООО «Бизнес Фуд Сфера» (производство инкубационного яйца).

На территории Красногвардейского района расположено 4 крупных хозяйства по развитию молочного животноводства и 3 К(Ф)Х, а также работает 16 площадок свинокомплексов, принадлежащих ООО «Возрождение» и ООО «ГК Агро-Белогорье».

На территории Волоконовского района работает 12 площадок свинокомплексов, принадлежащих ООО «Тамбовский бекон», также с 2006 г. действует ООО «Стрелецкий свинокомплекс» и расположено 7 крупнейших площадок по производству мяса птицы – ЗАО «Приосколье».

На территории Новооскольского района расположено 3 площадки ООО «Михайловское», занимающиеся развитием молочного животноводства и 7 К(Ф)Х, также расположено 6 крупнейших площадок по производству мяса птицы – ЗАО «Приосколье».

На территории Чернянского района расположено 8 площадок по молочному животноводству, относящихся к ООО «Русагро-Молоко», ЗАО «МолокоБелогорья» – 2 площадки, АО «Орлик» – 3 площадки, ООО «Бородинское», ООО «Нежеголь».

На территории Красненского района расположено 1 крупное хозяйство по молочному животноводству ЗАО «Молоко Белогорья» и 2 К(Ф)Х. Работает 6 площадок птицефабрик, принадлежащих ООО «Бройлер-Инвест».

На территории Острогожского района ведет свою деятельность ООО «Донской Бекон» с количеством площадок – 3 шт., расположено 2 крупных хозяйства по развитию молочного животноводства ЗАО «Острогожск-садпитомник» и ООО «АгроМолоко».

На территории Лискинского района расположена крупная птицефабрика ООО «Лиско Бройлер» с количеством площадок – 5 шт., которая занимается выращиванием бройлерных кур. Крупнейшим производителем молока в районе и в Воронежской области является агрохолдинг ООО «ЭкоНиваАгро» с количеством площадок – 13 шт., а также ОАО «Маяк», СПК «Лискинский», ООО «Ермоловское», АО «Троицкое» и ООО имени Тельмана. С 2000 года работает единственный свинокомплекс АО «9-я Пятилетка».

На территории Каменского района расположено 3 крупных хозяйства по молочному животноводству: АО им. Тимирязева (2 площадки), АО «Авангард», ООО «ЭкоНиваАгро». Компания ООО «Заречное» занимается мясным скотоводством (производство говядины). С 2017 г. ведет производственную деятельность свинокомплекс ООО «Специализированное хозяйство Каменка».

Высокая концентрация животноводческих комплексов с большой численностью поголовья на территории районов (см. таблицу) приводит к образованию значительного количества навоза, который хранится от 8 до 12 месяцев в навозохранилищах и в дальнейшем вывозится на поля сельскохозяйственных угодий для повышения плодородия почвы. Со временем под действием талых и текучих вод навоз частично попадает в поверхностные и подземные воды, так как в большинстве животноводческих комплексов отсутствуют очистные сооружения сточных вод [Коронкевич, Мельник, 2017; Коронкевич и др., 2017; 2018].

Поголовье скота в сельскохозяйственных предприятиях в бассейне р. Тихая Сосна
Livestock in agricultural enterprises in the basin of the river Tikhaya Sosna

Наименование района	КРС		Свиноводство		Птицеводство	
	голов	кол-во площадок	голов	кол-во площадок	голов	кол-во площадок
Оскольский район	3685	3	0	–	11604637	6
Чернянский район	10851	8	0	–	0	–
Красненский район	4762	3	0	–	614937	6
Волоконовский район	1120	ЛПХ*	63600	13	11100000	7
Острогожский район	1038	2	115101	3	0	–
Лискинский район	138038	20	20356	1	4265873	5
Каменский район	10099	4	45403	1	0	–
Алексеевский район	7718	4	380000	10	120000	1
Красногвардейский район	10680	4	371658	16	0	–

* Личные подсобные хозяйства

Кроме животноводческих комплексов значительное влияние на гидроэкологическую ситуацию р. Тихая Сосна оказывают хозяйственно-бытовые стоки, которые с каждым годом увеличиваются и разнятся по сезонам, в среднем объем сточных вод составляет 27,5 тыс. м³/сут [Ясинский, Сидорова, 2018; Lisetskii, 2021].

Значительно загрязняют воду очистные сооружения ООО «Красногвардейский водоканал», расположенные в 500 м от реки с объемом сточных вод 2,5 м³ /сут., МУП «Горводоканал» в г. Алексеевка, расположенные в 3,5 км от реки с объемом сточных вод 15 тыс. м³ /сут., МУП «Острогожский водоканал», расположенный в 3,5 км от реки с объемом сточных вод 10 тыс. м³ /сут., такими веществами как: взвешенные вещества, сухой остаток, ХПК, БПК₅, хлориды, фосфаты, ион аммония, нитриты, нитраты, железо общее, нефтепродукты, АПАВ, жиры, медь, хром, сульфаты и т.д. [Марыныч и др., 2016]. У большинства предприятий-водопользователей в населенных пунктах нет собственных локальных очистных сооружений, кроме ОАО «ЭФКО».

Для оценки гидроэкологической ситуации были использованы данные гидрологических постов «Росгидромета»¹, которые отмечены на рис. 1:

- 1) г. Алексеевка, Белгородская область – 1 км выше города, у моста (Алексеевский район);
- 2) г. Алексеевка, Белгородская область – 0,5 км ниже города, 6 км ниже гидропоста;
- 3) г. Острогожск, Воронежская область – 2 км выше города, у моста;
- 4) г. Острогожск, Воронежская область – 6,3 км ниже города, у моста.

На рис. 2 представлена динамика гидрохимических показателей на постах наблюдений (черной линией на графиках показан расход воды в р. Тихая Сосна по г. Алексеевка) за 2008–2020 гг.

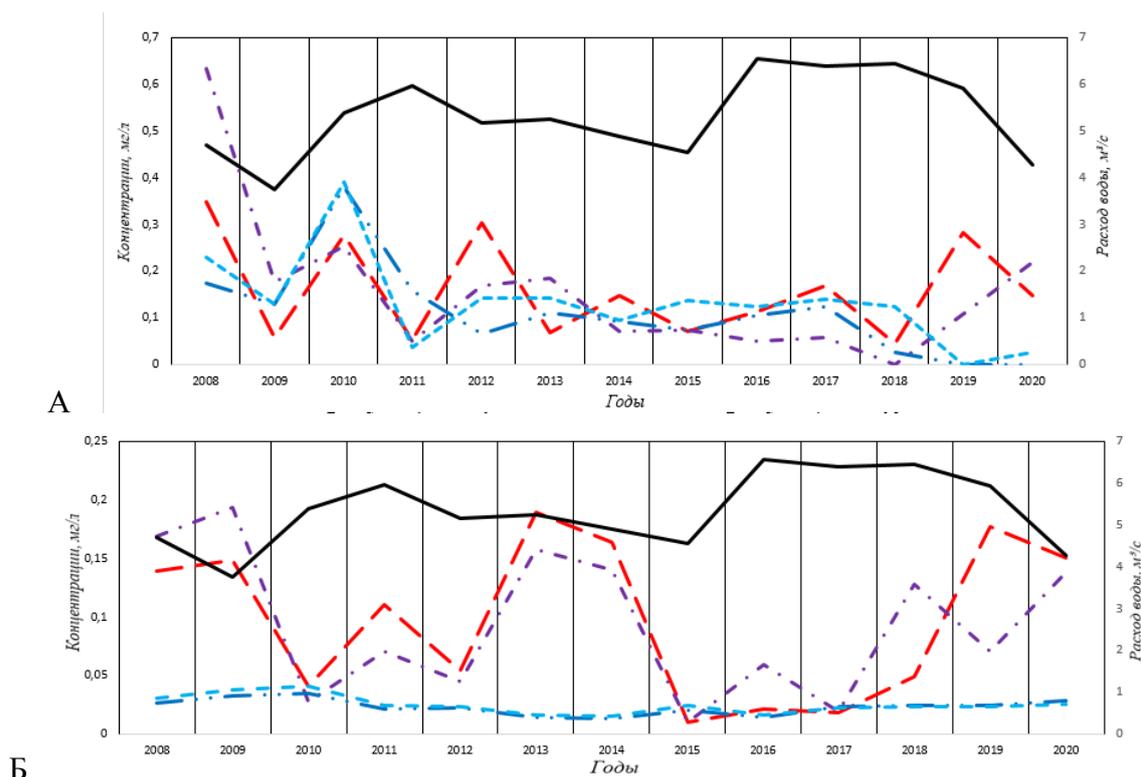


Рис. 2. Динамика гидрохимических показателей на постах наблюдений: А – содержание солей аммония; Б – содержание нитрит-ионов (начало)
 Fig. 2. Dynamics of hydrochemical indicators at observation posts: А – content of ammonium salts; Б – content of nitrite ions (start)

¹ Ежегодники качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий по территории деятельности ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» за 2008-2020 гг. Курск. Министерство природных ресурсов Российской Федерации Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

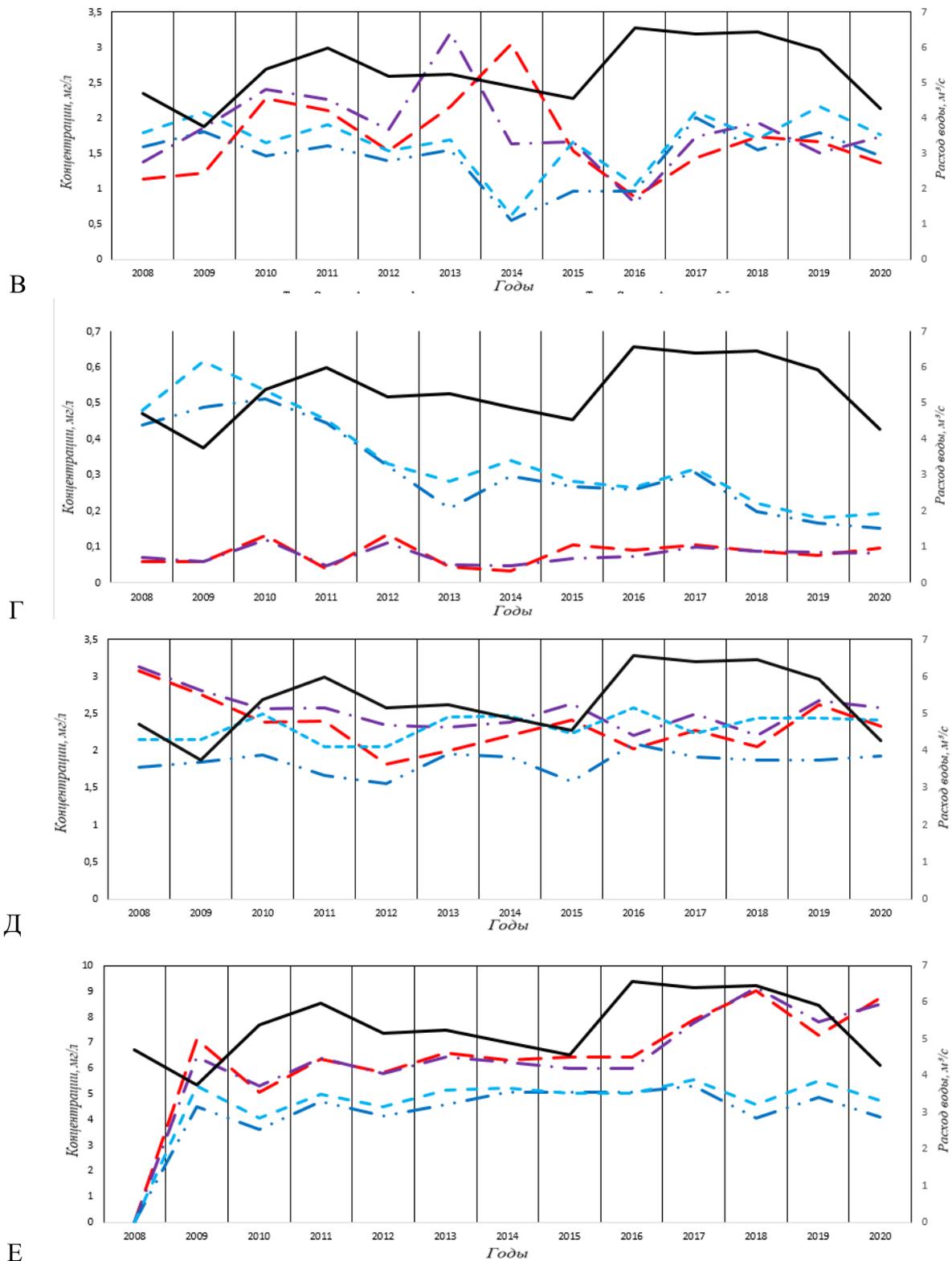


Рис. 2. Динамика гидрохимических показателей на постах наблюдений: В – содержание нитрат-ионов; Г – содержание фосфатов; Д – БПК₅; Е – содержание кремния (продолжение)
Fig. 2. Dynamics of hydrochemical indicators at observation posts: В – content of nitrate ions; Г – content of phosphates; Д – BOD₅; Е – content of silicon (continuation)

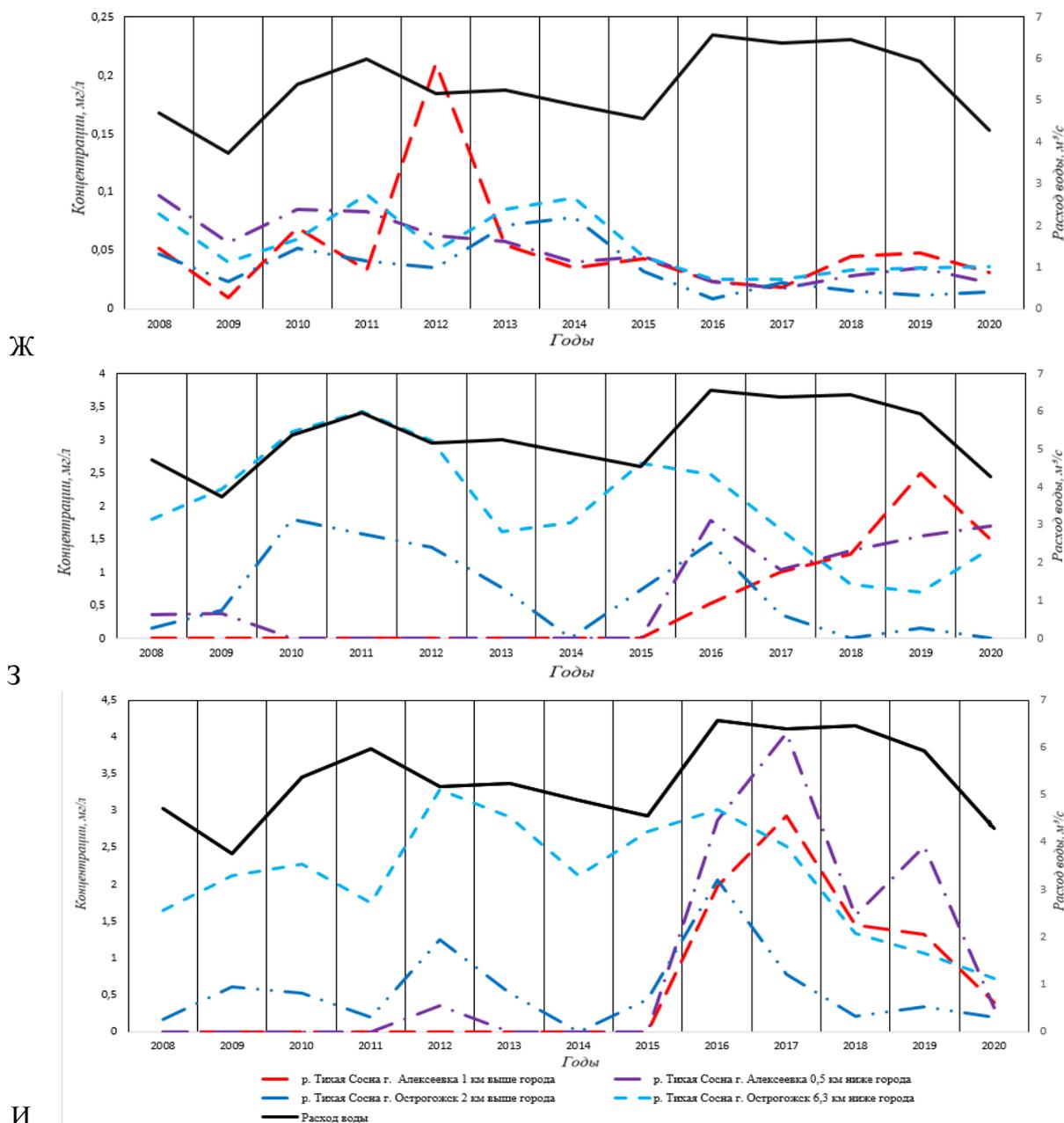


Рис. 2. Динамика гидрохимических показателей на постах наблюдений: Ж – содержание железа; 3 – содержание меди; И – содержание цинка (окончание)

Fig. 2. Dynamics of hydrochemical indicators at observation posts: Ж – content of iron; 3 – content of copper; И – zinc content (end)

В отношении пространственного распределения основных биогенных показателей загрязнения водной среды можно отметить следующее:

- концентрации солей аммония в среднем за период с 2008 по 2015 гг. в районе г. Алексеевка превышали таковые около г. Острогожск. В последние годы уровень загрязнения р. Тихая Сосна солями аммония около г. Острогожск выше, чем около г. Алексеевка;

- уровень загрязнения р. Тихая Сосна нитрит-ионами в районе г. Алексеевка значительно превышает уровень загрязнения в районе г. Острогожск, видимо, в силу относительной маловодности первого участка;

– содержание нитрат-ионов до 2015 г. увеличивалось по мере продвижения от г. Алексеевка до г. Острогожск. В последующий период рост концентрации нитрат-ионов по мере продвижения от г. Алексеевка к г. Острогожск значительно снизился, что является косвенным свидетельством реструктуризации хозяйственной и населенческой нагрузки на водосборный бассейн в эти периоды;

– фосфор, как биофильный элемент, хорошо поглощается водной и околородной растительностью, поэтому эффективность самоочистки речной воды по данному показателю в верховьях реки гораздо выше, чем в более полноводных участках среднего течения, поэтому на графике «содержания фосфатов» на р. Тихая Сосна уровень фосфорного загрязнения в районе г. Алексеевка значительно ниже, чем в районе г. Острогожск;

– в отношении БПК₅ четко выраженной тенденции пространственной дифференциации по городам Алексеевка и Острогожск не наблюдается;

– в отношении содержания в р. Тихая Сосна тяжелых металлов, таких как кремний, железо, медь и цинк наблюдаются разовые превышения концентраций ПДК, динамика загрязнения по городам Алексеевка и Острогожск не прослеживается.

Выявленные выше тенденции косвенно подтверждают выявленную в некоторых предыдущих публикациях роль солей аммония, фосфатов и нитритов в качестве индикаторов селитебной нагрузки на р. Тихая Сосна, т. к. их концентрации имеют тенденцию сокращения в период с 2008 г по 2015–2016 гг., что сопровождается уменьшением численности сельского населения на территории соответствующих административных районов Белгородской и Воронежской областей² [Курепина и др., 2019].

В период реализации программы интенсивного развития животноводства ориентировочно с 2015–2016 гг. по настоящее время наметилась слабая тенденция роста уровня и содержания в воде NH_4^+ , NO_3^- , БПК₅, а для Белгородской области ещё и фосфатов (в Воронежской области для фосфатов данная тенденция пока не проявляется).

Заключение

На основании проведенного исследования сделаны следующие выводы.

1. Реализация программы интенсивного развития животноводства на территории Белгородской и Воронежской области в бассейне р. Тихая Сосна становится значимым фактором формирования геоэкологической ситуации, что требует организации экологически безопасной утилизации и использования отходов животноводства, а также строгого ведомственного и надведомственного контроля.

2. Уточнены временные рамки разнонаправленных тенденций изменения гидрохимической ситуации в р. Тихая Сосна в связи, с одной стороны, с сокращением численности сельского населения в водосборном бассейне р. Тихая Сосна, с другой стороны, с ростом животноводческой нагрузки. Выявлены тенденции процессов самоочистки р. Тихая Сосна от г. Алексеевка до г. Острогожск в отношении таких элементов, как нитрит-ионы и фосфаты.

3. За весь период исследования наблюдаются периодические превышения ПДК по железу, кремнию, меди и цинку, что предположительно может быть связано со сбросом недостаточно очищенных сточных вод с ООО «Красногвардейский водоканал», МУП «Горводоканал» в г. Алексеевка и МУП «Острогожский водоканал» и требует дальнейшего всестороннего изучения.

² Статистический бюллетень. 2020. Численность и миграция населения Белгородской области за 2019 год. Белгород, Белгородстат.



Список литературы

- Алексеевский Н.И., Кузьмина Е.О., Базелюк А.А. 2014. Термический режим рек на юге Европейской территории России. Известия Российской академии Наук. Серия Географическая, 5: 55–66.
- Апухтин А.В., Кумани М.В. 2015. Многолетняя динамика основных элементов весеннего стока малых и средних рек Центрального Черноземья. Научные ведомости Белгородского научного университета. Серия Естественные науки, 21 (218): 114–120.
- Бучик С.В., Дмитриева В.А., Сушков А.И., Шестопалова Т.А. 2019. Некоторые аспекты гидрологического режима рек Верходонья. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции, 03–05 октября 2019, Воронеж, Цифровая полиграфия: 355–359.
- Василенко А.Н. 2019. Современные представления о термическом режиме рек и его трансформациях в условиях изменяющегося климата. В кн.: Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы Международной научно-практической конференции, 03–05 октября 2019, Воронеж, Цифровая полиграфия: 359–363.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милокова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Вишневская И.А., Бородин О.О. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Москва, Макс-Пресс, 214 с.
- Дмитриева В.А. 2010. Структура использования водных ресурсов в Воронежской области. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 5: 28–40.
- Дмитриева В.А. 2018. Аномалии весеннего половодья в Донском бассейне и их водохозяйственные и гидроэкологические последствия. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (2): 181–190. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
- Киселев В.В., Корнилов А.Г. 2019. Геоэкологические аспекты развития современного интенсивного свиноводства на территории Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (1): 98–108. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-98-108.
- Киселев В.В., Курепина В.А., Корнилов А.Г. 2020. Динамика гидрохимических показателей малых рек в связи с внесением химических удобрений на сельскохозяйственные поля. Геология, география и глобальная энергия, 2 (77): 102–110.
- Колмыков С.Н. 2005. Экологическое состояние малых рек Белгородской области. В кн.: География и регион: актуальные вопросы исследований. Чебоксары, Изд-во Чувашского университета: 446–449.
- Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С. 2017. Гидрология антропогенного направления: становление, методы, результаты. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2: 8–23. DOI: 10.15356/0373-2444-2017-2-8-23.
- Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Ясинский С.В. 2018. О гидрологических изменениях. Вопросы географии, 145: 15–34.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С. 2017. Изменение стока реки Москвы в результате антропогенных воздействий. Водные ресурсы, 44 (1): 3–14. DOI: 10.7868/S0321059617010072.
- Курепина В.А., Киселев В.В., Корнилов А.Г. 2019. Геоэкологические аспекты развития современного животноводства на территории Алексеевского и Красногвардейского районов Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (4): 425–437. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-425-437.
- 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.
- Марыныч С.Н., Курепина В.А., Корнилов А.Г., Колмыков С.Н. 2016. Азотное загрязнение водных объектов юго-западных районов Белгородской области на пике раннего половодья в 2016 году. В кн.: Современные тенденции развития аграрного комплекса. Материалы международной научно-практической конференции, 11–13 мая 2016, Солёное Займище, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия: 55–57.
- Ясинский С.В., Сидорова М.В. 2018. Динамика водоёмкости в России и её регионах. Вопросы географии, 145: 406–413.

Lisetskii F. 2021. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. *Geosciences (Switzerland)*, 11 (2): 1–6. DOI: 10.3390/geosciences11020063.

References

- Alekseevsky N.I., Kuzmina Ye.O., Bazelyuk A.A. 2014. Thermal Regime of the Rivers in the South of European Russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5: 55–66 (in Russian).
- Apukhtin A.V., Kumani M.V. 2015. Longstandig Dynamics of Basic Elements of the Spring Drain of the Small and Middle Rivers of the Central Chernozem Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 21 (218): 114–120 (in Russian).
- Buchik S.V., Dmitrieva V.A., Sushkov A.I., Shestopalova T.A. 2019. Nekotoryye aspekty gidrologicheskogo rezhima rek Verkhodonia [Some aspects of the hydrological regime of the Verkhodonya rivers]. In: *Globalnyye klimaticheskiye izmeneniya: regionalnyye efekty. modeli. prognozy* [Global Climate Change: Effects of Effects, Models, Forecasts]. Proceedings of the international scientific and practical conference, 03–05 October 2019, Voronezh, Publ. Digital printing: 355–359.
- Vasilenko A.N. 2019. Sovremennyye predstavleniya o termicheskom rezhime rek i ego transformatsiyakh v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [Modern ideas about the thermal regime and its transformations in a changing climate]. In: *Globalnyye klimaticheskiye izmeneniya: regionalnyye efekty. modeli. prognozy* [Global Climate Change: Effects of Effects, Models, Forecasts]. Proceedings of the international scientific and practical conference, 03–05 October 2019, Voronezh, Publ. Digital Printing: 359–363.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A., Vishnevskaya I.A., Borodin O.O. 2014. Sovremennyye i stsennyye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneyshikh rek Rossii [Modern and scenario changes in river flow in the basins of the most important rivers in Russia]. Moscow, Publ. Max-Press, 214 p.
- Dmitrieva V.A. 2010. Water Resources Use Structure in Voronezh Oblast. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, 5: 28–40 (in Russian).
- Dmitrieva V.A. 2018. Anomalies of Spring Flood in Don River Basin and Their Water Management and Hydroecological Consequences. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 42 (2): 181–190 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-181-190.
- Kiselev V.V., Kornilov A.G. 2019. Geoecological Aspects of Development of Modern Intensive Pig Farming in the Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43 (1): 98–108 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-1-98-108.
- Kiselev V.V., Kurepina V.A., Kornilov A.G. 2020. Dynamics of Hydrochemical Indicators of Small Rivers in Connection with the Introduction of Chemical Fertilizers on Agricultural Fields. *Geology, Geography and Global Energy*, 2 (77): 102–110 (in Russian).
- Kolmykov S.N. 2005. Ekologicheskoye sostoyaniye malykh rek Belgorodskoy oblasti [Ecological state of small rivers of the Belgorod region]. In: *Geografiya i region: aktualnyye voprosy issledovaniy* [Geography and Region: Current Research Issues]. Cheboksary, Publ. Chuvash University: 446–449.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.S., Kashutina E.A., Mel'nik K.S. 2017. Anthropogenic Hydrology: Formation, Methods, Results. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2: 8–23 (in Russian). DOI: 10.15356/0373-2444-2017-2-8-23.
- Koronkevich N.I., Georgiadi A.G., Yasinsky S.V. 2018. On Hydrological Changes. *Questions of Geography*, 145: 15–34 (in Russian).
- Koronkevich N.I., Melnik K.S. 2017. Changes in Moskva R. Runoff Under Anthropogenic Impacts. *Water Resources*, 44 (1): 1–11 (in Russian). DOI: 10.1134/S0097807817010079.
- Kurepina V.A., Kiselev V.V., Kornilov A.G. 2019. Geoecological Aspects of Development of Modern Livestock on the Territory of Alekseevsky and Krasnogvardeysky Area of Belgorod Region. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43 (4): 425–437 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-425-437.



- Lisetskii F.N., Degtyar' A.V., Buryak Zh.A., Pavlyuk Ya.V., Narozhnyaya A.G., Zemlyakova A.V., Marinina O.A. 2015. Reki i vodnyye obyekty Belogoria [Rivers and water bodies of Belogorye]. Belgorod, Publ. Constanta, 362 p.
- Marynych S.N., Kurepina V.A., Kornilov A.G., Kolmykov S.N. 2016. Azotnoye zagryazneniye vodnykh ob'yektov yugo-zapadnykh rayonov Belgorodskoy oblasti na pike rannego polovodia v 2016 godu [Nitrogen pollution of water bodies in the southwestern regions of the Belgorod region at the peak of the early flood in 2016]. In: Sovremennyye tendentsii razvitiya agrarnogo kompleksa [Modern trends in the development of the agrarian complex]. Proceedings of the international scientific and practical conference, 11–13 May 2016, Solenoe Zaimishche, Publ. Caspian Research Institute of Arid Agriculture: 55–57.
- Yasinsky S.V., Sidorova M.V. 2018. Dynamics of water intensity of the economy in Russia and its regions. Questions of geography, 145: 406–413 (in Russian).
- Lisetskii F. 2021. Rivers in the focus of natural-anthropogenic situations at catchments. Geosciences (Switzerland), 11 (2): 1–6. DOI: 10.3390/geosciences11020063.

Поступила в редакцию 29.12.2021;

поступила после рецензирования 23.01.2022;

принята к публикации 28.02.2022

Received December 29, 2021;

Revised January 23, 2022;

Accepted February 28, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Курепина Виктория Александровна, аспирант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Киселев Владислав Викторович, преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин Белгородского университета кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Корнилов Андрей Геннадьевич, доктор географических наук, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktoriya A. Kurepina, Postgraduate Student of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

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

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



УДК 543.31:542.08

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-119-131

Геоэкологическая модель для прогнозирования деградации и восстановления рельефа военных полигонов

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

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А
E-mail: arhangelskaya49@mail.ru, zk_vva@mail.ru

Аннотация. Военная деятельность наносит колоссальный ущерб окружающей среде и в мирное, и в военное время. В отличие от химического и физического загрязнения объектов окружающей среды в результате проведения учений, боевых действий, испытаний нового вооружения, не достаточно исследовано влияние военной деятельности на изменение ландшафтов обширных и разнообразных территорий. Целью этой работы является построение геоэкологической энтропийной модели для оценки и прогнозирования уровня экологической деградации рельефа территорий авиационных полигонов (на примере полигона «Погиново», г. Воронеж). В работе показано, что законы распределения экологических величин не случайные, а квазидетерминированные, поэтому аддитивное сложение энтропий различных подсистем возможно лишь в случае идентичных законов их распределения. С помощью построенной модели проведена оценка развития экологической ситуации на полигоне «Погиново». Показано, что экологическая система, находящаяся на границе рангов норма – риск, восстанавливается до абсолютно устойчивого уровня 0,995 за 30 лет после прекращения антропогенного воздействия. Верхняя граница устойчивости геоэкологической системы наблюдается, когда площадь воронок равна половине площади полигона; это состояние является равновесным при прекращении антропогенного воздействия. Если система находится в области компенсируемого кризиса, то при прекращении деятельности полигона в ранг экологического риска система самопроизвольно возвратится через 100 лет, далее останется в равновесном состоянии. При возникновении хаотического состояния системы (бифуркации) происходит образование овражно-балочного рельефа, тогда прогноз развития и самовосстановление системы невозможны.

Ключевые слова: деградация рельефа, военные полигоны, авиационные полигоны, устойчивость экологических систем, энтропийный подход, модель Ферхюльста

Для цитирования: 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. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-119-131

Geoecological model for predicting degradation and restoration of the relief of military landfills

Oleg V. Bazariskij, Dmitry A. Panteleev, 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: zk_vva@mail.ru

Abstract. Military activity causes enormous damage to the environment both in peacetime and in wartime. Unlike chemical and physical pollution of environmental objects as a result of exercises, combat operations, and testing of new weapons, the impact of military activity on changing the landscapes of quite



extensive and diverse territories has not been sufficiently investigated. The purpose of this work is to build a geocological entropy model for assessing and predicting the level of environmental degradation of the relief of the territories of aviation polygons (using the example of the «Pogonovo» landfill, Voronezh). On the basis of the universal entropy model, a methodology for assessing and predicting the degradation and restoration of the relief of military ranges has been developed. The paper shows that the laws of distribution of ecological quantities are not purely random, but quasi-deterministic, therefore, additive addition of entropies of various subsystems is possible only in the case of identical laws of their distribution. With the help of the developed methodology, an assessment of the development of the ecological situation at the «Pogonovo» landfill was carried out. It is established that the ecological system located on the border of the norm-risk ranks is restored to an absolutely stable level of 0.995 for 30 years after the cessation of anthropogenic impact. With the intensification of the landfill activity to the level of average risk, the level of stability will decrease to 0,62 in 10 years. The upper limit of the stability of the geocological system is observed when the area of the funnels is equal to half the area of the landfill; this state is equilibrium when anthropogenic impact ceases. If the system is in the area of a compensable crisis, then when the landfill activity ceases, the system spontaneously returns to the rank of environmental risk after 100 years, then remains in an equilibrium state. When a chaotic state of the system (bifurcation) occurs, the formation of a gully-beam relief occurs, then the forecast of development and self-healing of the system is impossible.

Keywords: terrain degradation, military ranges, aviation ranges, sustainability of ecological systems, entropy approach, Ferhulst model

For citation: Bazarsky O.V., Pantelev D.A., Kochetova Zh.Yu. 2022. Geocological model for predicting degradation and restoration of the relief of military landfills. *Regional Geosystems*, 46(1): 119–131 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-119-131

Введение

Площадь принадлежащих военным ведомствам территорий по разным оценкам составляет 750 тыс.–1,5 млн км². Военные базы и формирования могут занимать до 17 % от общей площади страны [Кудельский и др., 1997]. Во многих случаях это крупные 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. Площади территорий, периодически подверженных влиянию военной деятельности, еще обширнее. К ним относятся территории для маневров, учебных выходов на местность, районы падения отработавших ступеней ракет, а также территории, загрязненные в результате деятельности военных объектов [Геологическое..., 2014; Кочетова и др., 2022].

Испытание оружия, ракетной и космической техники, ведение войн становятся серьезными факторами дестабилизации взаимодействия живой и неживой природы. В связи с разработкой новых видов вооружения, непрекращающимися военными локальными конфликтами, освоением военными новых территорий для размещения баз по всему миру, воздействие на окружающую среду приобрело глобальный характер. Военная деятельность наносит колоссальный экологический ущерб различным объектам окружающей среды, при этом наиболее масштабной трансформации и загрязнению подвержены почвы и грунты [Зонн, Зонн, 2002; Харьковина, 2004; Забураева, 2012]. В.Т. Трофимов с соавторами [2019] выделяет ресурсную, геодинамическую, геофизическую, геохимическую функции трансформации литосферы в результате военной деятельности, которые для объективной оценки состояния окружающей среды необходимо рассматривать в комплексе. В открытой литературе приводятся некоторые разрозненные исследования о последствиях химического и физического загрязнения литосферы военными объектами [Pennington, Brannon, 2002; Jenkins et al., 2006; Douglas et. al., 2010; Сафронич, Колесникова, 2011; Хусаинова, Чуйков, 2013; Крюченко и др., 2015; Смурыгин и др., 2019; Кочетова и др., 2020], однако об оценке и про-

гнозировании преобразования рельефа почв в результате ведения боевых действий или учений данные практически отсутствуют.

В геоэкологии под рельефом понимают совокупность неровностей земной поверхности, разных по форме, размерам, происхождению, возрасту и истории развития¹. Неровности от 2 до 50 м в диаметре классифицируют как мелкомасштабные, к ним относятся карстовые и суффuzionные воронки, кратеры от ударов метеоритов, а также воронки антропогенного происхождения. Мелкомасштабные изменения рельефа, присущие всем военным полигонам, практически не изучены. Особенностью рельефов полигонов является то, что размеры неровностей существенно меньше природных, но их количество на единицу площади значительно больше, что приводит к экологической опасности деградации территорий военных полигонов, особенно авиационных. На сегодняшний день методика экологической опасности мелкомасштабной деградации рельефа военных полигонов не развита, и не ясны возможности экономического использования таких территорий при прекращении деятельности полигонов.

Цель исследований – построение циклической нелинейной модели развития геоэкологической системы для оценки и прогнозирования деградации и восстановления ее рельефа при различных уровнях антропогенного воздействия.

Объекты и методы исследования

Деградация рельефа авиационных полигонов исследована на примере участка полигона «Погоново», используемого аэродромом государственной авиации «Балтимор» для применения неуправляемых авиационных средств поражения калибром до 500 кг. Полигон создан в послевоенные годы, он расположен в заповедном лесу между миллионным городом Воронеж и озером Погоново, в 18 км от запретной зоны Нововоронежской АЭС.

Территориально полигон приурочен к Воронежской флювиогляциальной гряде – уникальному по размерам и происхождению образованию в западном секторе Донского ледникового языка, сформировавшегося на стадии отмирания краевого сегмента ледника [Глушков, 2011]. Гряда простирается с севера на 180 км от с. Хлевное Липецкой обл. до устья р. Икорец, проходит по водоразделу р. Дон и р. Воронеж. По левобережью р. Дон и к югу от устья р. Икорец гряда сохранилась в виде останца на междуречье р. Дон и р. Битюг. В рельефе представляет собой вал с увалистой поверхностью на абсолютных высотах до 170 м, который возвышается над аллювиальной равниной на 25–30 м. Западный склон сложен песками мощностью до 80 м, к востоку они сменяются суглинками. Подошва тела гряды слабо вогнутая и изменяется от +100 до +70–80 м. Севернее с. Хлевное гряда переходит в моренные образования, а южнее Павловска – в долинный зандр. Образование вала происходило в глубоком каньоне с ледовыми бортами, проложенном тальми водами по направлению стока, близкому к доледниковой долине. После таяния льда флювиогляциальное тело стало иметь вид возвышенной гряды. Абсолютные отметки его поверхности 165–172 м, ширина вала до 8 км. Характерной особенностью возвышенной части вала является чрезвычайно слабая расчлененность рельефа и почти полное отсутствие покровных суглинков. Грунт полигона по максимальной глубине воронок – мелкозернистый песок, обладающий низкой устойчивостью по склонам.

Негативная сторона функционирования полигона связана с техногенным инициированием эрозионных процессов на участках, где плотно сгруженные воронки группируются в узкие зоны, вытянутые по склону. В весеннее половодье, когда воронки переполняются вешними водами, могут быть прорывы стенок воронок с формированием ложбин стока, что более вероятно именно на восточном склоне, где развиты легко размываемые лессовидные суглинки. Профиль, вдоль которого возможно образование овражно-

¹ Рычагов Г.И. 2018. Геоморфология: учебник для академического бакалавриата. М., Издательство Юрайт, 396 с.

балочной системы, показан на рис. 1. Средний уклон к рекам Воронеж и Дон равен 1° . Площадь прямоугольника авиационной части составляет $1500 \times 400 = 0,6 \text{ км}^2$, главная ось бомбометания при этом расположена практически перпендикулярно водоразделу и совпадает с глиссадой взлета самолетов с аэродрома «Балтимор».



Рис. 1. Космический снимок и профиль территории, вдоль которой наиболее вероятно образование овражно-балочной системы (полигон «Погоново»)
 Fig. 1. Satellite image and profile of the territory along which the formation of a gully-beam system is most likely (polygon "Pogonovo")

Фактическая база данных неровностей рельефа на авиационной части полигона сформирована путем фотографирования территории с беспилотного летательного аппарата. Разрешенная способность аппаратуры составляла 0,25 м при высоте полета 1710 м. Изучались три снимка с одинаковыми площадями $500 \times 400 \text{ м}$, но с различным числом и диаметром воронок. Диаметры воронок на снимке измерялись с применением программного обеспечения *Agisoft Metashape Professional*.

Для оценки неоднородности рельефа некоторой области часто используют отношение числа локальных максимумов (минимумов) рельефа в исследуемой области к общему числу неровностей [Иоффе, 2013]. Широко применяемый показатель оценки неоднородности рельефа не может характеризовать уровень деградации рельефа военных полигонов вследствие геоэкологического разнообразия их территорий и пространственно-неравномерной деградации их рельефа. Для изученных сцен отношение суммарной площади воронок к площади авиационной части полигона изменялась от 1,7 до 2,2 %.

Поскольку диаметр воронок – случайная величина, то целесообразно для оценки уровня деградации рельефа сцены использовать статистический подход, для которого создана достаточно объемная база исходных данных.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе строили дискретные законы распределения случайной величины. Данные статистической обработки для изученных участков и всего авиационного полигона представлены в табл. 1–4. Средний диаметр каждой градации $D_{i\text{ср}}$ определяли, как среднее диаметров воронок, попавших в соответствующую градацию. Повторяемости градаций P_i рассчитывали как отношение числа воронок, попавших в i -тую градацию, к общему числу воронок на сцене. K_i – число состояний каждой градации, определяемое как отношение $D_{i\text{ср}} / D_{\text{ф}}$, где $D_{\text{ф}}$ – фоновое значение микромасштабных природных неоднородностей рельефа, принятых равными 2 м.



Таблица 1
Table 1

Статистические данные первого участка полигона
Statistical data of the first section of the polygon

Параметр	Градация							
	1	2	3	4	5	6	7	8
D_i , м	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18
D_{icp} , м	3,10	4,90	6,70	8,80	11,30	12,90	15,20	17,10
P_i	0,32	0,37	0,14	0,02	0,02	0,03	0,07	0,03
K_i	1,55	2,45	3,35	4,40	5,65	6,45	7,60	8,55
lnK_i	0,44	0,90	1,21	1,48	1,73	1,86	2,03	2,15
S_i	0,14	0,33	0,17	0,03	0,03	0,06	0,14	0,06

Таблица 2
Table 2

Статистические данные второго участка полигона
Statistical data of the second section of the polygon

Параметр	Градация											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_i , м	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	20–22	22–24	24–26
D_{icp} , м	3,20	5,10	6,90	8,60	10,80	12,80	15,20	17,10	19,40	21,40	23,80	25,00
P_i	0,22	0,30	0,06	0,04	0,04	0,04	0,12	0,09	0,02	0,03	0,01	0,02
K_i	1,60	2,55	3,45	4,30	5,40	6,40	7,60	8,55	9,70	10,70	11,90	12,50
lnK_i	0,47	0,94	1,24	1,46	1,69	1,86	2,03	2,15	2,27	2,37	2,48	2,53
S_i	0,10	0,28	0,08	0,06	0,07	0,08	0,25	0,19	0,05	0,07	0,03	0,05

Таблица 3
Table 3

Статистические данные третьего участка полигона
Statistical data of the third section of the polygon

Параметр	Градация										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D_i , м	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	20–22	22–24
D_{icp} , м	3,20	5,50	7,50	9,10	10,50	12,70	15,20	17,00	18,00	20,40	22,70
P_i	0,22	0,07	0,07	0,02	0,07	0,02	0,05	0,15	0,04	0,17	0,10
K_i	1,60	2,75	3,75	4,55	5,25	6,35	7,60	8,50	9,00	10,2	11,4
lnK_i	0,47	1,01	1,32	1,52	1,66	1,85	2,03	2,14	2,20	2,32	2,43
S_i	0,10	0,07	0,10	0,04	0,12	0,05	0,10	0,31	0,09	0,40	0,24

Таблица 4
Table 4

Статистические данные всего авиационного полигона
Statistical data of the entire aviation range

Параметр	Градация											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_i , м	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	20–22	22–24	24–26
D_{icp} , м	3,10	5,00	6,80	8,80	11,00	12,80	15,20	17,10	18,90	20,70	22,90	25,50
P_i	0,28	0,31	0,13	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01
K_i	1,55	2,50	3,40	4,40	5,50	6,40	7,60	8,55	9,45	10,40	11,40	12,80
lnK_i	0,44	0,92	1,22	1,48	1,70	1,86	2,03	2,15	2,25	2,34	2,44	2,55
S_i	0,12	0,28	0,16	0,04	0,07	0,07	0,12	0,09	0,02	0,07	0,05	0,03



По статистическим распределениям вычислены математические ожидания случайной величины по формуле

$$M = \sum_{i=1}^N P_i K_i. \quad (1)$$

С учетом того, что K_i – это ущерб, вносимый каждой градацией в геоэкологическое состояние территории, а P_i – опасность этой градации, то средневзвешенное значение M является экологическим риском территории. Однако этот показатель можно применить только для сравнительного анализа деградации рельефа отдельных территорий, так как он не является аддитивным, а область его определения не ясна.

Модель оценки и прогнозирования уровня экологической деградации почв антропогенно-нагруженных территорий военного полигона. В работе Базарского О.В. и Кочетовой Ж.Ю. [2021] развита энтропийная модель оценки геоэкологической ситуации при антропогенном воздействии на окружающую среду. Она основана на нелинейном рекуррентном соотношении Ферхюльста, описывающем процесс нарастания динамического хаоса в статистической системе [Компьютеры ..., 1988].

Модифицированное для описания состояний геоэкологической системы соотношение Ферхюльста принимает следующий вид:

$$P_{n+1} = S \times P_0 \times (1 - P_n); \quad 0 \leq n \leq \gamma, \quad (2)$$

где P_0 и P_{n+1} – устойчивость экологической системы при начальных условиях ее существования и после n итераций. Выходные параметры системы после очередной итерации являются входными для следующей, то есть γ – число итераций; S – управляющий параметр, определяющий уровень беспорядка геоэкологической системы за счет антропогенного воздействия.

Таким образом, S – это энтропия геоэкологической системы. Значения S принадлежат интервалу $(0, 4)$, а P – интервалу $(0, 1)$. При $P = 0$ система абсолютно устойчива, что соответствует фоновому состоянию экологической системы. При $P = 1$ состояние системы соответствует абсолютно неустойчивому, хаотическому, при этом энтропия $S \rightarrow 4$. Одна итерация $n = 1$ соответствует одному году наблюдений. Увеличение энтропии системы приводит к увеличению ее неустойчивости, зависящей от числа итераций n , то есть времени развития геоэкологической ситуации. На рис. 2 приведена бифуркационная диаграмма модели для $n = 50$, что достаточно для оценки реального «горизонта прогноза».

Первая точка перегиба на диаграмме возникает при $S = 0,88$, когда наблюдается переход от фонового состояния системы при $P = 0$ к квазиустойчивому динамическому состоянию до уровней $P = 0,1$ и $S = 1,1$. Это область экологической нормы, когда система может самовосстанавливаться.

Область $1,1 < S \leq 2,0$ при $0,1 < P \leq 0,5$ является областью экологического риска, когда можно установить надежные статистические связи между уровнем энтропии системы и степенью ее экологической устойчивости. $S = 2$ – вторая устойчивая точка, где наблюдается второй перегиб кривой, при этом нарастание неустойчивости системы замедляется, но система продолжает движение в сторону увеличения антропогенного беспорядка с общим снижением устойчивости.

Следующая область диаграммы – переходная область компенсируемого кризиса перед наступлением первой бифуркации и переходу к хаотическому состоянию системы при условиях $2 < S \leq 2,9$ и $0,5 < P \leq 0,65$. В этом случае еще возможен возврат системы в область экологического риска.

При $2,9 < S \leq 3,5$ возникает первая бифуркация, когда система самопроизвольно выбирает одно из двух направлений развития с увеличением или уменьшением ее устойчивости, при этом $0,5 \leq P \leq 0,9$. Это состояние динамического хаоса, когда наблюдается

необратимый процесс возрастания и потери устойчивости системы – область некомпенсируемого экологического кризиса с резким сужением «горизонта прогноза» развития геоэкологической ситуации.

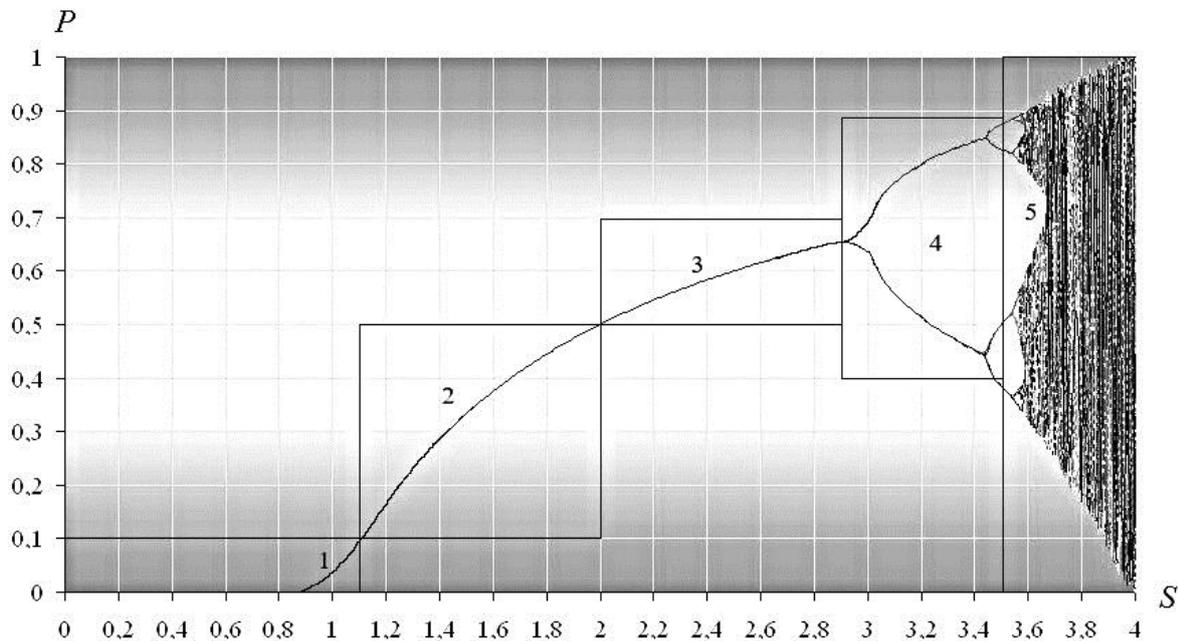


Рис. 2. Диаграмма неустойчивых состояний экологической системы P в зависимости от текущей энтропии S и времени наблюдений гамма [Составлено по Mathematics..., 1994]:
1 – фон (экологическая норма), 2 – экологический риск, 3 – компенсируемый кризис,
4 – некомпенсируемый кризис, 5 – бедствие

Fig. 2. Diagram of unstable states of the ecological system P depending on the current entropy S and the observation time gamma [Compiled by Mathematics..., 1994]: 1 – background (environmental norm), 2 – environmental risk, 3 – compensated crisis, 4 – uncompensated crisis, 5 – disaster

При $3,5 < S \leq 4$ возникает хаотическое состояние системы, когда прогноз ее развития невозможен из-за возникновения множества бифуркаций. Эта область называется областью абсолютного хаоса или экологического бедствия.

Представленная модель оценки неустойчивости геоэкологической системы не является аддитивной, в ней строго определены области возможного изменения энтропии и уровни устойчивости геоэкологической системы.

Чтобы энтропия была аддитивной величиной, необходимо перейти от числа состояний каждой градации K_i статистического распределения к логарифму их числа $\ln K_i$. Повторяемости состояний каждой градации определены в табл. 1–4. Тогда текущая энтропия каждого участка S_j рассчитывается по формуле

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_j} P_i \cdot \ln K_i; \quad j = 1, 2, 3. \quad (3)$$

Текущие уровни неустойчивости системы для каждого участка P_{0j} определялись путем подстановки текущей энтропии S_j в соотношение Ферхюльста или бифуркационную диаграмму. Результаты вычислений приведены в табл. 5.

Средняя энтропия первого и второго участков $S_{1,2} = (0,91 + 1,31) / 2 = 1,11$, что близко к энтропии полигона в целом ($S = 1,13$). Близки также величины экологической неустойчивости полигона $P = 0,12$ и этих участков $P_{1,2} = (0,02 + 0,24) / 2 = 0,13$.



Средняя энтропия полигона с учетом третьего участка $S_{1,2,3} = (0,91 + 1,31 + 1,62) / 3 = 1,2$ при неустойчивости $P_{1,2,3} = 0,21$ существенно отличается от соответствующих значений для полигона в целом. Этот результат вполне понятен, так как в физике, где энтропия – аддитивная величина, для различных макросистем справедливы распределения Максвелла и Больцмана, которые описывают чисто случайные процессы² [Иродов, 2015]. В геоэкологии законы распределения описывают квазидетерминированные процессы, когда в различных сочетаниях взаимодействуют случайные и детерминированные факторы. Поэтому аддитивность модели сохраняется, когда статистические законы для различных территорий идентичны.

Таблица 5
Table 5

Уровни неустойчивости экологического состояния полигона
Levels of instability of the ecological condition of the landfill

Параметр	Номер участка			Полигон
	1	2	3	
Текущая энтропия, S	0,91	1,31	1,62	1,13
Текущая неустойчивость системы, P	0,02	0,24	0,38	0,12
Экологический ранг системы	Норма	Риск	Риск	Риск

Прогноз развития геоэкологической ситуации на полигоне «Погоново». Текущая неустойчивость исследованных участков полигона бралась из табл. 5. Далее, по соотношению (2) рассчитывалась будущая неустойчивость каждого участка при различных уровнях энтропии. Результаты расчетов отображены на рис. 3.

Кривая 1 прогнозирует самовосстановление участка при прекращении деятельности полигона, когда текущая энтропия остается в ранге нормы, то есть $S_1 = 0,91$ при фоновом уровне неустойчивости, равном 0,02. За 30 лет экологическая неустойчивость участка снижается до уровня 0,005 и медленно стремится к нулю. Кривая 2 показывает, что при повышении интенсивности использования первого участка до уровня $S_2 = 1,31$ та же неустойчивость $P = 0,24$ будет достигнута за 35 лет. Соответственно, если интенсивность использования участка повысится до $S_3 = 1,61$, то уровень деградации, соответствующий третьему участку, будет достигнут через 15 лет (кривая 3).

Рис. 4 иллюстрирует прогнозируемое развитие экологической ситуации на втором и третьем участках полигона «Погоново».

Кривая 1 и 3 показывают, что если энтропию снизить до уровня нормы $S_1 = 0,91$, то устойчивость достигает фонового уровня $P_0 = 0,02$ за 23 года, и затем медленно снижается. Именно через столько лет этот участок будет готов к экономическому использованию.

До уровня деградации второго участка третий, при прекращении его использования, достигнет за 8 лет (кривая 4). Кривая 2 показывает, что увеличение неустойчивости второго участка до уровня третьего может произойти за 7 лет. Третий участок при той же интенсивности использования за 4 года приблизится к критическому уровню неустойчивости равному 0,48 (кривая 5).

Рисунок 5 иллюстрирует прогноз развития экологической ситуации для исследуемой части полигона в целом ($P_0 = 0,12$). При прекращении деятельности всего полигона снижение неустойчивости до приемлемого уровня 0,02 произойдет за 20 лет (кривая 1). Кривые 2 и 3 соответствуют возрастанию неустойчивости до уровня 0,24 при $S_2 = 1,31$ за 15 лет, а до 0,38 при $S_3 = 1,61$ за 9 лет. Закон распределения для полигона в целом показан на рис. 5. Он близок к законам распределения первого и второго исследуемых участков.

² Иродов И.Е. 2015. Физика макросистем. Основные законы. М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 210 с.

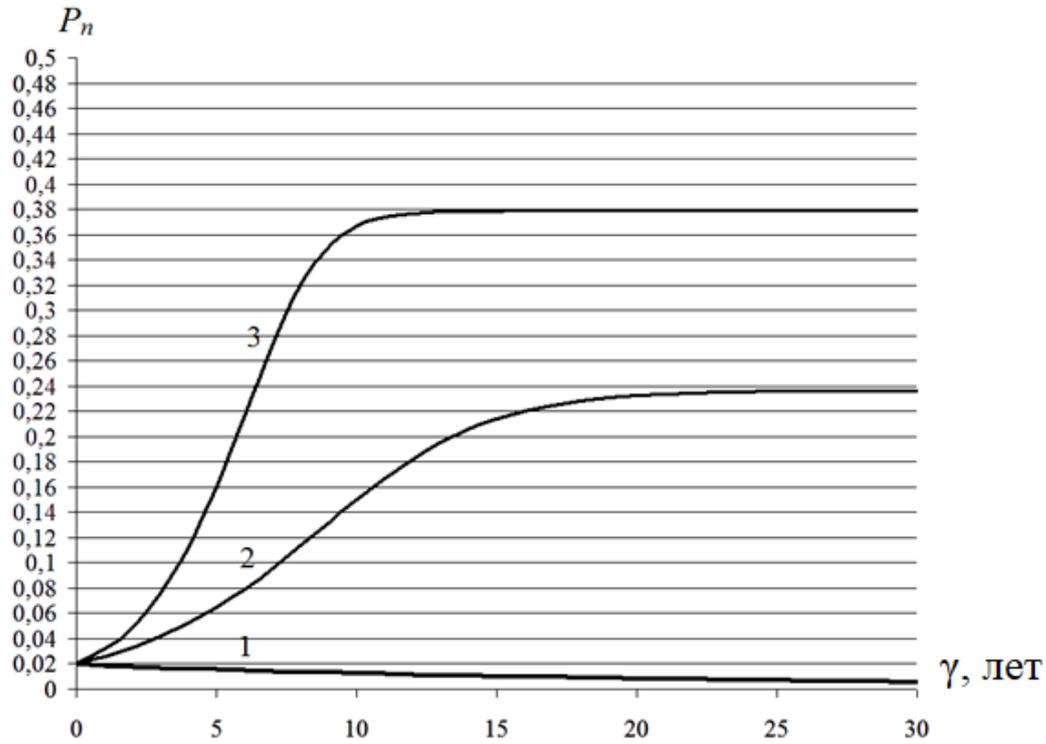


Рис. 3. Возможные пути развития 1–3 экологической ситуации на первом участке полигона «Погоново»
Fig. 3. Possible ways of development 1–3 of the ecological situation on the first site of the polygon «Pogonovo»

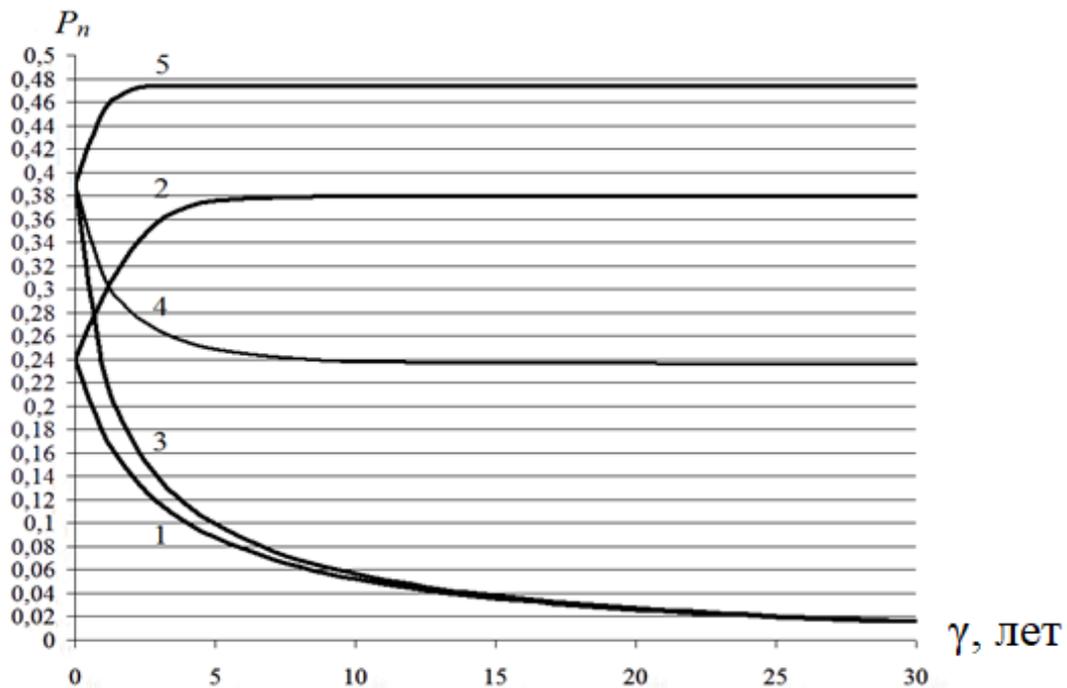


Рис. 4. Возможные пути развития 1–5 экологической ситуации на втором и третьем участках полигона «Погоново»
Fig. 4. Possible ways of development 1–5 of the ecological situation in the second and third sections of the «Pogonovo» landfill

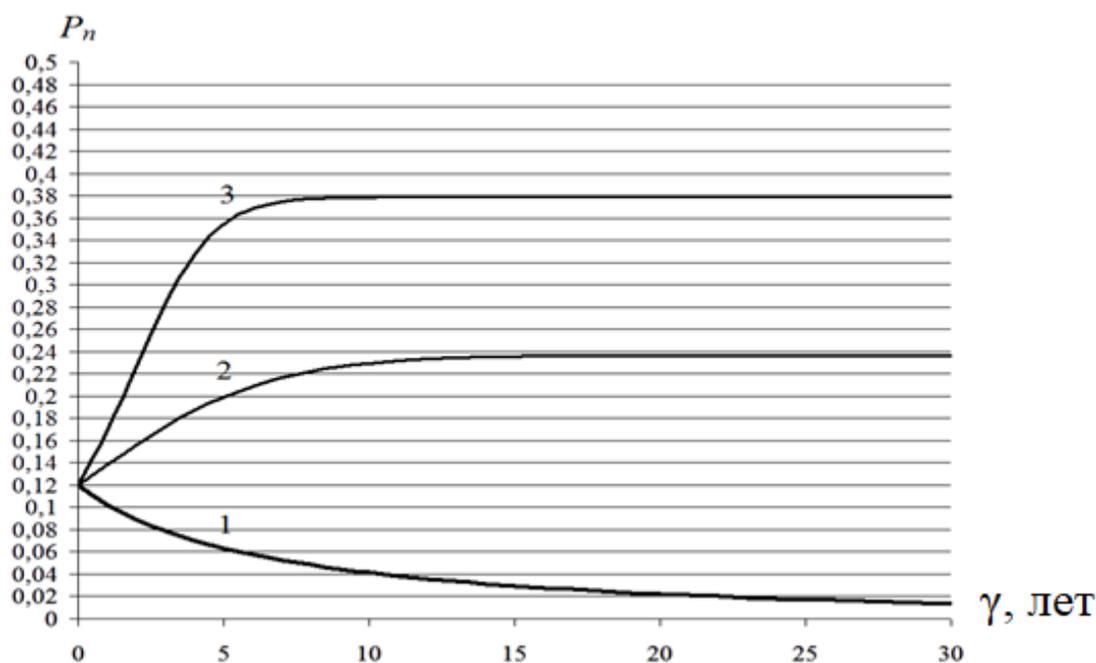


Рис. 5. Возможные пути развития экологической ситуации на всей исследуемой части полигона «Погоново»
Fig. 5. Possible ways of the development of the ecological situation in the entire studied part of the polygon "Pogonovo"

Заклучение

Построена геоэкологическая энтропийная модель оценки уровня экологической деградации территорий, подверженных антропогенному воздействию, протестированная на полигоне «Погоново». На базе построенной модели разработана методика оценки и прогнозирования деградации рельефа военных полигонов.

Поскольку законы распределения экологических величин не чисто случайные, а квазидетерминированные, когда в различных сочетаниях взаимодействуют случайные и детерминированные факторы, связанные с целенаправленной деятельностью человека, то аддитивное сложение энтропий различных подсистем возможно лишь в случае идентичных законов их распределения.

Методика прогнозирования развития экологической ситуации на полигоне «Погоново» показывает:

- экологическая ситуация находится в ранге «малый экологический риск», несущественно превышая верхнюю границу нормы;
- если прекратить использование полигона, то за 30 лет система восстанавливается до абсолютно устойчивого уровня 0,995, и тогда полигон будет готов к экономическому использованию. При интенсификации деятельности полигона до уровня среднего риска $S = 1,62$ уровень устойчивости снизится до 0,62 за 10 лет. Тогда без восстановительных мероприятий полигон не сможет экономически использоваться;
- верхняя граница устойчивости геоэкологической системы $P_0 = 0,5$ при $S = 2$, когда площадь воронок равна половине площади полигона; это состояние равновесия при прекращении антропогенного воздействия;
- если система находится в переходной области компенсируемого кризиса, то при прекращении деятельности полигона в ранг экологического риска с 50 % устойчивостью система самопроизвольно возвратится через 100 лет, а далее останется в равновесном состоянии;

– при возникновении хаотического состояния системы (бифуркации) происходит образование овражно-балочного рельефа, когда прогноз развития и самовосстановление системы невозможны.

Список литературы

- Базарский О.В., Кочетова Ж.Ю. 2021. Энтропия абиотических геосфер и модель для оценки и прогноза их состояния. Биосфера, 13 (1–2): 9–14. DOI: 10.24855/biosfera.v13i1.572.
- Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза. 2014. Под ред. В.Т. Трофимова. М., Академическая наука–Геомаркетинг, 566 с.
- Глушков Б.В. 2011. Геология отложений ледникового комплекса Донского ледникового языка. Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Геология, 2: 40–48.
- Забураева Х.Ш. 2012. Геоэкологические проблемы землепользования в Чеченской республике. Вестник КрасГАУ, 5 (68): 196–200.
- Зонн С.В., Зонн И.С. 2002. Экологические последствия военных операций в Чечне. Энергия: экономика, техника, экология, 6–7: 50–53.
- Иоффе А.И. 2013. Метод оценки неоднородности рельефа выделенной области. Исследование Земли из космоса, 3: 91–94. DOI: 10.7868/S0205961413020048.
- Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Бакланов И.О., Маслова Н.В. 2020. Влияние загрязнения почв объектов авиационной и космической деятельности на здоровье человека. Экология промышленного производства, 4 (112): 39–44.
- Кочетова Ж.Ю., Маслова Н.В., Базарский О.В. 2022. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. М., ИНФРА-М, 266 с. DOI: 10.12737/1544137.
- Компьютеры и нелинейные явления: Информатика и современное естествознание. 1988. Под ред. А.А. Самарского. М., Наука, 192 с.
- 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»). SCIENCEWISE, 7 (1): 18–23. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.47226.
- Кудельский А.В., Стародубова А.П., Феденя В.М., Бурак В.М. 1997. Экология территории бывших военных баз. Литосфера, 7: 153–166.
- Трофимов В.Т., Харьковина 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.
- Масленников А.А., Демидова С.А. 2018. Экспериментальная оценка токсического влияния тротила на микрофлору почвы. Токсикологический вестник, 6 (153): 34–38. DOI: 10.36946/0869-7922-2018-6-34-38.
- Сафронич И.Н., Колесникова С.И. 2011. Сейсмический эффект взрывов на полигоне «Погиново». В кн.: Современные методы обработки интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы, 15–19 августа 2011, Апатиты, Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»: 303–307.
- 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.
- Харькина М.А. 2004. Экологические последствия военных действий. Энергия: экономика, техника, экология, 7: 56–59.
- Хусаинова Р.З., Чуйков Ю.С. 2013. Проблемы экологической безопасности и безопасности персонала и населения при утилизации непригодных к использованию боеприпасов. Обзор. Астраханский вестник экологического образования, 2 (24): 156–169.
- Douglas T.A., Walsh M.E., McGrath K.J., Weiss K.A., Jaramillo A.M., Trainor T.P. 2010. Desorption of nitramine residues and nitroaromatic explosives from soils detonated under controlled conditions. Environmental Toxicology and Chemistry, 30 (2): 345–353. DOI: 10.1002/etc.383.
- Jenkins T.F., Hewitt A.D., Grant C.L., Thiboutot S., Ampleman G., Walsh M.E., Ranney T.A., Ramsey Ch.A., Palazzo A.J., Pennington J.C. 2006. Identity and distribution of residues of energetic



- compounds at army live-fire training ranges. *Chemosphere*, 63 (8): 1280–1290. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.09.066.
- Pennington J.C., Brannon J.M. 2002. The Ecological Fate of explosives. *Thermochimica Acta*, 384 (1–2): 163–172. DOI: 10.1016/S0040-6031(01)00801-2.
- Mathematics Differential and Integral Equations, Dynamical Systems and Control Theory, Mathematical Physics. Series: Cambridge Texts in Applied Mathematics. 1994. Cambridge University Press, 240 p. DOI: 10.1017/CBO9780511626296.

References

- Bazarskiy O.V., Kochetova Zh.Yu. 2021. Entropy of abiotic geospheres and a model for assessing and predicting their state. *Biosphere*, 13 (1–2): 9–14 (in Russian). DOI: 10.24855/biosfera.v13i1.572.
- Geologicheskoe prostranstvo kak ekologicheskij resurs i ego transformaciya pod vliyaniem tekhnogeneza [Geological space as an ecological resource and its transformation under the influence of technogenesis]. 2014. Ed. by V.T. Trofimov. Moscow, Publ. Akademicheskaya nauka–Geomarketing, 566 p.
- Glushkov B.V. 2011. The Geology of the Glacial Complex Deposits of the Don Glacial Tongue. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2: 40–48 (in Russian).
- Zaburaeva H.S. 2012. Geoecological problems of land use in the Chechen Republic. *Bulletin of KSAU*, 5:196-200. (in Russian)
- Zonn S.V., Zonn I.S. 2002. Ekologicheskie posledstviya voennyh operacij v Chechne [Environmental consequences of military operations in Chechnya]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 6–7: 50–53.
- Ioffe A.I. 2013. Method for Estimation of a Given Area Relief Roughness. *Earth Observation and Remote Sensing*, 3: 91–94 (in Russian). DOI:10.7868/S0205961413020048.
- Kochetova Zh.Yu., Bazarskiy O.V., Baklanov I.O., Maslova N.V. 2020. Impact of Priority Contaminants of Aviation and Space Activities on Human Health. *Industrial Ecology*, 4 (112): 39–44 (in Russian).
- Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Bazarskiy O.V. 2022. Aviacionno-raketnye klasteri i okruzhayushchaya sreda: monografiya [Aviation and missile clusters and the environment: monograph]. Moscow, Publ. INFRA-M, 266 p. DOI: 10.12737/1544137.
- Komp'yutery i nelinejnye yavleniya: Informatika i sovremennoe estestvoznaniye [Computers and nonlinear Phenomena: Computer Science and Modern Natural Science]. 1988. Ed. by A.A. Samarskogo. Moscow, Publ. Nauka, 192 p.
- Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya., Panait E.V., Andrievskaya E.A. 2015. Zinc and mercury in soils and plants of technogenically polluted territories (on the example of the Yavorovsky military training ground and the territory of the Radical plant). *SCIENCREISE*, 7 (1): 18–23 (in Russian). DOI: 10.15587/2313-8416.2015.47226.
- Kudelskiy A.V., Starodubova A.P., Fedenya V.M., Burak V.M. 1997. Ecology of the territory of former military bases. *Lithosfera*, 7: 153–166 (in Russian).
- Trofimov V.T., Kharkina M.A., Zhigalin A.D., Baraboshkina T.A. 2019. Technogenic transformation of ecological functions of abiotic spheres of the Earth under the influence of military activity. *Moscow University Geology Bulletin*, 1: 3–13 (in Russian).
- Maslennikov A.A., Demidova S.A. 2018. Experimental Assessment of Toxic Effects of Trotyl (Tnt) on Soil Microflora. *Toxicological Review*, 6 (153): 34–38 (in Russian). DOI: 10.36946/0869-7922-2018-6-34-38.
- Safronich I.N., Kolesnikova S.I. 2011. Seismicheskij effekt vzryvov na poligone «Pogonovo» [Seismic effect of explosions at the Pogonovo landfill]. In: *Sovremennyye metody obrabotki interpretatsii seismologicheskikh dannykh* [Modern methods for processing the interpretation of seismological data]. *Proceedings of the Six International Seismological School*, 15–19 August 2011, Apatity, Publ. Federal'nyj issledovatel'skij centr «Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossijskoj akademii nauk»: 303–307.
- Smurygin A.V., Bakin E.N., Aseev V.A. 2019. Osobennosti ekologicheskogo obespecheniya v Vooruzhennyh Silah Rossijskoj Federacii [Features of environmental support in the Armed Forces of the Russian Federation]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 1 (10): 393–395.



- Har'kina M.A. 2004. Ekologicheskie posledstviya voennyh dejstvij [Environmental consequences of military actions]. Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya, 7: 56–59.
- Husainova R.Z., Chujkov Yu.S. 2013. The Problems of Environmental Safety and Security of Personnel and the Public when Disposing of an Unserviceable Ammunition. Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya, 2 (24): 156–169 (in Russian).
- Douglas T.A., Walsh M.E., McGrath K.J., Weiss K.A., Jaramillo A.M., Trainor T.P. 2010. Desorption of nitramine residues and nitroaromatic explosives from soils detonated under controlled conditions. Environmental Toxicology and Chemistry, 30 (2): 345–353. DOI: 10.1002/etc.383.
- Jenkins T.F., Hewitt A.D., Grant C.L., Thiboutot S., Ampleman G., Walsh M.E., Ranney T.A., Ramsey Ch.A., Palazzo A.J., Pennington J.C. 2006. Identity and distribution of residues of energetic compounds at army live-fire training ranges. Chemosphere, 63 (8): 1280–1290. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.09.066.
- Pennington J.C., Brannon J.M. 2002. The Ecological Fate of explosives. Thermochimica Acta, 384 (1–2): 163–172. DOI: 10.1016/S0040-6031(01)00801-2.
- Mathematics Differential and Integral Equations, Dynamical Systems and Control Theory, Mathematical Physics. Series: Cambridge Texts in Applied Mathematics. 1994. Cambridge University Press, 240 p. DOI: 10.1017/CBO9780511626296.

*Поступила в редакцию 02.11.2021;
поступила после рецензирования 29.11.2021;
принята к публикации 17.12.2021*

*Received November 2, 2021;
Revised November 29, 2021;
Accepted December 17, 2021*

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

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

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Bazariskij, 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

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

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 502/504:631.41
DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142

Предложения по совершенствованию перечня характеристик почв при проведении инженерно-экологических изысканий

Волошенко И.В., Новых Л.Л., Новых Е.А.

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

Аннотация. В практике проведения инженерно-экологических изысканий в России применяется серия ГОСТ, регламентирующих использование почв для осуществления рекультивации нарушенных земель, которые существенно различаются по числу параметров, рекомендуемых к определению. В связи с этим целью исследования являлась разработка предложений по совершенствованию перечня определяемых параметров при проведении почвенных исследований в рамках инженерно-экологических изысканий. В результате анализа научной литературы и нормативных документов установлено, что среди физических свойств почвы общими индикаторами являются гранулометрический состав и степень каменистости, среди общих химических свойств – содержание гумуса и карбоната кальция, pH водного раствора. Отмечено использование в некоторых ГОСТ устаревших единиц массы вещества, рекомендованных для проведения почвенных исследований. Предложен унифицированный перечень параметров, определение которых должно быть обязательным при осуществлении почвенных исследований в рамках инженерно-экологических изысканий.

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания, почвенные индикаторы, гранулометрический состав, каменистость, гумус, pH, содержание карбонатов, подвижный фосфор, обменный калий

Для цитирования: Волошенко И.В., Новых Л.Л., Новых Е.А. 2022. Предложения по совершенствованию перечня характеристик почв при проведении инженерно-экологических изысканий. Региональные геосистемы, 46(1): 132–142. DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142

Proposals for improving the list of soil characteristics during engineering and environmental surveys

Irina V. Voloshenko, Larisa L. Novykh, Evgenia A. Novykh

Belgorod National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 3080015, Russia
E-mail: novykh@bsu.edu.ru

Abstract. In the practice of engineering and environmental surveys in Russia, a series of GOST are used that regulate the use of soils for the implementation of reclamation of disturbed lands, which differ significantly in the number of parameters recommended for determination. In this regard, the purpose of the study was to develop proposals for improving the list of parameters to be determined when conducting soil studies in the framework of engineering and environmental surveys. As a result of the analysis of scientific literature and regulatory documents, it was found that among the physical properties of the soil, the granulometric composition and the degree of stonyness are common indicators, among the general chemical properties - the content of humus and calcium carbonate, pH of the aqueous solution.

The use in some GOST of obsolete units of mass of a substance recommended for soil research is noted. A unified list of parameters is proposed, the determination of which should be mandatory in the implementation of soil research within the framework of engineering and environmental surveys.

Keywords: environmental engineering surveys, soil indicators, particle size distribution, rockiness, humus, pH, carbonate content, mobile phosphorus, exchangeable potassium

For citation: Voloshenko I.V., Novykh L.L., Novykh E.A. Proposals for improving the list of soil characteristics during engineering and environmental surveys. *Regional Geosystems*, 46(1): 132–142 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-132-142

Введение

Активное строительство, происходящее в России и включающее модернизацию и сооружение новых промышленных объектов, а также интенсивную гражданскую застройку, требует усиления внимания к инженерно-изыскательской деятельности. Проведение инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) в настоящее время весьма актуально для Белгородской и Курской областей вследствие активной модернизации предприятий горнодобывающей промышленности региона КМА.

В своих предыдущих работах [Новых, 2014; Новых и др., 2021] мы рассмотрели такие актуальные проблемы проведения почвенных исследований при инженерно-экологических изысканиях (ИЭИ), как классификация почв и индексация генетических горизонтов. Для определения классификационной принадлежности почв, изучаемых в ходе ИЭИ, степени их загрязнения и норм снятия плодородного слоя рассматривают ряд аналитических характеристик почв. Изучение свойств почвы – мероприятие затратное, поэтому стоит проблема его максимального удешевления, что требует оптимизации перечня определяемых параметров.

Проблема выбора и использования индикаторов деградации почв имеет важное значение и широко обсуждается в литературе [Zuber et al., 2017; Bünemann et al., 2018; Braidotti et al., 2021]. Индикаторы качества почвы представляют ценность для мониторинга и оценки экосистем. Сложность выбора почвенных индикаторов обусловлена, в первую очередь, большой изменчивостью типов почвы, климата и экосистем [Muñoz-Rojas, 2018].

В практике проведения ИЭИ номенклатура показателей пригодности почв для осуществления рекультивации приведена в ряде ГОСТ:

- ГОСТ 17.4.2.02-83. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания [2008];
- ГОСТ 17.4.2.03-86. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв [2008];
- ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель [2008].

Цель исследования заключалась в разработке предложений по совершенствованию перечня определяемых параметров при проведении почвенных исследований в рамках инженерно-экологических изысканий.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили названные выше нормативные документы, регулирующие проведение почвенных исследований в рамках ИЭИ. ГОСТ 17.4.2.02-83 «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания» [2008], включает в себя три раздела:

1. Показатели пригодности и характеризующие свойства;
2. Показатели для разных природных зон;



3. Термины, используемые в настоящем стандарте.
ГОСТ 17.4.2.03-86 «Охрана природы. Почвы. Паспорт почв» [2008] состоит из семи разделов:

1. Географическое положение почвы;
2. Физико-географические условия местности;
3. Хозяйственное использование местности;
4. Характеристика источников загрязнения и деградация почвы;
5. Характеристика почвы;
6. Характеристика почвенных горизонтов;
7. Санитарное состояние почвы.

ГОСТ 17.5.1.03-86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» [2008] включает четыре раздела:

1. Показатели химического и гранулометрического состава;
2. Пригодные: плодородный и потенциально плодородный слой;
3. Малопригодные: по физическим свойствам; по химическому составу; по физическим и химическим свойствам;
4. Непригодные: по физическим свойствам; по химическому составу.

Число показателей свойств почв, рекомендуемых к определению, составляет: для ГОСТ 17.4.2.02-83 – 25, ГОСТ 17.4.2.03-86 – 19 и ГОСТ 17.5.1.03-86 – 9.

Основными методами исследования являлись: изучение литературы и иных источников и сравнительный анализ.

Результаты и их обсуждение

Для сравнения названных ГОСТ в табл. 1–2 дан перечень свойств почвы, определение которых предусмотрено в каждом из документов.

Таблица 1
Table 1

Перечень физических свойств почв, предусмотренных к определению в разных ГОСТах
List of physical properties of soils provided for determination in different GOSTs

Показатели	Размерность единиц измерения		
	ГОСТ 17.4.2.03-86	ГОСТ 17.4.2.02-83	ГОСТ 17.5.1.03-86
1. Гранулометрический состав почвы, название	+	+	–
1.1. Сумма фракций менее 0,01 мм.	–	–	%
2. Степень каменистости	%	–	–
2.1. Сумма фракций размером более 300 мм	–	–	%
3. Объемная масса почвы,	г/см ³	г/см ³	–
4. Удельная масса	–	г/см ³	–
5. Общая пористость почвы	%	%	–
6. Влажность весовая	–	%	–
7. Влажность объемная	–	%	–
8. Полевая влагоемкость	%	%	–
9. Скорость инфильтрации (водопроницаемость)	мм/мин	мм/мин; мм/ч; мм/сут	–
10. Электропроводимость насыщенного водного раствора	мСм/см	–	–

Примечание: + определение параметра в данном ГОСТе предусмотрено, но результат приводится в виде качественного описания, без использования единиц измерения; – определение параметра не предусмотрено.

В литературе представлены разные варианты перечня показателей, рекомендуемых в качестве индикаторов физического состояния почв при осуществлении их оценки. Часто встречаются гранулометрический состав, плотность почвы, каменистость, структурность [Kirchmann Andersson, 2001; Берсенева, 2017; Muñoz-Rojas, 2018; Rannik, Kõlli, 2018; Orgiazzi et al., 2018; Зыбалов и др., 2020; Batjes et al., 2020; Braidotti et al., 2021]. Реже представлены липкость и пористость.

Таблица 2
Table 2

Перечень химических свойств почв, предусмотренных к определению в разных ГОСТах
The list of chemical properties of soils provided for determination in different GOSTs

Показатели	Размерность единиц измерения		
	ГОСТ 17.4.2.03-86	ГОСТ 17.4.2.02-83	ГОСТ 17.5.1.03-86
Общие химические свойства почвы			
1. Содержание гумуса	%	%	%
2. Содержание общего азота	%	%	–
3. Соотношение углерод : азот	б/р	–	–
4. pH солевой вытяжки	ед. pH	ед. pH	–
5. pH водного раствора	ед. pH	ед. pH	ед. pH
6. Содержание карбоната кальция (CaCO ₃)	%	%	% (опр. при pH >7)
7. Подвижные формы микроэлементов	–	мг/кг почвы	–
Катионообменные свойства почвы			
8. Емкость катионного обмена	мг-экв/100 г почвы	–	–
9. Насыщенность основаниями	%	%	–
10. Состав обменных катионов	ммоль/100 г почвы	мг экв/100 г почвы	–
11. Гидролитическая кислотность	–	мг экв/100 г почвы	–
12. Алюминий подвижный (определяется при pH < 6,5)	–	–	мг/100 г
13. Na (определяется при pH > 6,5)	–	–	% от емкости поглощения
14. Степень солонцеватости	–	%	–
Содержание основных элементов питания			
15. Содержание подвижного фосфора	мг/100 г почвы	мг P ₂ O ₅ /кг почвы	–
16. Содержание подвижного калия	мг/100 г почвы	–	–
17. Азот доступный и легкогидролизуемый	–	мг N/кг почвы	–
18. Фосфор валовой	–	%	–
19. Калий валовой	–	%	–
20. Калий обменный	–	мг K ₂ O/кг почвы	–
Степень и характер засоления почвы			
21. Состав и общее содержание солей в водной вытяжке	г/л		–
22. Гипс в солянокислой вытяжке	–	%	%
23. Водорастворимые токсичные соли	–	мг экв/100 г почвы, %	–
24. Сухой остаток	–	–	%

Примечание: – определение параметра не предусмотрено; б/р – безразмерная величина.



Среди оценочных показателей, отражающих химическое состояние почв, часто встречаются содержание гумуса, pH, агрохимические критерии (NPK), емкость катионного обмена, состав обменных катионов [Берсенева, 2017; Zuber et al., 2017; Muñoz-Rojas, 2018; Rannik, Kõlli, 2018; Bünemann et al., 2018; Orgiazzi et al., 2018; Дымова и др., 2019; Mahajan et al., 2019; Batjes et al., 2020; Макарова, Фоменко, 2021; Braidotti et al., 2021; Kyrylchuk et al., 2021]. При изучении загрязнения почвы рекомендуется определение микроэлементов, перечень которых зависит от источника загрязнения. Это могут быть как микроэлементы Cu, Zn, Mn, B, играющие важную роль в питании растений [Kirchmann, Andersson, 2001; Дымова и др., 2019; Braidotti et al., 2021], так и более широкий список других микроэлементов и тяжелых металлов [Зыбалов, 2020].

Оценка категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии ИЭИ, а также существующие противоречия в законодательстве были проанализированы К.О. Кунаковым [2017]. Такая проблема особенно актуальна при разработке проектной документации объектов капитального строительства на территории городов, промышленных предприятий, участков геохимических аномалий, сельскохозяйственных угодьях. Стандартный перечень определяемых параметров в почве для России установлен СП 47.13330.2012 [2013] и СанПиН 2.1.7.1287-03 [2007]. Он включает тяжелые металлы, нефтепродукты и бенз(а)пирен. Как отмечает автор, на сегодняшний день в Российской Федерации отсутствуют гигиенические нормативы допустимого уровня содержания тяжелых металлов в почве по всем показателям вредности, что не позволяет провести полную оценку качества почвы. В связи с этим мы ограничились рассмотрением только макроэлементов.

Во всех трех анализируемых ГОСТах предусматривается определение пяти показателей: гранулометрического состава почвы, степени ее каменистости, содержания гумуса, pH водного раствора и содержания карбонатов.

В то же время в Законе Белгородской области «Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области» [2020] в качестве показателей плодородия почв, подлежащих нормированию, называются содержание органического вещества в пахотном горизонте, кислотность в кислых почвах и щелочность в щелочных почвах, содержание подвижного фосфора и обменного калия. Этот перечень показателей плодородия почв не является уникальным, предназначенным только для Белгородской области. Он применяется при оценке состояния почв сельскохозяйственных угодий при анализе агрохимических показателей [Гогмачадзе, 2010].

Согласно существующим представлениям [Tagiverdiev et al., 2017], гранулометрический состав и состояние гумуса образуют почвенную матрицу, которая прямо или косвенно влияет на все свойства почвы. Следовательно, эти два параметра являются важными для любого исследования почвы. При оценке свойств почв при мониторинге земель И.В. Замотаев и др. [Замотаев и др., 2018] рассматривают такие показатели, как гумус, гранулометрический состав (содержание илистой фракции и физической глины), pH водной суспензии, равновесную плотность, твердость и коэффициент дисперсности.

Среди физических свойств почвы общими показателями являются гранулометрический состав и степень каменистости. Гранулометрический состав влияет на важнейшие свойства почвы. Стандартный «пипет-метод» для его определения является очень трудоемким, поэтому все чаще его заменяют методом лазерной дифракции. Важной проблемой определения гранулометрического состава, по мнению Е.В. Шеина с соавторами, является расхождение результатов этих методов. Однако, многочисленные данные «позволяют сделать оптимистичный вывод о том, что для общеклассификационных целей оба метода дают близкие результаты, а вот для подробного гранулометрического пофракционного анализа следует учитывать, что лазерный дифрактометр

дает заметно пониженное содержание во фракции ила» [Шейн и др., 2016]. Степень каменистости определяет критерии снятия плодородного слоя: если почва сильнокаменистая и/или сильнощебнистая, норму снятия плодородного слоя почвы не устанавливают [Кунаков, 2017].

Среди общих химических свойств почвы названы содержание гумуса, рН водного раствора, содержание карбоната кальция. Гумус имеет большое значение для плодородия почвы, при этом важны как количество накапливающегося в почве гумуса, так и его качество [Долгополова, 2019]. В современных работах встречается термин «почвенное органическое вещество» и указывается, что раньше его называли гумус [Семенов, Когут, 2015], однако не все авторы разделяют это мнение, так как термин «гумус» по-прежнему встречается в литературе. Содержание гумуса в почве играет важнейшую роль в ИЭИ, так как оно определяет, согласно ГОСТ 17.5.3.06-85 [2008], целесообразность снятия плодородного и потенциально плодородного слоев почвы.

рН водного раствора целесообразно рассмотреть совместно с рН солевой вытяжки. Эти показатели характеризуют кислотность актуальную и потенциальную. Требования к оценке плодородия почв по их кислотности представляет определенную проблему. В частности, отмечается, что «для всех перечисленных в стандарте подтипов почв необходимо определять рН водной вытяжки, кроме дерново-подзолистых, для которых следует определять рН солевой вытяжки» [Булышева, Жигульский, 2018]. С научной точки зрения такое разделение неверно, т.к. эти показатели определяют разные типы кислотности.

рН водной вытяжки – величина динамичная, изменяющаяся под действием разных факторов, поэтому ее определение необходимо проводить во всех почвах. В то же время рН солевой вытяжки требуется проводить только у тех почв, которые проявляют кислотные свойства, т.е. у них рН водной вытяжки меньше 7. У почв с нейтральной или щелочной реакцией среды понятие наличия кислотности теряет смысл.

Определение содержания карбоната кальция требуют все рассматриваемые ГОСТы, но с уточнением, что для биологической рекультивации он определяется лишь при $\text{pH} > 7$, т.е. в щелочной среде. Этот параметр используется в диагностических критериях в классификациях почв. В кислой среде карбонаты растворяются, поэтому есть смысл заниматься определением карбонатов только в нейтральной и щелочной среде.

Среди показателей, отражающих содержание основных элементов питания, в анализируемых ГОСТах встречаются содержание подвижного фосфора и подвижного или обменного калия. Обращает на себя внимание использование в ГОСТах для некоторых параметров разных единиц измерения (см. табл. 2). Так, состав обменных катионов в паспорте почв выражается в ммоль/100 г почвы, а в ГОСТе по землеванию – мг экв/100 г почвы; гидролитическая кислотность – в мг экв/100 г почвы в ГОСТе по землеванию, в то время как содержание подвижного алюминия – в мг/100 г почвы в ГОСТе по биологической рекультивации.

Анализ единиц массы и количества вещества, используемых в почвоведении, был дан Л.А. Воробьевой [2010]. Она отмечает, что до введения системы СИ, которое произошло в 1960 году, при оценке эквивалентных соотношений веществ в мировом почвоведении использовались не единицы количества вещества эквивалентов, а единицы массы (грамм- и миллиграмм-эквивалент). Единицей количества вещества эквивалентов в системе СИ является моль. В настоящее время использование таких единиц массы как г-экв и мг-экв не допускается. Однако в приведенных ГОСТах по-прежнему встречаются устаревшие единицы массы вещества и с этих позиций ГОСТы не обновлялись.



Заключение

В ГОСТах 17.4.2.02-83, 17.4.2.03-86 и 17.5.1.03-86 приводится перечень свойств почвы, определяемых при проведении ИЭИ. Общее число таких параметров составляет 36, изменяясь от 9 в ГОСТе по биологической рекультивации земель до 25 в ГОСТе, определяющем условия использования почвенного слоя для землеваяния. Общими показателями, представленными в названных ГОСТах, являются: гранулометрический состав почвы, степень ее каменистости, содержание гумуса, рН водного раствора и содержание карбонатов. Перечисленные параметры, безусловно, должны определяться при проведении ИЭИ. Вместе с тем, обязательный перечень необходимо дополнить показателями, отражающими содержание основных элементов питания (подвижный фосфор и обменный калий).

Анализ содержания паспорта почвы показывает, что ряд параметров – объемная масса почвы, общая пористость почвы, полевая влагоемкость, водопроницаемость, содержание общего азота, соотношение «углерод : азот» – не используются для классификации изучаемых почв и оценки степени их деградации. В связи с этим перечисленные параметры рекомендуется исключить из определения при проведении ИЭИ. Необходимо обновление ГОСТов 17.4.2.02-83, 17.4.2.03-86 с целью устранения устаревших единиц измерения, используемых при анализе почвы.

Список источников

- ГОСТ 17.4.2.02-83. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землеваяния. 2008. М., Стандартинформ, 4 с.
- ГОСТ 17.4.3.02-85. Охрана природы. Почвы. Требование к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. 2008. М., Стандартинформ, 4 с.
- ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. 2008. М., Стандартинформ, 6 с.
- ГОСТ 17.4.2.03-86. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв. 2008. М., Стандартинформ, 4 с.
- Об обеспечении плодородия земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области: Закон Белгородской области от 10.06.2020 № 488. Электронный ресурс. URL: <https://belregion.ru/upload/iblock/026/488.pdf> (дата обращения: 25.11.2021).
- СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 11-02-96). 2013. М., Минрегион России, 111 с.
- СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. 2007. Электронный ресурс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42140/ (дата обращения: 26.11.2021).

Список литературы

- Берсенева О.А. 2017. Изучение агрохимических и агроэкологических показателей почв сельскохозяйственного назначения с целью мониторинга их загрязнения выбросами металлургических производств. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 28 (4): 52–59. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-4-52-59.
- Булышева А.М., Жигульский В.А. 2018. Определение норм снятия плодородного слоя почвы и проблемы нормативных технических документов. В кн.: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы докладов 14-ой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, 11–14 декабря 2018, Москва, Изд-во Геомаркетинг: 162–165.
- Воробьева Л.А. 2010. Об использовании единиц массы и количества вещества в почвоведении. Почвоведение, 3: 383–384.
- Гогмачадзе Г.Д. 2010. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации. М., Изд-во Московского университета, 592 с.

- Долгополова Н.В. 2019. Плодородие почвы, как природный вещественно-энергетический поток в севооборотах агроландшафта. Региональный вестник, 3: 40–42.
- Дымова Л.В., Самсонова И.Г., Соколова О.В., Крылов Л.Ю. 2019. Мониторинг плодородия почв на юго-востоке Алтайского края. Достижения науки и техники АПК, 33 (4): 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10411.
- Замотаев И.В., Белобров В.П., Юдин С.А., Белоброва Д.В. 2018. Оценка почвенных свойств при мониторинге земель на регионально-локальном уровне. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (2): 172–180. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-172-180.
- Зыбалов В.С., Сергеев Н.С., Запевалов М.В. 2020. Результаты мониторинга залежных земель в лесостепной зоне южного Урала. АПК России, 27 (1): 30–37.
- Кунаков К.О. 2017. Противоречия в законодательстве и оценка категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии инженерно-экологических изысканий. Вестник государственной экспертизы, 3: 96–99.
- Макарова А.А., Фоменко Т.Г. 2021. К вопросу разработки биологизированных способов сохранения плодородия почв в интенсивных насаждениях яблони. Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, 33: 51–58. DOI 10.30679/2587-9847-2021-33-51-58.
- Новых Е.А., Волошенко И.В., Новых Л.Л. 2021. Проблемы инженерно-экологических изысканий: почвенные аспекты. Региональные геосистемы, 45 (2): 246–257. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-246-257.
- Новых Л.Л. 2014. Современные проблемы почвенных исследований при проведении инженерно-экологических изысканий. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки, 19 (5): 1446–1449.
- Семенов В.М., Когут Б.М. 2015. Почвенное органическое вещество. М., Изд-во ГЕОС, 233 с.
- Шейн Е.В., Милановский Е.Ю., Скворцова Е.Б., Хайдапова Д.Д., Тюгай З.Н., Початкова Т.Н., Дембовецкий А.В., Шнырев Н.А., Николаева Е.И., Юдина А.А., Романенко К.А., Быкова Г.С., Ключева В.В., Белик А.А. 2016. Современные приборы и методы исследования физических свойств почвы. В кн.: Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны. Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием научной конференции, 15–22 августа 2016, Белгород, Издательский дом «Белгород»: 391–392.
- Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A. 2020. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). Earth System Science, 12 (1): 299–320. DOI: 10.5194/essd-12-299-2020.
- Braidotti G., De Nobili M., Piani L. 2021. Integrated Use of Local and Technical Soil Quality Indicators and Participatory Techniques to Select Them. A Review of Bibliography and Analysis of Research Strategies and Outcomes. Sustainability, 13 (1): 87. DOI: 10.3390/su13010087.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., Groenigen J.W., Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120: 105–125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
- Kirchmann H., Andersson R. 2001. The Swedish system for quality assessment of agricultural soils. Environmental monitoring and assessment, 72: 129–139. DOI: 10.1023/A:1012048124858.
- Kyrylchuk A., Pankiv Z., Demchyshyn A. 2021. Ecological and Agrochemical Condition of Soils of L'viv Region of Ukraine as a Basis of Their Investment Attractiveness. European Journal of Science and Technology, 28: 837–842. DOI: 10.31590/ejosat.1011396.
- Mahajan N.C., Kancheti Mrunalini K.S., Krishna Prasad R.K., Lingutla Sirisha. 2019. Soil Quality Indicators, Building Soil Organic Matter and Microbial Derived Inputs to Soil Organic Matter under Conservation Agriculture Ecosystem: A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8(02): 1859–1879. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.802.218.



- Muñoz-Rojas M. 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5: 47–52. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.04.007.
- Orgiazzi A., Ballabio C., Panagos P., Jones A., Fernández-Ugalde O. 2018. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*, 69 (1): 140–153. DOI: 10.1111/ejss.12499.
- Rannik K., Kõlli R. 2018. Evaluation of the pedodiversity, agronomical quality and environment protection ability of the soil cover of Estonian croplands. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 67 (3): 205–222. DOI: 10.3176/earth.2018.15.
- Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Kotik M.V. 2017. Transformation of chernozem physical properties under urbope-dogenesis conditions. In: *Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services. Materials 9th international congress Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas Russia. Moscow, 22–26 May 2017*: 456–458.
- Zuber S.M., Behnke G.D., Nafziger E.D., Villamil M.B. 2017. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. *Soil and Tillage Research*, 174: 147–155. DOI: 10.1016/j.still.2017.07.007.

References

- Berseneva O.A. 2017. Study of Agroecological and Agrochemical Indicators of Agricultural Soils for the Purpose of Monitoring Their Pollution by Emissions from Metallurgical Industries. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, 28 (4): 52–59 (in Russian). DOI: 10.21513/0207-2564-2017-4-52-59.
- Bulysheva A.M., Zhigul'skij V.A. 2018. Opredelenie norm snjatija plodorodnogo sloja pochvy i problemy normativnyh tehnikeskikh dokumentov [Determination of the norms for the removal of the fertile soil layer and the problems of regulatory technical documents]. In: *Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii* [Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation]. Proceedings of the 14th All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Survey Organizations, 11–14 December 2018, Moscow, Publ. Geomarketing: 162–165.
- Vorob'eva L.A. 2010. Use of Mass (Weight) and Amount Units in Soil Science. *Eurasian Soil Science*, 3: 354–355 (in Russian). DOI: 10.1134/S1064229310030154.
- Gogmachadze G.D. 2010. Agrojekologicheskij monitoring pochv i zemel'nyh resursov Rossijskoj Federacii [Agroecological monitoring of soils and land resources of the Russian Federation]. Moscow, Publ. Moskovskogo universitetata, 592 p.
- Dolgopolova N.V. 2019. Plodorodiye pochvy, kak prirodnyy veshchestvenno-energeticheskij potok v sevooborotakh agrolandshafta [Soil fertility as a natural material and energy flow in crop rotations of the agricultural landscape]. *Regionalnyy vestnik*, 3: 40–42.
- Dymova L.V., Samsonova I.G., Sokolova O.V., Krylov L.Yu. 2019. Soil Fertility Monitoring in the Southeast of the Altai Krai. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 33 (4): 46–49 (in Russian). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10411.
- Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Yudin S.A., Belobrova D.V. 2018. Assessment of Soil Properties in Monitoring Land at regional-local Level. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*, 42 (2): 172–180 (in Russian). DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-172-180.
- Zybalov V.S., Sergeev N.S., Zapevalov M.V. 2020. The Results of Monitoring Fallow Lands in the Forest-Steppe Zone of the Southern Urals. *Agro-industrial complex of Russia*, 27 (1): 30–37 (in Russian).
- Kunakov K.O. 2017. Contradictions in legislation and assessment of categories of soil pollution by heavy metals at the stage of engineering and environmental surveys. *Bulletin of State Expertise*, 3: 96–99 (in Russian).
- Makarova A.A., Fomenko T.G. 2021. Development of Biological Methods of Maintaining Soil Fertility in Intensive Orchards of Apple Trees. *Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 33: 51–58 (in Russian). DOI 10.30679/2587-9847-2021-33-51-58.

- Novykh E.A., Voloshenko I.V., Novykh L.L. 2021. Features of engineering and geological surveys: soil aspects. *Regional Geosystems*, 45 (2): 246–257 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-246-257.
- Novykh L.L. 2014. Modern Problems of Soil Research at Carrying Out of Engineering-Ecological Survey. *Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences*, 19 (5): 1446–1449 (in Russian).
- Semenov V.M., Kogut B.M. 2015. *Soil Organic Matter*. Moscow, Publ. GEOS, 233 p. (in Russian).
- Shein E.V., Milanovskij E.Ju., Skvorcova E.B., Hajdapova D.D., Tjugaj Z.N., Pochatkova T.N., Demboveckij A.V., Shnyrev N.A., Nikolaeva E.I., Judina A.A., Romanenko K.A., Bykova G.S., Kljueva V.V., Belik A.A. 2016. *Sovremennye pribory i metody issledovanija fizicheskikh svojstv pochvy [Modern instruments and methods for studying the physical properties of soil]*. In: *Pochvovedenie – prodovol'stvennoj i jekologicheskoj bezopasnosti strany [Soil science - food and environmental security of the country]*. Abstracts of the VII Congress of the Society of Soil Scientists. V.V. Dokuchaev and the All-Russian scientific conference with foreign participation, 15–22 August 2016, Belgorod, Publ. «Belgorod»: 391–392.
- Batjes N.H., Ribeiro E., van Oostrum A. 2020. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). *Earth System Science*, 12 (1): 299–320. DOI: 10.5194/essd-12-299-2020.
- Braidotti G., De Nobili M., Piani L. 2021. Integrated Use of Local and Technical Soil Quality Indicators and Participatory Techniques to Select Them. A Review of Bibliography and Analysis of Research Strategies and Outcomes. *Sustainability*, 13 (1): 87. DOI: 10.3390/su13010087.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., Groenigen J.W., Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120: 105–125. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
- Kirchmann H., Andersson R. 2001. The Swedish system for quality assessment of agricultural soils. *Environmental monitoring and assessment*, 72: 129–139. DOI: 10.1023/A:1012048124858.
- Kyrylchuk A., Pankiv Z., Demchyshyn A. 2021. Ecological and Agrochemical Condition of Soils of L'viv Region of Ukraine as a Basis of Their Investment Attractiveness. *European Journal of Science and Technology*, 28: 837–842. DOI: 10.31590/ejosat.1011396.
- Mahajan N.C., Kancheti Mrunalini K.S., Krishna Prasad R.K., Lingutla Sirisha. 2019. Soil Quality Indicators, Building Soil Organic Matter and Microbial Derived Inputs to Soil Organic Matter under Conservation Agriculture Ecosystem: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(02): 1859–1879. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.802.218.
- Muñoz-Rojas M. 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5: 47–52. DOI: 10.1016/j.coesh.2018.04.007.
- Orgiazzi A., Ballabio C., Panagos P., Jones A., Fernández-Ugalde O. 2018. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science*, 69 (1): 140–153. DOI: 10.1111/ejss.12499.
- Rannik K., Kölli R. 2018. Evaluation of the pedodiversity, agronomical quality and environment protection ability of the soil cover of Estonian croplands. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 67 (3): 205–222. DOI: 10.3176/earth.2018.15.
- Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Kotik M.V. 2017. Transformation of chernozem physical properties under urbope-dogenesis conditions. In: *Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services*. Materials 9th international congress Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas Russia. Moscow, 22–26 May 2017: 456–458.
- Zuber S.M., Behnke G.D., Nafziger E.D., Villamil M.B. 2017. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. *Soil and Tillage Research*, 174: 147–155. DOI: 10.1016/j.still.2017.07.007.

*Поступила в редакцию 14.12.2021;
поступила после рецензирования 13.01.2022;
принята к публикации 15.02.2022*

*Received December 14, 2021;
Revised January 13, 2022;
Accepted February 15, 2022*



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волошенко Ирина Викторовна, старший преподаватель кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Новых Лариса Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

Новых Евгения Александровна, аспирант кафедры географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina V. Voloshenko, Senior Lecturer of Department of Geography, Geoecology and Life Safety of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Larisa L. Novykh, Candidate of Sciences in Biology, Associate Professor of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of the Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Evgenia A. Novykh, Post-graduate student of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of Institute of Earth Sciences of the Belgorod National Research University, Belgorod, Russia