

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758
DOI: 10.37493/2308-4758.0



Выпуск № 2, 2024 г.

Выходит 4 раза в год

	«Наука. Инновации. Технологии» (Nauka. Innovatsii. Tekhnologii) Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета
Учредитель	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
Главный редактор:	Белозеров В. С., д-р геогр. наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия)
Заместитель главного редактора:	Щитова Н. А., д-р геогр. наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия)
Международный редакционный совет:	Абшаев М. Т., д-р физ.-мат. наук, профессор (Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия); Воробьева О. Д., д-р экон. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва, Россия); Гасумов В. А., д-р техн. наук, профессор (Азербайджанский технический университет, г. Баку, Россия); Герасименко Т. И., д-р геогр. наук, профессор (Оренбургский гос. университет, г. Оренбург, Россия); Диневич Л. А., д-р физ.-мат. наук, профессор (Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль); Жакин А. И., д-р физ.-мат. наук, профессор (Юго-Западный гос. университет, г. Курск, Россия); Зырянов А. И., д-р геогр. наук, профессор (Пермский государственный университет, г. Пермь, Россия); Ибрагимов А. И., д-р геогр. наук, профессор (Эгейский университет, Турция, г. Измир, Турция), Коляда А. А., д-р физ.-мат. наук, доцент (Белорусский гос. университет, г. Минск, Республика Беларусь); Лиховид А. А., д-р геогр. наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия); Молодикова И. Н., канд. геогр. наук, директор программы (Центрально-Европейский университет, г. Будапешт, Венгрия); Нефедова Т. Г., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва, Россия); Панин А. Н., канд. геогр. н., доц. (Московский государственный университет, г. Москва, Россия); Рязанцев С. В., член-корреспондент РАН, д. экон. наук, профессор (Институт социально-политических исследований РАН, г. Москва, Россия); Тикунов В. С., д-р геогр. наук, профессор (Московский государственный университет, г. Москва, Россия); Хани А. А. К., канд. техн. наук, профессор (Иорданский университет науки и технологии, г. Ирбид, Иордания)
Ученый секретарь:	Соловьев И. А., канд. геогр. наук, доцент (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия)
Свидетельство о регистрации	Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре (ПИ № ФС77–52723 от 8.02.2013)
Подписной индекс	Объединённый каталог. ПРЕССА РОССИИ. Газеты и журналы: 94011
Журнал	включен в БД «Российский индекс научного цитирования», перечень ВАК. Журнал «Вестник Ставропольского государственного университета» перерегистрирован в журнал «Наука. Инновации. Технологии» в связи с переименованием учредителя
ISSN	2308-4758
DOI	https://doi.org/10.37493/2308-4758.0

	«Наука. Инновации. Технологии» (Nauka. Innovatsii. Tekhnologii) Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета
Редакционная коллегия:	Бадов А. Д., д-р геогр. наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ), г. Ставрополь, Россия); Бекетов С. Б., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Белозеров В. С., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Беляев Н. Г., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Гасумов Р. А., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Губарева Л. И., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Джандарова Т. И., д-р биол. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Диканский Ю. И., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Ерин К. В., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Закинян А. Р., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Закинян Р. Г., д-р физ.-мат. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Керимов А. Г., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Котти Б. К., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Лукьянов В. Т., д-р техн. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Лысенко А. В., д-р геогр. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Мишвелов Е. Г., д-р биол. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Полян П. М., д-р геогр. наук, вед. науч. сотрудник РАН (ИГ РАН, г. Москва, Россия); Разумов В. В., д-р геогр. наук, профессор (главный научный сотрудник ОАО «Российские космические системы», г. Москва, Россия); Соловьев И. А., канд. геогр. н., доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Тимченко Л. Д., д-р ветеринар. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Толпаев В. А., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Федорова Н. Г., д-р техн. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Харченко В. М., д-р геол.-минерал. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Шальнев В. А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Щитова Н. А., д-р геогр. наук, профессор (СКФУ, г. Ставрополь, Россия)
Типография	Издательско-полиграфический комплекс ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 355029, Россия, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.
Тираж	1 000 экз. Цена 534 руб.
Периодичность	4 выпуска в год
Журнал	«Наука. Инновации. Технологии» образован в 2012 году в результате перерегистрации журнала «Вестник Ставропольского государственного университета» в связи с переименованием учредителя. Дата выхода первого номера: 25.02.2013
Дата выхода	текущего номера: 27.06.2024
Материалы журнала	открытого доступа в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License, которая разрешает их использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии правильного цитирования оригинальной работы.
Авторское право	на оригинал-макет и оформление принадлежит журналу, авторское право на статьи – авторам.
Адрес редакции Адрес издательства	355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 Издательство Северо-Кавказского федерального университета, 355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Телефон Сайт E-mail	(8652) 33-07-32 https://scienceit.elpub.ru/jour nit_ncfu@mail.ru
© ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2024	

	«Science. Innovations. Technologies» North-Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "North-Caucasus Federal University"
Chief Editor:	Vitaliy S. Belozеров, Dr. Sci. (Geogr.), Prof. (North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia)
Deputy Chief Editor:	Natalia A. Shchitova, Dr. Sci. (Geogr.), Prof. (North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia)
International Editorial Board:	Magomet T. Abshaev, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia); Olga D. Vorobieva, Dr. Sci. (Econ.), Professor (Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia); Vagif A. Gasumov, Dr. Sci. (Tech.), Professor (Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan); Tatiana I. Gerasimenko, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (Orenburg State University, Orenburg, Russia); Leonid A. Dinevich, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel); Anatolii I. Zhakin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (South-West State University, Kursk, Russia); Aleksandr I. Zyryanov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (Perm State University, Perm, Russia); Aydin I. Ibragimov., Dr. Sci. (Geogr.), Professor (Aegean University, Izmir, Turkey); Andrey A. Kolyada, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor (Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus); Andrei A. Likhovid, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia); Irina N. Molodikova, Cand. Sci. (Geogr.), Director of the program (Central European University, Budapest, Hungary); Tatyana G. Nefedova, Dr. Sci. (Geogr.), Leading Scientific Researcher (Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); Aleksander N. Panin, PhD of Geographical Sciences, Associate Professor (Moscow State University, Moscow, Russia); Sergey V. Ryazantsev, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), Professor (Institute of Social and Political Research of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); Vladimir S. Tikunov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (Moscow State University, Moscow, Russia); Abu A. K. Hani, Cand. Sci. (Tech.), Professor (Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan)
Scientific Secretary:	PhD of Geographical Sciences, Associate Professor Ivan A. Soloviev (Caucasus Federal University, Stavropol, Russia)
Certificate	The journal is registered by the Federal service for supervision of communications, information technology, and mass media (Roskomnadzor). Registration certificate PI No FS77–52723 of 8.02.2013.
The Index	The Journal is included in the DB "Russian index of the scientist quoting" The journal "Bulletin of the Stavropol state University" renamed in the journal "Science. Innovations. Technologies» due to renaming of the founder
ISSN	2308-4758
DOI	https://doi.org/10.37493/2308-4758.0
The editorial office address	1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russia
Publisher's address	Publishing house of the North-Caucasus Federal University, 1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russia
Ph. Website E-mail	(8652) 33-07-32 https://scienceit.elpub.ru/jour nit_ncfu@mail.ru

	«Science. Innovations. Technologies» North-Caucasus Federal University
Editorial team:	Alexander D. Badov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (North-Caucasus Federal University (NCFU), Stavropol, Russia); Sergey B. Beketov, Dr. Sci. (Tech.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Vitaliy S. Belozerov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor ((NCFU), Stavropol, Russia); Nikolay G. Belyaev, Dr. Sci. (Biol.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Ramiz A. Gasumov, Dr. Sci. (Tech.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Lubov I. Gubareva, Dr. Sci. (Biol.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Tamara I. Dzhandarova, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Yuri I. Dikansky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Constantine V. Erin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Arthur R. Zakinyan, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Robert G. Zakinyan, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Abdul G. Kerimov, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Boris K. Kotti, Dr. Sci. (Biol.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Vladimir T. Lukyanov, Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Alexey V. Lysenko, Dr. Sci. (Geogr.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Evgeny G. Mishvelov, Dr. Sci. (Biol.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Pavel M. Polyan, Dr. Sci. (Geogr.), Leading Scientific Researcher (Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); Victor V. Razumov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (Chief Researcher of Russian Space Systems, Moscow, Russia); Ivan A. Soloviev, PhD of Geographical Sciences, Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Lyudmila D. Timchenko, Dr. Sci. (Veterin.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Vladimir A. Tolpaev, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Natalia Fedorova, Dr. Sci. (Tech.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Vladimir M. Kharchenko, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Viktor A. Shalnev, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia); Natalia A. Shchitova, Dr. Sci. (Geogr.), Professor (NCFU, Stavropol, Russia)
Printing house	Publishing and printing complex of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North-Caucasus Federal University", 355029, Russia, Stavropol, Kulakova Avenue, 2.
Circulation:	1,000 copies. Price 534 rubles.
Frequency:	4 issues per year
The journal	"Science. Innovations. Technologies" was formed in 2012 as a result of the re-registration of the journal "Bulletin of the Stavropol state University" in connection with the renaming of the founder.
Release date of the first issue:	02/25/2013
Release date of the current issue:	06/27/2024
Journal	content is an open access under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright	for the original layout and design belongs to the journal, copyright for the articles belongs to the authors.
	© FSAEI HE "North-Caucasus Federal University", 2024

СОДЕРЖАНИЕ

«НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ», № 1, 2024

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

1.6.12	ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФ- ТОВ (ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Т.В. Дегтярева, А.А. Лиховид Особенности микроэлементного состава горных аллювиальных почв Западного Кав- каза	9
	T.V. Degtyareva, A.A. Likhovid Features of microelement composition of mountain alluvial soils of the Western Caucasus	10
	С.А. Сидоренко Техногенная трансформация почв степей Европейской части России в условиях угле- водородного загрязнения.	27
	S.A. Sidorenko Technogenic transformation of steppe soils of the European part of Russia under conditions of hydrocarbon pollution	28
	Е.А. Скрипчинская, Д.С. Тасенко, М.Б. Каган Пространственно-временная дина- мика теплового загрязнения среды г. Ессентуки	63
	E.A. Skripchinskaya, D.S. Tasenko, M.B. Kagan Spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki	64

1.6.13.	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬ- НАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕ- АЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (ГЕО- ГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Е.И. Виноградова, Г.Н. Жиренко, И.П. Супрунчук, П.М. Полян	
	Сравнительно-географический ана- лиз студенческих ментальных карт Ставрополя и Пятигорска.	97
	E.I. Vinogradova, G.N. Zhirenko, I.P. Suprunchuk, P.M. Polyan	
	Comparative geographical analysis of student mental maps of Stavropol and Pyatigorsk.	98
1.6.20.	ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ (ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Л.Х.-А. Гулямова	
	Исследование изменения сети рас- селения в аридной зоне Узбекистана	119
	L.X. Gulyamova	
	Monitoring of transformation of settle- ment spatial network in the arid zone of Uzbekistan	120
1.6.21.	ГЕОЭКОЛОГИЯ	
	В.В. Разумов, Н.Д. Богданова, Н.В. Разумова, В.А. Шальнев	
	Опасность оползневой деятельности в Моздокском районе Республики Северная Осетия – Алания	141
	V.V. Razumov, N.D. Bogdanova, N.V. Razumova, V.A. Shalnev	
	The danger of landslide activity in the Mozdok region of Republic of North Ossetia – Alania	142

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2.8.4.

**РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)****Р.А. Гасумов, Э.Р. Гасумов**

Повышение эффективности глушения скважин на истощенных газоконденсатных месторождениях с сверх аномально низкими пластовыми давлениями 165

R.A. Gasumov, E.R. Gasumov

Increasing the efficiency of well killing in depleted gas condensate fields with extremely low reservoir pressures. 166

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

1.6.18.

**НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ
И КЛИМАТЕ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
НАУКИ)****З.М. Кереева, Н.В. Юрченко,****А.А. Аджиева**

Аномальный грозовой процесс на территории Ставропольского края 187

Z.M. Kerefova, N.V. Yurchenko,**A.A. Adzhieva**

Anomalous thunderstorm process in the Stavropol Krai 188

Научная статья

УДК 911.52

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГОРНЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Татьяна Васильевна Дегтярева^{1*},
Андрей Александрович Лиховид²

^{1,2} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

¹ dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

² info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Объектом исследования является микроэлементный состав горных аллювиальных почв, формирование которого протекает достаточно интенсивно в силу активности процессов, обуславливающих развитие почвенного покрова в условиях горного рельефа. Исследование построено на анализе особенностей образования системы почвенных соединений микроэлементов в аллювиальных почвах речных долин Западного Кавказа на примере долины реки Большой Зеленчук. В ходе работы обнаружено, что для аллювиальных почв свойственно постоянное поступление микроэлементов в составе взвесей и растворенных веществ в речных водах, которые при паводковых разливах затопляют пойменную часть речных долин. Помимо этого, поступление микроэлементов происходит механическим путем со склонов гор, непосредственно примыкающих к речной долине. Определенную роль играют процессы аэриального переноса пылеватых частиц с воздушными потоками, в том числе и трансграничного характера. Подъем грунтовых вод также вызывает перемещение растворенных форм микроэлементов в горных аллювиальных почвах как в радиальном, так и в латеральном направлениях. По итогам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что для горных аллювиальных почв характерной является сильная связь с почвообразующими породами, которые являются важнейшим источником микроэле-

ментов. Особенности развития системы почвенных соединений микроэлементов в горных аллювиальных почвах обусловлены специфическими условиями протекания в них почвообразующих процессов. Их изучение необходимо в силу важного средообразующего и средоформирующего значения горных аллювиальных почв в современных ландшафтах речных долин, которые являются наиболее освоенными территориями горных стран.

Ключевые слова: горные аллювиальные почвы, Западный Кавказ, река Большой Зеленчук, микроэлементы

Для цитирования: Дегтярева Т.В., Лиховид А.А. Особенности микроэлементного состава горных аллювиальных почв Западного Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 9–26. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

Конфликт интересов: один из авторов статьи — доктор географических наук, профессор Лиховид Андрей Александрович является членом международного редакционного совета журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию 03.03.2024;
одобрена после рецензирования 23.05.2024;
принята к публикации 14.06.2024.

1.6.12.

**Physical Geography and Biogeography, Soil Geography
and Landscape Geochemistry (Geographical Sciences)**
Research article

Features of microelement composition of mountain alluvial soils of the Western Caucasus

**Tatyana V. Degtyareva^{1*},
Andrey A. Likhovid²**

^{1,2} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

¹ dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

² info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

* Corresponding author

Abstract.

The object of the study is the microelement composition of mountain alluvial soils, the formation of which occurs quite intensively due to the activity of processes that determine the development of soil cover in mountainous relief conditions. The study is based on the analysis of features forming the system of soil compounds of microelements in alluvial soils of river valleys of the Western Caucasus using the example of the Bolshoy Zelenchuk River valley. The study specified that alluvial soils are characterized by a constant supply of microelements in the composition of suspensions and dissolved substances in river waters, which during flood spills flood the flood-plain part of river valleys. In addition, microelements are supplied mechanically from the mountain slopes directly adjacent to the river valley. A certain role is played by the processes of aerial transfer of dust particles with air flows, including those of a transboundary nature. Rising groundwater also causes the movement of dissolved forms of trace elements in mountain alluvial soils in both radial and lateral directions. Based on the results of the study, we can conclude that mountain alluvial soils are characterized by a strong connection with soil-forming rocks, which are the most important source of microelements. Features of the development of the system of soil compounds of microelements in mountain alluvial soils are determined by the specific conditions for the occurrence of soil-forming processes in them. Their study is necessary due to the important environment-forming significance of mountain alluvial soils in modern landscapes of river valleys, which are the most developed areas of mountainous countries.

Keywords:

mountain alluvial soils, Western Caucasus, Bolshoi Zelenchuk River, microelements

For citation:

Degtyareva TV, Likhovid AA. Features of microelement composition of mountain alluvial soils of the Western Caucasus. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):9-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

Conflict of interest:

one of the authors of article — Andrey A. Likhovid, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, is a member of International Editorial Board of journal “Science. Innovations. Technologies”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

The article was submitted 03.03.2024;
approved after reviewing 23.05.2024;
accepted for publication 14.06.2024.

Введение

Горные аллювиальные почвы относятся к достаточно малоизученным образованиям по сравнению с другими почвами, формирующимися в пределах высотных ярусов гор. Для них характерны разные особенности проявления классификационных диагностических признаков в зависимости от места расположения в различных частях речных долин. Все это обуславливает высокую степень актуальности настоящего исследования микроэлементного состава горных аллювиальных почв Западного Кавказа, которые являются преобладающими в почвенном покрове территорий речных долин, наиболее освоенных и преобразованных в антропогенном плане в горах. Именно к территории речных долин приурочены основные плодородные почвы в горах, позволяющие осуществлять сельскохозяйственную деятельность разной направленности: выращивание овощной продукции, выпас скота, сенокошение и т.д. [1]. Также к территории речных долин чаще всего приурочены населенные пункты, оказывающие разноплановое воздействие на почвенный покров: характерно строительство зданий и сооружений, обустройство дорог, местное производство определенных материалов и т.д. [2, 3]. Все это вызывает антропогенную трансформацию горных почв и требует внимательного изучения особенностей формирования их микроэлементного состава и его изменения в результате достаточно интенсивного антропогенного воздействия [4].

Цель работы – на основании материалов собственных полевых исследований, а также анализа литературных источников определить особенности формирования микроэлементного состава горных аллювиальных почв долины реки Большой Зеленчук. Установление главных закономерностей развития системы почвенных соединений микроэлементов в горных аллювиальных почвах служит научной основой для осуществления комплекса мероприятий восстановительного характера в случае их значительного антропогенного преобразования.

Материалы и методы исследований

Материалами исследования послужили данные полевого почвенного опробования горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв в долине реки Большой Зе-

ленчук в районе поселка Архыз, проведенные летом 2019 г. Кроме этого, опробование проводилось в районе станицы Зеленчукской и одного из истоков реки Большой Зеленчук – реки Псыш. В отобранных почвенных образцах определялось содержание четырех микроэлементов – Cu, Zn, Pb и Cd. Также исследовались: pH водной вытяжки потенциометрическим методом, содержание гумуса методом мокрого озоления по И. В. Тюрину, гранулометрический состав методом лазерной дифракции. Валовые формы микроэлементов определялись на рентген-флуоресцентном спектрометре «Хенemetrix EX-Calibur»; подвижные (обменные) формы – с помощью экстракции ацетатно-аммонийным буферным раствором (pH 4,8) при соотношении почва: раствор 1:5 и последующим определением содержания микроэлементов атомно-абсорбционным методом.

Микроэлементный состав почв характеризовался с помощью последовательности уменьшения кларков концентрации (*KK*) и кларков рассеивания (*KP*) относительно мировых кларков почв по А.П. Виноградову [5]. Кларки концентрации рассчитывались как отношение содержания микроэлементов в почке обследования к кларку почв по А.П. Виноградову, кларки рассеивания – как обратное отношение кларка почв к содержанию микроэлемента в точке обследования. Для характеристики радиальной дифференциации микроэлементного состава почв проводилось определение коэффициента радиальной дифференциации (*R*) как отношения содержания химического элемента в генетическом горизонте почв к его содержанию в горизонте BG нижней части почвенного профиля.

Результаты исследований и их обсуждение

Долина реки Большой Зеленчук отличается горным характером своего построения в пределах Западного Кавказа. Реке присущ смешанный тип питания: 55 % годового стока приходится на дождевое питание, 30 % – на талые воды ледников и снега, 15 % – на подземный сток; 85 % всего годового стока осуществляется в теплый период года при таянии ледников и снежников [6]. В верхнем течении река дренирует толщи отложений горных пород преимущественно магматического и метаморфического состава: гранитоидов, кристаллических гнейсов и сланцев, диабазов. Их перемещение, переот-

ложение, переработка речными водами приводит к накоплению вдоль русла реки аллювиальных отложений. Эти отложения отличаются обкатанностью, включением как переработанного материала, так и новых продуктов размыва горных пород, поступающих в результате разрушения береговой линии. Помимо грубых валунно-галечниковых и песчаных элементов горных пород, аллювиальные отложения содержат в большом количестве тонкодисперсные фракции. Накопление ила обусловлено его отложением из речных вод при паводковых разливах, поступлением с делювиальными водами со склонов, окружающих русло реки. Установлено, что при высоких уровнях паводка мутность воды в реке Большой Зеленчук резко возрастает и количество взвешенных частиц доходит до 3 000–4 000 мг/л [6].

Почвы, формирующиеся на аллювиальных отложениях, отличаются слоистостью, связанной с разнородным характером отложений в весенне-летний и осенний периоды. Весной и летом в составе паводковых и делювиальных вод поступает большое количество наилка – илистых частиц, содержащих органические, минеральные и органоминеральные вещества [7, 8]. Осенью состав наносов несколько другой – больше содержится песчаной фракции, связанной с переработкой при транспортировке рекой обломков горных пород. Слоистость вызывает дифференциацию почвенных горизонтов по гранулометрическому составу, которая особенно проявлена для верхней половины почвенного профиля. Помимо этого, аллювиальным почвам свойственна дифференциация по характеру сложения, так как песчанистые слои отличаются более рыхлым сложением по сравнению с илистыми.

Строение почвенного профиля собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв характеризуется наличием слабоуплотненной дернины A_d и гумусового горизонта A_1 преимущественно темно-серого с буроватым оттенком цвета, разного гранулометрического состава, мелкокомковатой структуры, $pH - 5,8 \pm 0,1$ (табл. 1). Содержание гумуса составляет $4,8 \pm 0,4$ % и, согласно исследованиям [9], в нем характерно преобладание гидролизированных подвижных соединений и фульвокислот. Ниже располагается горизонт B_1 , который обычно более уплотнен по сложению, содержит меньшее количество органического вещества (содержание гумуса –

2,5±0,3 %), отличается слабокислой реакцией среды (рН – 6,1±0,1). Переходный горизонт ВG к почвообразующим аллювиальным отложениям часто оглеен и содержит большое количество обкатанных обломков горных пород, пятна ожелезнения, марганцево-железистые конкреции. Количество гумуса в нем резко снижается до 0,6±0,5%; рН составляет 6,9±0,1. В целом, для собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв свойственно преобладание таких почвообразовательных процессов, приводящих к дифференциации микроэлементного состава почв в пределах почвенного профиля: гумусонакопление, оглинивание, оглеение с восстановительной обстановкой миграции, ожелезнение вследствие разрушения железосодержащих минералов [10, 11]. Г.В. Добровольский и др. [9] отмечают, что в профиле аллювиальных дерновых кислых почв Fe³⁺ превалирует над Fe²⁺, наблюдается биогенная и механическая аккумуляция микроэлементов семейства железа.

Таблица 1.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОБСТВЕННО АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК

Table 1. Physical and chemical properties of the actual alluvial soddy acid pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	Координаты / высота, м над у.м.	Горизонт/ глубина, см	Физическая глина, %	рНводн	Гумус, %
Долина р. Псыш	43.523224, 41.231421 / 1559	A1/ 10	23,4 ± 2,3	5,6 ± 0,1	4,9 ± 0,3
		B1/ 27	31,5 ± 2,9	5,9 ± 0,2	2,2 ± 0,1
		BG/ 34	33,4 ± 3,1	6,7 ± 0,1	0,5 ± 0,3
Территория поселка Архыз	43.560868, 41.280553 / 1449	A1/ 7	19,2 ± 2,1	5,8 ± 0,2	5,2 ± 0,3
		B1/ 31	16,4 ± 1,5	6,1 ± 0,1	2,8 ± 0,2
		BG/ 44	22,7 ± 1,9	6,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Территория станицы Зеленчукская	43.856549, 41.575725/ 932	A1/ 13	39,7 ± 3,5	5,9 ± 0,2	4,4 ± 0,4
		B1/ 42	34,1 ± 3,2	6,4 ± 0,1	2,6 ± 0,2
		BG/ 64	17,3 ± 1,5	7,1 ± 0,2	0,4 ± 0,3

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Важным процессом формирования микроэлементного состава горных аллювиальных почв является оглинивание. Его протекание обусловлено существованием достаточно значительных объемов органических остатков, периодически погребаемых поступающем при паводковых разливах наилком. Биогеохимическое разложение органических остатков в погребенном состоянии вызывает микробиологическую активность различных групп микроорганизмов, приводящих к процессам оглинивания [12]. Происходящие в ходе биогеохимических процессов трансформационные изменения первичных минералов в погребенных горизонтах приводят к образованию вторичных алюмосиликатных минералов, которые обладают значительной адсорбционной способностью по отношению к микроэлементам [13]. В горных почвах, в связи с их меньшей мощностью [14, 15], оглинивание сосредоточено в средней (на глубине 20-30 см) части почвенного профиля.

Оглеение, свойственное аллювиальным почвам при их переувлажнении, также включает в себя биогеохимические восстановительные процессы с участием анаэробных железовосстанавливающих микроорганизмов [16]. Образование восстановленных оксидов и гидроксидов Fe сопровождается процессами окисления органических остатков с выделением разнообразных продуктов кислотной природы, влияющих на минеральную часть почв в сторону ее разрушения и увеличения подвижных форм химических элементов [11].

Рассмотрим микроэлементный состав горных аллювиальных почв ключевых участков в верхней части долины р. Большой Зеленчук. Почвенные разрезы заложены в центральной части поймы под злаковыми лугами и характеризуют собственно аллювиальные дерновые кислые галечниковые почвы. Их формирование связано с периодически происходящими процессами затопления паводковыми водами во время половодий. При этом устанавливаются восстановительные условия миграции химических элементов [18], которые способствуют высокой миграционной подвижности Fe в виде оксидов и гидроксидов [19, 20]. Их распределение по почвенному профилю происходит достаточно интенсивно и приводит к дифференциации связанных с ними микроэлементов [10, 17].

Среднее содержание валовых форм микроэлементов в гумусовом горизонте собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв долины реки Большой Зеленчук характеризуется следующими показателями: $\text{Cu} - 54,7 \pm 4,3 \text{ мг/кг}$; $\text{Zn} - 98,7 \pm 8,7 \text{ мг/кг}$; $\text{Pb} - 36,6 \pm 4,2 \text{ мг/кг}$; $\text{Cd} - 1,7 \pm 0,2 \text{ мг/кг}$ (табл. 2). Данные значения близки установленным средним содержаниям этих химических элементов в почвах на магматических и метаморфических породах Северного Кавказа [14]. Сравнение содержания микроэлементов в горных аллювиальных почвах долины реки Большой Зеленчук с мировыми почвенными кларками по А.П. Виноградову [5] показывает, что в данных почвах происходит концентрирование всех рассматриваемых химических элементов. Рb сильнее всего накапливается в горных аллювиальных почвах, опробованных на территории поселка Архыз и станицы Зеленчукская ($KK = 3,8 - 3,9$); Cd и Cu – в почвах на территории станицы Зеленчукская ($KK = 3,8$ и $2,8$ соответственно). В горных аллювиальных почвах, располагающихся выше по течению в долине р. Псыш, более высокие концентрации имеет Zn ($KK = 2,1$) (табл. 3).

Помимо валовых форм микроэлементов в собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почвах установлены пределы содержания подвижных (обменных) форм химических элементов: $\text{Cu} - 1,4 \pm 0,4 \text{ мг/кг}$; $\text{Zn} - 4,3 \pm 0,6 \text{ мг/кг}$; $\text{Pb} - 1,9 \pm 0,5 \text{ мг/кг}$; $\text{Cd} - 0,09 \pm 0,01 \text{ мг/кг}$. Распределение подвижных форм микроэлементов определяется двумя процессами, свойственными профилю горных аллювиальных почв. Периодическое увлажнение приводит к подъему грунтовых вод и способствует восходящему току растворенных форм химических элементов. В тоже время, затопление движущимися паводковыми водами во время половодья обуславливает определенное вымывание водорастворимых форм из верхних почвенных горизонтов с их обеднением относительно нижней части почвенного профиля [19]. В изученных горных собственно аллювиальных дерновых кислых почвах долины реки Большой Зеленчук подвижные формы Cu имеют элювиальное распределение, а Zn, Pb и Cd – разные варианты распределения с преобладанием элювиально-иллювиального типа.

Таблица 2. СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СОБСТВЕННО АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВАХ ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК
Table 2. The content of microelements in the actual alluvial soddy acid pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	Горизонт/ глубина, см	Содержание микроэлементов ± погрешность, мг/кг (в числителе – валовые формы, в знаменателе – обменные)			
		Cu	Zn	Pb	Cd
Долина р. Псыш	A1/ 10	$\frac{54.5 \pm 5.2}{0.38 \pm 0.1}$	$\frac{106.4 \pm 9.6}{4.7 \pm 0.2}$	$\frac{37.8 \pm 3.2}{1.7 \pm 0.2}$	$\frac{1.5 \pm 0.09}{0.07 \pm 0.01}$
	B1/ 27	$\frac{48.4 \pm 3.9}{1.6 \pm 0.1}$	$\frac{87.5 \pm 8.7}{2.7 \pm 0.2}$	$\frac{39.1 \pm 3.0}{3.4 \pm 0.2}$	$\frac{0.91 \pm 0.05}{0.06 \pm 0.01}$
	BG/ 34	$\frac{45.2 \pm 4.2}{2.5 \pm 0.1}$	$\frac{73.1 \pm 7.0}{1.8 \pm 0.2}$	$\frac{44.1 \pm 4.4}{2.7 \pm 0.2}$	$\frac{1.3 \pm 0.04}{0.24 \pm 0.01}$
Территория поселка Архыз	A1/ 7	$\frac{53.2 \pm 4.9}{0.74 \pm 0.1}$	$\frac{92.5 \pm 8.0}{3.6 \pm 0.1}$	$\frac{39.4 \pm 3.7}{1.2 \pm 0.1}$	$\frac{1.7 \pm 0.05}{0.18 \pm 0.01}$
	B1/ 31	$\frac{47.6 \pm 4.7}{0.98 \pm 0.03}$	$\frac{87.8 \pm 6.2}{3.7 \pm 0.1}$	$\frac{36.9 \pm 3.6}{2.3 \pm 0.1}$	$\frac{1.4 \pm 0.1}{0.23 \pm 0.01}$
	BG/ 44	$\frac{43.1 \pm 3.6}{1.2 \pm 0.2}$	$\frac{66.4 \pm 6.1}{1.5 \pm 0.1}$	$\frac{44.3 \pm 4.2}{2.1 \pm 0.1}$	$\frac{1.1 \pm 0.2}{0.09 \pm 0.01}$
Территория станицы Зеленчукская	A1/ 13	$\frac{56.8 \pm 5.5}{1.6 \pm 0.2}$	$\frac{97.2 \pm 8.7}{4.8 \pm 0.1}$	$\frac{32.6 \pm 3.1}{2.9 \pm 0.1}$	$\frac{1.9 \pm 0.01}{0.09 \pm 0.01}$
	B1/ 42	$\frac{54.2 \pm 4.4}{2.5 \pm 0.1}$	$\frac{76.4 \pm 6.9}{5.6 \pm 0.1}$	$\frac{43.4 \pm 3.7}{2.1 \pm 0.1}$	$\frac{1.4 \pm 0.03}{0.15 \pm 0.01}$
	BG/ 64	$\frac{48.3 \pm 4.2}{2.7 \pm 0.1}$	$\frac{90.6 \pm 8.7}{2.3 \pm 0.1}$	$\frac{47.8 \pm 5.3}{1.7 \pm 0.1}$	$\frac{1.1 \pm 0.3}{0.11 \pm 0.01}$

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Таблица 3.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СОБСТВЕННО
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВ
ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК

Table 3. Features of microelement composition of the actual alluvial soddy
acid pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	КК	КР	Тип распределения по почвенному профилю, значение R (валовые формы)		
	относительно кларка почв [5]		Поверхностно-аккумулятивный	Элювиально-иллювиальный	Элювиальный
Долина р. Птыш	Pb _{3,7} Cd _{3,0} Cu _{2,7} Zn _{2,1}	—	Zn (1,4), Cu (1,2)	Cd (1,1)	Pb (0,8)
Территория поселка Архыз	Pb _{3,9} Cd _{3,4} Cu _{2,6} Zn _{1,8}	—	Zn (1,4), Cd (1,5), Cu (1,2)	—	Pb (0,9)
Территория станции Зеленчукская	Cd _{3,8} Pb _{3,2} Cu _{2,8} Zn _{1,9}	—	Cu (1,2)	Cd (1,1), Zn (1,07)	Pb (0,7)

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Определение коэффициентов радиальной дифференциации в гумусовом горизонте относительно горизонта BG в нижней части почвенного профиля позволяет говорить о слабоконтрастной радиальной миграции валовых форм большинства рассматриваемых химических элементов. Для Cu во всех изученных почвенных разрезах свойственен поверхностно-аккумулятивный тип радиальной дифференциации со значением $R = 1,2$. У Zn радиальное распределение несколько более контрастно (R достигает значений 1,4) и также преобладает поверхностно-аккумулятивный тип радиальной дифференциации. Pb отличается элювиальным типом радиального перераспределения ($R = 0,7–0,9$) с уменьшением концентраций в верхней части почвенного профиля и их возрастанием к почвообразующей породе, что может быть следствием влияния литогенного фактора [21]. Cd имеет иллювиально-элювиальный и поверхностно-аккумулятивный типы радиального распределения по почвенному профилю.

Соотношение между валовыми и подвижными формами микроэлементов меняется в зависимости от части почвенного разреза. Для Cu характерным является увеличение количества подвижных форм от гумусового горизонта (0,7–2,8 %) до нижней части почвенного профиля (до 5,6 %). Подвижных форм Zn больше в верхней части почвенного разреза (3,9–4,9 %) по сравнению с горизонтом BG (2,2–2,5 %), что может свидетельствовать о значительном связывании химического элемента с органоминеральными водорастворимыми комплексами. Распределение подвижных форм Pb по почвенному профилю обследованных разрезов очень неравномерно: установлены максимальные значения в средней части профиля (8,7–6,2 % в разрезах по долине р. Псыш и в окрестностях поселка Архыз) и в горизонте A₁ (до 8,9 % в почвенном разрезе окрестностей станицы Зеленчукская).

Заключение

В результате исследования особенностей формирования микроэлементного состава горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв долины реки Большой Зеленчук установлено, что многие почвообразовательные процессы имеют свою специфику, связанную с горными условиями. Высокое содержание химических элементов в горных аллювиальных почвах относительно мирового кларка почв во многом связано с поступлением с паводковыми водами продуктов денудации магматических и метаморфических горных пород. Большое значение имеет существование периодически проявляющихся процессов затопления поймы быстротекущими речными водами, в результате чего создаются восстановительные условия миграции химических элементов. Складываются характерные для глеевых обстановок высокие уровни содержания оксидов и гидроксидов Fe, накапливаются вторичные глинистые минералы, органоминеральные комплексы. Создается дифференциация почвенного профиля горных аллювиальных почв по гранулометрическому составу в результате чередования разных слоев наилка и аллювия. В целом, сложные сочетания окислительных и восстановительных условий миграции, процессов перераспределения ведущих фаз-носителей микроэлементов по поч-

венному профилю (оксидов и гидроксидов Fe, илистых частиц, органоминеральных комплексов) приводит к разнообразной картине дифференциации самих микроэлементов. Преобладающим типом распределения в почвенном профиле горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв для Cu и Zn является поверхностно-аккумулятивный, для Pb – элювиальный, для Cd – иллювиально-элювиальный.

Список источников

1. Вайнгартнер Р., Гуня А. Н. Значение гор и необходимость активного участия в горных программах // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т. 8. № 2. С. 120–126. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-2-120-126>
2. Bednarova Z., Komprdova K., Kalabova T., Sanka M. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils // Water Air Soil Pollut. 2015. Vol. 226. No. 15. P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2253-x>
3. Иванкова Т. В., Кипкеева П. А., Потапенко Ю. Я. Природно-хозяйственные структуры малых речных бассейнов горного рельефа и пути их развития: инновации, оптимизация или реставрация // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2018. Т. 26. № 1 (89). С. 67–75.
4. Schulz-Zunkel C., Rinklebe J., Bork H.-R. Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles // Ecol. Eng. 2015. Vol. 83. P. 485–495. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.028>
5. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
6. Шальнев В. А., Юрин Д. В. Архыз. Природные условия и современные ландшафты. Ставрополь: СКФУ, 2016. 112 с.
7. Shrestha J., Niklaus P. A., Pasquale N., Huber B., Barnard R. L., Frossard E., Schleppi P., Tockner K., Luster J. Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain // Geoderma. 2014. Vol. 228. P. 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.09.018>
8. Фашевский Б. В. Экологическое значение поймы в речных

- экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 118–129.
9. Добровольский Г. В., Балабко П. Н., Стасюк Н. В., Быкова Е. П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3 (48). С. 5–13.
 10. Васильев А. А., Романова А. В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. 231 с.
 11. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 126 с.
 12. Ubugunova V. I., Ubugunov L. L., Ubugunov V. L. Soils of mountain floodplains of the upper Kerulen basin (Mongolia) // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 2. P. 169–181. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020125>
 13. Путилина В. С., Галицкая И. В., Юганова Т. И. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами. Характеристики сорбента, условия, параметры и механизмы адсорбции: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2009. 155 с.
 14. Дьяченко В. В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: Комплекс, 2004. 268 с.
 15. Сорокина О. А., Зарубина Н. В. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // Почвоведение. 2013. № 6. С. 681–690. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060105>
 16. Водяницкий Ю. Н., Шелоболлина Е. С. Биологическая редукция (гидр)оксидов железа (III) и роль природного органического вещества в этом процессе // Агрохимия. 2007. № 8. С. 87–96.
 17. Водяницкий Ю. Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108>
 18. Frohne T., Rinklebe J., Diaz-Bone R. A., Du Laing G. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony // Geoderma. 2011. Vol. 160. No. 3–4. P. 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.012>
 19. Мартынов А. В. Оценка влияния крупного паводка на

- содержание микроэлементов в аллювиальных почвах в среднем течении р. Амур // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 91. С. 110–131. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-110-131>
20. Borch T., Kretzschmar R., Kappler A., Van Cappellen P., Ginder-Vogel M., Voegelin A., Campbell K. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics // Environ. Sci. Technol. 2010. Vol. 44. No. 1. P. 15–23. <https://doi.org/10.1021/es9026248>
21. Дегтярева Т. В., Лиховид А. А., Лиховид Н. Г. Геохимическая дифференциация литогенной основы ландшафтов Большого Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2018. № 3. С. 125–141. <https://doi.org/10.37495/23084758-2018-3-125-140>

References

1. Weingartner R, Gunya AN. The importance of mountains and the need for active participation in mountain programs. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016;8(2):120-126. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-2-120-126>
2. Bednarova Z, Komprdova K, Kalabova T, Sanka M. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils. *Water Air Soil Pollut.* 2015;226(15):1-21. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2253-x>
3. Ivankova TV, Kipkeeva PA, Potapenko YuYa. Natural and economic structures of small river basins of mountainous terrain and ways of their development: innovations, optimization or restoration. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2018;26(1)(89):67-75. (In Russ.).
4. Schulz-Zunkel C, Rinklebe J, Bork H-R. Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles. *Ecol. Eng.* 2015;83:485-495. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.028>
5. Vinogradov AP. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1957. 238 p. (In Russ.).
6. Shalnev VA, Yurin DV. Arkhyz. Natural conditions and modern landscapes. Stavropol: NCFU; 2016. 112 p. (In Russ.).

7. Shrestha J, Niklaus PA, Pasquale N, Huber B, Barnard RL, Frossard E, Schleppi P, Tockner K, Luster J. Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain. *Geoderma*. 2014;228:14-24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.09.018>
8. Fashchevsky BV. Ecological significance of the floodplain in river ecosystems. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2007;(5):118-129.
9. Dobrovolsky GV, Balabko PN, Stasyuk NV, Bykova EP. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Aridnye ekosistemy* = Arid ecosystems. 2011;17(3) (48):5-13. (In Russ.).
10. Vasiliev AA, Romanova AV. Iron and heavy metals in alluvial soils of the Middle Urals. Perm: IPC "Prokrost"; 2014. 231 p. (In Russ.).
11. Aristovskaya TV. Microbiology of soil formation processes. L.: Nauka; 1980. 126 p. (In Russ.).
12. Ubugunova VI, Ubugunov LL, Ubugunov VL. Soils of mountain floodplains of the upper Kerulen basin (Mongolia). *Eurasian Soil Science*. 2022;55(2):169-181. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020125>
13. Putilina VS, Galitskaya IV, Yuganova TI. Adsorption of heavy metals by soils and rocks. Sorbent characteristics, conditions, parameters and mechanisms of adsorption: analytical review. Novosibirsk: State Public Scientific and Technical Library SB RAS; 2009. 155 p. (In Russ.).
14. Dyachenko VV. Geochemistry, systematics and assessment of the state of landscapes of the North Caucasus. Rostov-on-Don: Complex; 2004. 268 p. (In Russ.).
15. Sorokina OA, Zarubina NV. Content of chemical elements in alluvial soils and bottom sediments of the Urkan River (Amur River basin). *Eurasian Soil Science*. 2013;(6):681-690. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060105>
16. Vodyanitsky YuN, Shebololina ES. Biological reduction of iron (III) (hydr)oxides and the role of natural organic matter in this process. *Agrohimiya* = Agrochemistry. 2007;(8):87-96. (In Russ.).
17. Vodyanitsky YuN. Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils. *Eurasian Soil Science*. 2014;(4):420-432. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108>
18. Frohne T, Rinklebe J, Diaz-Bone RA, Du Laing G. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on

- metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony. *Geoderma*. 2011;160(3-4):414-424. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.012>
19. Martynov AV. The assessment of the large flood impact on the microelements content in alluvial soils in the Amur river middle stream. *Byul. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018;(91):110-131. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-110-131>
20. Borch T, Kretzschmar R, Kappler A, Van Cappellen P, Ginder-Vogel M, Voegelin A, Campbell K. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics. *Environ. Sci. Technol.* 2010;44(1):15-23. <https://doi.org/10.1021/es9026248>
21. Degtyareva TV, Likhovid AA, Likhovid NG. Geochemical differentiation of the lithogenic basis of the landscapes of the Greater Caucasus. *Science. Innovations. Technologies*. 2018;(3):125-141. (In Russ.). <https://doi.org/10.37495/23084758-2018-3-125-140>

Информация об авторах

Татьяна Васильевна Дегтярева – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57196119839, Researcher ID: KLE-1800-2024

Андрей Александрович Лиховид – доктор географических наук, профессор, декан медико-биологического факультета, первый проректор Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57200209407

Вклад авторов

Татьяна Васильевна Дегтярева. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Андрей Александрович Лиховид. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Information about the authors

Tatyana V. Degtyareva – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Chair of Department of Physical Geography and Cadastre, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57196119839, Researcher ID: KLE-1800-2024

Andrey A. Likhovid – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Dean of the Faculty of Medicine and Biology, First Pro-Rector, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57200209407

Contribution of the authors

Tatyana V. Degtyareva. Conducting research – data collection, analysis and interpretation.

Text preparation and editing – drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.

Andrey A. Likhovid. Approval of the final manuscript – acceptance of responsibility for all types of the work, integrity of all parts of the paper and its final version.

1. **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**
1.6.12 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки)

Научная статья

УДК 911.52

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

ТЕХНОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ СТЕПЕЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ В УСЛОВИЯХ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Сергей Александрович Сидоренко

Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация); Самаранипинефть, Управление инженерных изысканий (д. 18, ул. Вилоновская, г. Самара, 443010, Российская Федерация)
sidorenkosa-10@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4095-2778>

Аннотация.

Объектом исследования являются почвы Оренбургской области, Бузулукского района, загрязненные поллютантами. Целью исследования является выявление закономерностей накопления тяжелых металлов в южных черноземах, подвергшихся углеводородному загрязнению, и исследуемого конгломерата поллютантами Европейской части степей России. А также установление совокупности факторов и подтверждение их влияния на устойчивость ландшафтов в условиях деградации почв и дальнейшего образования геохимических барьеров, сформированных поллютантами. Материалами и методами исследований являются литература ведущих специалистов России, изучающих данную проблематику, а также нормативно-правовая документация: ГОСТы, СанПиНы, Постановления Правительства РФ. Построен картографический и графический материалы, которые отображают точки отбора проб, содержание и зависимость элементов от загрязнителей. Было проведено полевое обследование (рекогносцировка местности) в условиях элювиального формирования почвенного и почвообразующего накопления, на фоне изменения процессов формирования геохимических цепочек. С участка отобраны почвенные образцы, проведен синтаксоидный анализ. Определена совокупная величина предельно допустимых концентраций поллютантов в почвах исследуемого участка в границах административного района трех месторождений нефти. По итогам ис-

следования выявлена закономерность накопления тяжелых металлов от площади геохимического барьера, сформированного загрязнением нефтепродуктами. Визуализирована перспектива развития влияния накоплений поллютантов на трансформацию природного ландшафта. На участках, загрязненных поллютантами, необходимо проведение рекультивационных работ: технического и биологического этапа, с соблюдением охраны окружающей среды.

Ключевые слова: загрязнения тяжелыми металлами, гумус, южные черноземы, элювиальный ландшафт, углеводородный барьер, физико-химический барьер, деградации почв, степи

Для цитирования: Сидоренко С. А. Техногенная трансформация почв степей Европейской части России в условиях углеводородного загрязнения // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 27–62. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 08.02.2024;
одобрена после рецензирования 15.04.2024;
принята к публикации 25.04.2024.

1.6.11. Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Landscape Geochemistry (Geographical Sciences)

Research article

Technogenic transformation of steppe soils of the European part of Russia under conditions of hydrocarbon pollution

Sergey A. Sidorenko

North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation); Samaranipineft, Department of Engineering Surveys (18, Vilonovskaya St., Samara, 443010, Russian Federation) sidorenkosa-10@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0003-4095-2778>

Abstract. The object of the study is the soils of the Orenburg region, Buzuluk district, contaminated with pollutants. The aim of the study is to identify patterns of accumulation of heavy metals in southern cherno-

zems that have been subjected to hydrogen pollution and the studied conglomerate by pollutants of the European part of the steppes of Russia. As well as the establishment of a set of factors and confirmation of their influence on the stability of landscapes in conditions of soil degradation and further formation of geochemical barriers formed by pollutants. The materials and methods of research are the literature of leading Russian specialists studying this issue, as well as regulatory and legal documentation: GOST standards, SanPiNs, Resolutions of the Government of the Russian Federation. Cartographic and graphic materials have been built that display sampling points, the content and dependence of elements on pollutants. A field survey (reconnaissance of the area) was conducted in the conditions of eluvial formation of soil and soil-forming accumulation, against the background of changes in the processes of formation of geochemical chains. Soil samples were taken from the site, and a syntaxoid analysis was performed. The total value of the maximum permissible concentrations of pollutants in the soils of the studied area within the boundaries of the administrative region of three oil fields has been determined. According to the results of the study, a pattern of accumulation of heavy metals from the area of the geochemical barrier formed by pollution with petroleum products was revealed. The perspective of the development of the influence of accumulations of pollutants on the transformation of the natural landscape is visualized. In areas contaminated with pollutants, it is necessary to carry out reclamation works: technical and biological stages, in compliance with environmental protection.

Keywords: heavy metal pollution, humus, southern chernozems, eluvial landscape, hydrocarbon barrier, physico-chemical barrier, soil degradation, steppes

For citation: Sidorenko SA. Technogenic transformation of steppe soils of the European part of Russia under conditions of hydrocarbon pollution. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):27-62. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.2>

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 08.02.2024;
approved after reviewing 15.04.2024;
accepted for publication 25.04.2024.

Введение

Проблема устойчивости природных ландшафтов в условиях расширения техногенных барьеров кроется в современных представлениях о происхождении черноземных почв, базирующихся на основе гипотезы растительно-наземного происхождения В.В. Докучаева, П.А. Костычева, А.А. Измаильского, Г.Н. Высоцкого, Л.И. Прасалова, П.Г. Адерихина, Е.Л. Афанасьевой.

По данным Н.Ф. Ганжара (2001), ведущим процессом формирования черноземов являются дернование, аккумуляция биофильных элементов и формирование устойчивой структуры к эрозии под воздействием травянистой растительности [1].

Почвообразованием в черноземах является гумусообразование в условиях высокого количества ежегодного опада, преобладающих частей опада и корневой системы, насыщенности минеральной части почв кальцием и магнием, близкой к нейтральной реакции среды, умеренной биологической активности [2].

Дерновый процесс в черноземах сочетается с рядом других процессов: элювиальными (выщелачивание, оподзоливание, лессиваж, осолодение), метаморфическими (оглеение, оглинение, слитизация), гидрогенно-аккумулятивными (олугование, засоление), иллювиально-аккумулятивными (карбонатно-иллювиальный). Причиной появления и накопления почв является «живое вещество», в результате жизнедеятельности которого образуется специфический органический полимер — гумус [3]. Фундамент экологической устойчивости почвенной экосистемы составляют природные биогеохимические массообмены вещества, энергии и информации [4].

В гумусовых образованиях содержатся макро- и микроэлементы, среди которых полисахариды природного происхождения ($C_x(H_2O)_y$), жирные кислоты ($COOH$), полифенолы (бензольному (фенильному) кольцу гидроксильной ($-OH$) группы и кетоны), катехины (антиоксидант), дубильные вещества ($Zn(OH)Cl$, $Cu_2(OH)_2CO_3$), изофлавоноиды (класс фенольных соединений флавоноидов), хиноны (антибактериальные вещества). Система ландшафтообразования направлена на удержание твердых частиц, где адсорбентами выступают гумус и глина, притягивая и удерживая многие вещества — как полезные, так и вредоносные. Функцио-

нально данный процесс основан на физических, химических и биологических закономерностях взаимодействия твердых, жидких тел, связующих их энергией. Совокупность всех процессов почвообразования формирует геохимию ландшафта, в структуре которой поллютанты вносят свои коррективы.

В рамках экологической оценки состояния почв в условиях загрязнения ландшафта тяжёлыми металлами основной интерес представляют изменения механических и химических показателей при формировании устойчивого, в основном горизонтального, углеводородного, геохимического барьера. Проблематика изучения устойчивости почв заключается в недостаточности натурных исследований [7].

В нефтезагрязненной почве происходят необратимые изменения морфологических, физических, физико-химических и микробиологических свойств, а иногда и существенная перестройка всего почвенного профиля:

- разрушение целостности почвы вследствие склеивания структурных отдельностей;
- изменение характера границ между горизонтами;
- увеличение вязкости и плотности почвенной массы;
- возрастание запасов углерода во всех генетических горизонтах;
- подавление реакций аммонификации и нитрификации;
- ухудшение азотного режима почвы из-за возрастания соотношения между углеродом и азотом [4].

Проблема устойчивости почв вытекает из следующих положений [5]:

- естественного и антропогенного формирования почв;
- перспектив экзогенного воздействия на почвы.

Проблематика изучения устойчивости почв заключается в недостаточности натурных исследований [6].

Последние научные исследования состояния природных ландшафтов основаны на изучении литературы и космических съемок

Оренбургской области, проведённых в 2015 г. В Самарской области в 2018 г. изучалось влияние загрязнённых почв на плодородие культивируемых растений. На данный момент исследований в выбранном направлении не ведётся.

Материалы и методы исследований

Оценка качества почвы выполнена с учетом требований ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» [8], ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве» [9]. Фоновые значения приведены согласно «Ежегоднику. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2018 году» [10].

При применении инженерно-экологических методик изучения почв в рамках подготовки ландшафтной оценки отведенной части территории месторождения, с выявлением участка, загрязнённого тяжелыми металлами, загрязнённость определяется количественным показателем. Пробы почв на химический анализ отбирались из верхнего почвенного горизонта (0-30 см) методом «конверта» в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83 [11].

В результате полевых работ, проведенных в период с 2018 г по 2023 г., был проведен отбор почвенных образцов. На базе аккредитованного лабораторного комплекса анализа проб почв проводились по 11 показателям, согласно требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 [12]: рН, бенз(а)пирен, нефтепродукты, нитраты, а также валовое содержание свинца, кадмия, цинка, меди, никеля, мышьяка и ртути. В соответствии с ГОСТ 17.5.4.02-84: рН, гумус, натрий обменный в % от емкости катионного обмена, хлориды, гидрокарбонаты, сульфаты, кальций, магний, натрий и калий, сумма токсичных солей, сухой остаток, гранулометрический состав [13].

Результаты исследований и их обсуждение

Территория исследования расположена в Оренбургской области, Бузулукском районе на Общесыртовско-Предуральской возвышенности, восточной части Бузулукской впадины, Восточно-Оренбургского сводового поднятия, Большекинского ва-

ла, Муханово-Ероховского прогиба, Бузулукской впадины, предуральского краевого прогиба, которые находятся в провинции степной зоны, типчаково-ковыльных степей.

Изыскание проводилось на территории, фундамент которой сложен геологическими комплексами четвертичного периода. Рельеф местности представляет собой всхолмленную равнину, расчлененную современной овражно-балочной сетью. По генетическому типу описываемая территория относится к денудационным равнинам олигоценного возраста, которая морфологически выражена сочетанием генетически однородных поверхностей: водоразделов, склонов, террас в речных долинах, а также разнообразных по генезису форм рельефа.

На данной территории получил распространение чернозем южный слабогумусированный маломощный среднесуглинистый. Почвообразующими породами послужили делювиальные глины и суглинки. Подземные воды вскрываются на глубинах от 3,9 м до 10,5 м на первой террасе и на 9–17 м на второй террасе, воды от слабокислой до слабощелочной среды (рН 6,4–7,4). Мощность гумусового горизонта составляет в среднем 36 см, содержание гумуса в верхнем горизонте 4,7–5,0 %. Содержание частиц менее 0,01 мм («физической глины») 38,0–39,7 %. Обеспеченность подвижным фосфором низкая, а обменным калием высокая. В ходе полевых работ построен морфологический профиль черноземов, который складывается из пяти генетических горизонтов А-АВ-В-ВС-С следующим образом:

- Ап 0-24 см – сухой, темно-серый, глинистый, комковато-пылеватый, рыхлый, корни растений, переход по линии пахотного слоя.
- А 24-34 см – свежий, буровато-серый, глинистый, комковатый, рыхлый, корни растений, переход постепенный.
- В 34-46 см – свежий, серо-бурый, глинистый, зернисто-комковатый, уплотненный, нити корней растений, переход постепенный.
- ВС 46-90 см – влажный, свежий, желто-палевый со значительными гумусовыми затеками, глинистый, комковато-ореховатый, очень плотный, редкие нити корней растений, переход постепенный.

С 90–140 см – свежий, желтый, глинистый, крупно-комковатый, плотный.

Южные чернозёмы характеризуются благоприятными физико-химическими свойствами: большой ёмкостью поглощения, высокой обменной способностью. Количество поглощённого кальция достигает 26,4–33,2 мг-экв на 100 г почвы в тяжелосуглинистых и несколько ниже в средне- и легкосуглинистых разновидностях – 20,5–24,9 мг-экв на 100 г. почвы. Содержание магния колеблется от 6,2 мг-экв до 16,4 мг-экв на 100 г почвы. Для южных чернозёмов характерно присутствие в почвенно-поглощающем комплексе незначительного количества ионов натрия – 0,04–0,63 мг-экв на 100 г почвы.

Определение форм и степени влияния углеводов на почвы исследуемого участка по результатам анализа отобранных проб обобщены количественными показателями. Приведены данные анализов проб почв с незагрязнённой территории, примыкающей к площади, загрязнённой углеводородами (табл. 1).

Содержание рН на глубине 0–0,3 м составляет от 7,16 до 7,64, на глубине 0,3–0,6 м от 7,09 до 7,76, а на глубине 0,6–1 м содержится от 7,24 до 7,52.

Содержание гумуса уменьшается во всех 3 пробах с увеличением глубины. На глубине 0–0,3 м содержание гумуса варьируется от 2,16 % до 2,38 %. Содержание в пахотном горизонте гумуса характеризует почву, как слабогумусированную. На глубине от 30 до 60 см органическое вещество колеблется от 1,04 % до 1,61 %. От 0,6 до 1 м содержание гумуса составляет 0,28–0,56 %.

Обменный натрий в почве на глубине до 30 см содержится в количестве 0,3–0,5%. На глубинах 0,3–0,6 и 0,6–1 м, составляет от <0,1 до 0,2 %.

Сумма токсичных солей на всех глубинах составляет менее 0,05 %.

Сухой остаток в почве на всех глубинах содержится менее 0,100 %.

Содержание физической глины в почвах на глубине 0–0,3 м составляет 45–47 %; на глубине 0,3–0,6 м от 42 до 48 %, а на глуби-

Таблица 1.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ, НЕ ЗАГРЯЗНЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДАМИ

Table 1. Physical-chemical properties of soils not contaminated with hydrocarbons

№ п/п	Глубина отбора, м	pH, ед	Гумус, %	Обменный Na, %	Сумма токсичных солей, %	Сухой остаток, %	Физическая глина, %
Шурф 1							
1	0,0-0,3 м	7,46	2,38	0,4	<0,05	< 0,100	46
2	0,3-0,6 м	7,75	1,19	0,2	<0,05	< 0,100	43
3	0,6-1,0 м	7,49	0,48	0,2	<0,05	< 0,100	41
Шурф 2							
4	0,0-0,3 м	7,64	2,25	0,3	<0,05	< 0,100	47
5	0,3-0,6 м	7,09	1,61	< 0,1	<0,05	< 0,100	42
6	0,6-1,0 м	7,24	0,56	< 0,1	<0,05	< 0,100	40
Шурф 3							
7	0,0-0,3 м	7,16	2,16	0,5	<0,05	< 0,100	45
8	0,3-0,6 м	7,76	1,04	0,2	<0,05	< 0,100	48
9	0,6-1,0 м	7,52	0,28	< 0,1	<0,05	< 0,100	41

не 0,6–1 м от 40 до 41 %. Содержание физической глины определяют почву как среднесуглинистую.

Фоновые образцы почвы на нитраты, бенз(а)пирен и нефтепродукты отобраны с ненарушенного участка. Результаты представлены в таблице 2.

По альтернативному методу оценки содержания нефтепродуктов (по таблице 4 Письма МПР РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93) [14] уровень загрязнения почвы нефтепродуктами

во всех пробах не превышает 1000 мг/кг, что соответствует первому допустимому уровню загрязнения.

Содержание нитратов, бенз(а)пирена и нефтепродуктов в каждой пробе не превышает предельно допустимую концентрацию.

Также были отобраны образцы на валовое содержание тяжелых металлов в почве (кадмий, свинец, цинк, медь, никель, мышьяк, ртуть) (табл. 3).

Таблица 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ФОНОВЫХ ОБРАЗЦОВ ПОЧВЫ С НЕНАРУШЕННОГО УЧАСТКА
Table 2. Results of background soil samples from a virgin area

№	Место отбора	Нитраты, мг/кг	Бенз(а)пирен, мг/кг	Нефтепродукты, мг/кг
	ПДК, мг/кг	130	0,02	Фон 100
1	Площадка КПУ	11,8	< 0,005	< 50
2	1-й км напорного нефтепровода L=1,157 км	10,6	< 0,005	< 50
3	По трассе напорного нефтепровода L=0,238 км	10,3	< 0,005	< 50
4	Площадка КПР	11,2	< 0,005	< 50
5	Площадка узла запорной арматуры №25	10,4	< 0,005	< 50
6	Площадка узла запорной арматуры №28	10,8	< 0,005	< 50
7	Площадка узла запорной арматуры №29	11,6	< 0,005	< 50
8	Площадка отвода	10,5	< 0,005	< 50
9	Площадка отвода	10,2	< 0,005	< 50

Таблица 3.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И pH В ПОЧВЕННЫХ
ОБРАЗЦАХ НА НЕНАРУШЕННОМ УЧАСТКЕ

Table 3. The content of heavy metals and pH in soil samples in a virgin
area

№ пробы	Место отбора проб	pH	Валовое содержание						
			Кадмий, мг/кг	Свинец, мг/кг	Цинк, мг/кг	Медь, мг/кг	Никель, мг/кг	Мышьяк, мг/кг	Ртуть, мг/кг
	ОДК pH <5,5 pH >5,5	—	1–2	65–130	110–220	66–132	40–80	5–10	—
	ПДК, мг/кг	—	—	32	—	—	—	2,0	2,1
1	КПУ	8,2	<0,10	4	35	<20	51	1,2	<0,02
2	1-й км напорного нефтепровода L=1,157 км	8,3	<0,10	5	36	<20	53	1,0	<0,02
3	напорного нефтепровода L=0,238 км	8,3	<0,10	4	34	<20	52	1,2	<0,02
4	КПР	8,3	<0,10	5	35	<20	51	1,2	<0,02
5	Площадка узла запорной арматуры №25	8,3	<0,10	4	35	<20	52	1,0	<0,02
6	Площадка узла запорной арматуры №28	8,3	<0,10	5	36	<20	54	1,0	<0,02
7	Площадка узла запорной арматуры №29	8,3	<0,10	4	37	<20	52	1,0	<0,02
8	Площадка отвода	8,3	<0,10	5	36	<20	54	0,99	<0,02
9	Площадка отвода	8,3	<0,10	4	34	<20	53	1,0	<0,02

На площадках отбора проб содержание рН колеблется от 8,2 до 8,3. Во всех пробах кадмий, свинец, цинк, медь и мышьяк не превышают ОДК, также свинец, мышьяк и ртуть не превышают ПДК. Содержание никеля, согласно ориентировочно допустимой концентрации (40–80), находится в данном диапазоне во всех пробах.

Руководствуясь принципам повторяемости, с участка за-

Таблица 4. СОДЕРЖАНИЕ НИТРАТОВ, БЕНЗ(А)ПИРЕНА, ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА

№ пробы	Местоположение точки отбора пробы	Нитраты (по NO ₃), мг/кг	Бенз(а)пирен, мг/кг
	ОДК, мг/кг рН<5,5 рН>5,5	—	—
	ПДК, мг/кг	130	0,02
1	Площадка скважины № 117	<2,5	<0,004
2	Площадка АГЗУ-7 (ВРП-2)	<2,5	<0,004
3	1-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
4	2-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
5	3-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
6	4-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
7	5-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	0,0081
8	6-й км трассы водовода от ВПР-1 до ВРП-2	<2,5	<0,004
9	Площадка ВРП-1	<2,5	<0,004
10	1-й км трассы водовода от БКНС-7 до ВРП-1	<2,5	<0,004
11	2-й км трассы водовода от БКНС-7 до ВРП-1	<2,5	<0,004
12	Площадка БКНС-7	<2,5	<0,004

грязненного углеводородами проведена идентичная последовательность работ, полученные данные оформлены и представлены в виде таблицы (табл. 4).

Содержание нитратов во всех исследуемых образцах составляет менее 2,5 мг/кг. Показатели бенз(а)пирена во всех пробах не превышает ПДК (от менее 0,004 до 0,0081).

Table 4. The content of nitrates, benzene(a)pyrene, heavy metals and petroleum products in the soils of the contaminated site

	Валовое содержание							Нефтепродукты, мг/кг
	Свинец, мг/кг	Кадмий, мг/кг	Никель, мг/кг	Мышьяк, мг/кг	Ртуть, мг/кг	Цинк, мг/кг	Медь, мг/кг	
	65–130	1,0–2,0	40–80	5-10	—	110–220	66–132	Фон РФ 100
	32	—	—	—	2,1	—	—	—
	9,1	0,24	70,5	3,6	0,030	52,5	22,7	37,7
	7,8	0,23	50,5	1,9	0,030	40,5	25,4	31,2
	7,3	0,24	53,1	2,0	0,033	45,6	28,9	30,2
	7,5	0,20	51,4	4,0	0,030	33,8	21,0	31,5
	9,7	0,24	44,4	2,1	0,015	37,4	24,7	69,3
	14,4	0,20	46,0	6,3	0,025	27,5	15,4	611,1
	11,3	0,21	52,2	4,7	0,017	34,6	15,0	Более 950
	11,8	0,15	36,8	6,9	0,016	29,5	13,9	584,4
	10,7	0,26	60,5	4,5	0,007	37,1	26,1	99,1
	11,3	0,20	39,5	5,5	0,009	36,6	30,9	249,1
	11,9	0,22	42,8	4,2	0,010	29,5	22,9	135,7
	9,4	0,25	46,1	4,0	0,005	28,9	21,1	169,8

Валовое содержание свинца в пробах не превышает ОДК и ПДК. Валовое содержание кадмия не превышает ОДК. Валовое содержание никеля в 2 пробах не входит ОДК (8 и 10), а 10 из них варьируются от 40 до 80 мг/кг. Валовое содержание мышьяка в пробах № 6, № 8 и № 10 входит в ОДК от 5 до 10 мг/кг, остальные почвенные образцы имеют показатели менее 5 мг/кг. Сравнивая с ПДК (2,1 мг/кг) валовое содержание ртути, в пробах не выявлено превышение. Показатели меди не входят в диапазон значений ОДК (66–132 мг/кг) и варьируются от 13,9 мг/кг (проба № 8) до 30,9 мг/кг (проба № 10).

Содержание нефтепродуктов в почве (пахотный горизонт 0–30 см) превышает фоновые значения для почв Российской Федерации (100 мг/кг) в пробах № 6, № 7, № 8, № 10, № 11, № 12. Проба № 9 находится на грани превышения фонового образца (99,1 мг/кг). Остальные пробы (№ 1, № 2, № 3, № 4, № 5) содержат от 30,2 мг/кг до 69,3 мг/кг нефтепродуктов, что не является загрязнением. Пробы №№ 6–12 соответствуют уровню повышенного фона для почв РФ (100–500 мг/кг) [10].

Согласно схеме (рис. 1), почвенные образцы были отобраны в пределах двух геохимических ландшафтов, разделенных глубокими эрозионными образованиями: элювиального и супераквального.

Для дальнейшего анализа развития ситуации был использован классификатор барьеров Перельмана А.И., с помощью которого определены участки гипергенеза с набором геохимических барьеров: биогеохимических; физико-химических (восстановительных – сульфидных, глеевых, щелочных, испарительных, адсорбционных), в условиях горизонтального углеводородного барьера [15].

На представленном мезорельефе результатами лабораторных анализов проб почв микроэлементов подтверждено наличие природных геохимических барьеров и образование техногенных геохимических барьеров по классификации Перельмана.

Для выявления связей между содержанием тяжелых металлов, с выбранных участков, и устойчивостью углеводородных барьеров были построены графики показателей концентрации по участкам исследования (рис. 2–16).

Проведено определение содержания микроэлементов в нефти Оренбургского НГКМ. Выявлены следующие составляющие: алюминий Al (асфальтены) – 0,07 ppm, мкг/г, в смолах алюминий

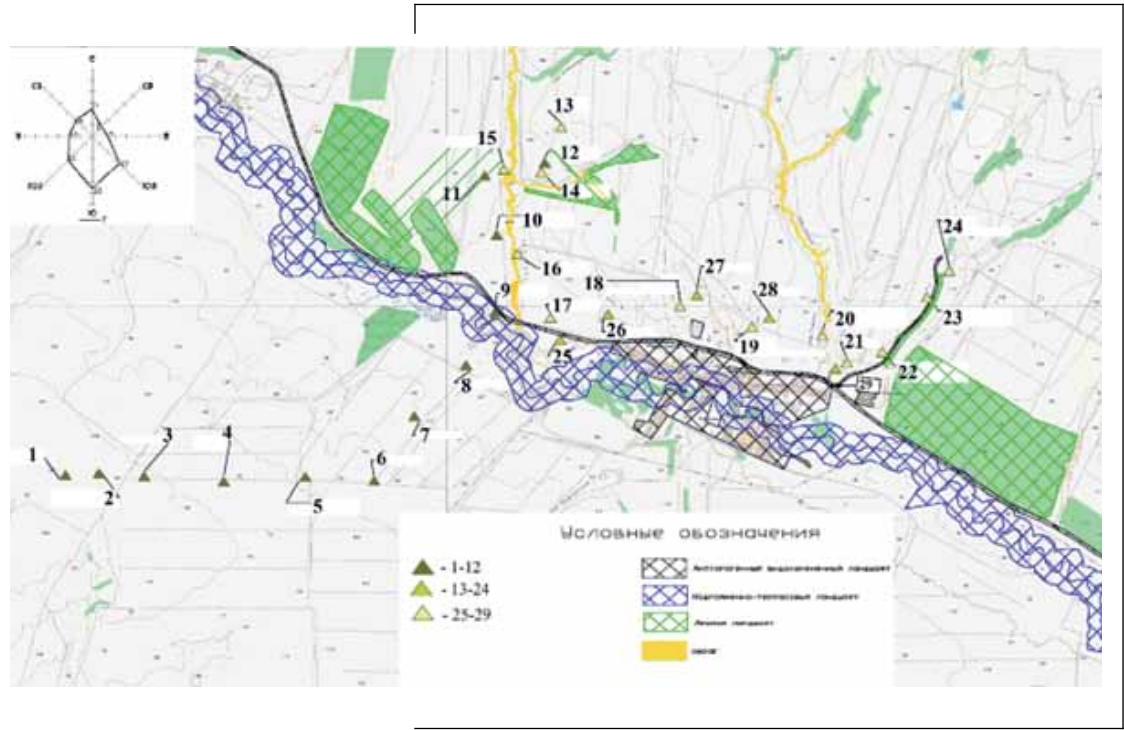


Рис. 1. Карта-схема исследуемого участка с точками отбора почвенных образцов.
Условные обозначения:
1–12 — пробы, отобранные в 2018 году;
13–24 — пробы, отобранные в 2019 году;
25–29 — пробы, отобранные в 2020 году.

Fig. 1. Schematic map of the study area with the points of sampling of soil samples.
Symbols:
1–12 — Samples taken in 2018;
13–24 — Samples taken in 2019;
25–29 — Samples taken in 2020.

не обнаружен, В (смолы) – 0,15 мкг/г, В (асфальтены) – 0,09 мкг/г, хром Cr (смолы) – 0,13 мкг/г, Cr (асфальтены) – 0,03 мкг/г, медь Cu (смолы) – 0,086 мкг/г, Cu (асфальтены) – 0,15 мкг/г, железо Fe (смолы) – 0,054 мкг/г, Fe (асфальтены) – 0,079 мкг/г, никель Ni (смолы) – 0,105 мкг/г, Ni (асфальтены) – 0,16 мкг/г, вольфрам V (смолы) – 0,55 мкг/г, V (асфальтены) – 5 мкг/г, цинк Zn (смолы) – 0,07 мкг/г, Zn (асфальтены) – 0,27 мкг/г.

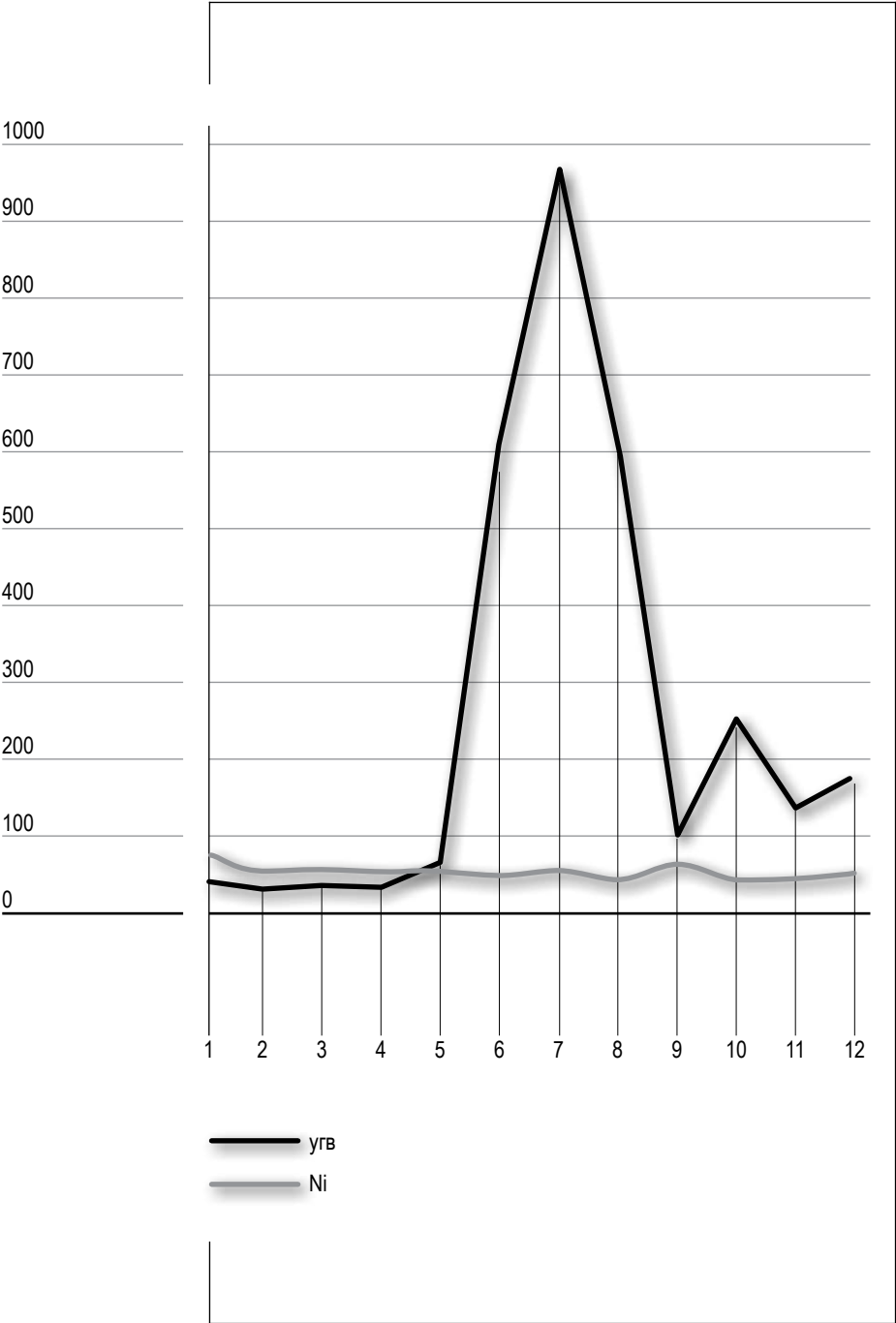


Рис. 2. Зависимость концентрации никеля (Ni) мг/кг от количества нефти.
Fig. 2. Dependence of nickel (Ni) concentration mg/kg on the amount of oil.

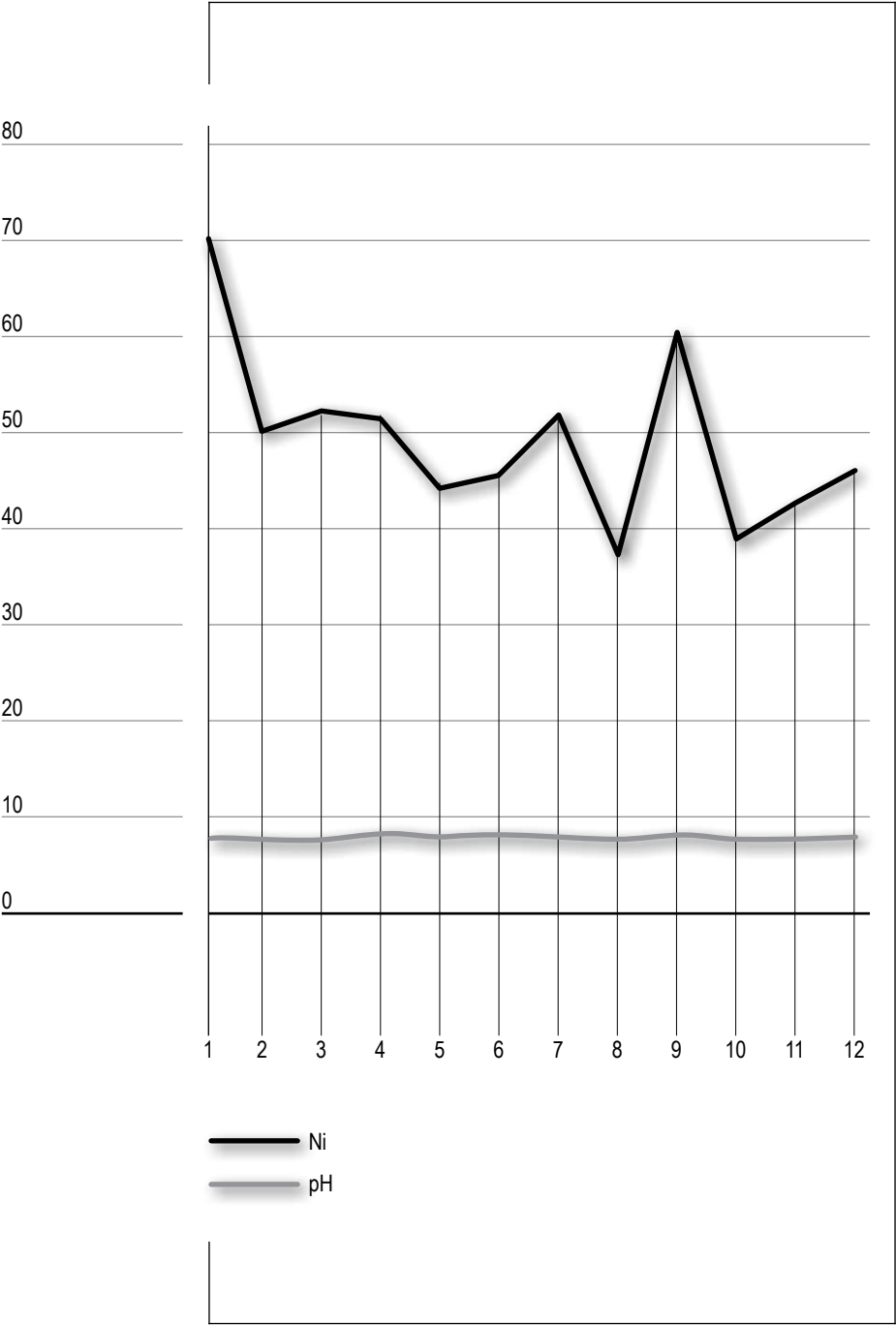


Рис. 3. Зависимость концентрации никеля (Ni) мг/кг от водород-ной составляющей (pH).
Fig. 3. Dependence of nickel (Ni) mg/kg concentration on the hydro- gen component (pH).

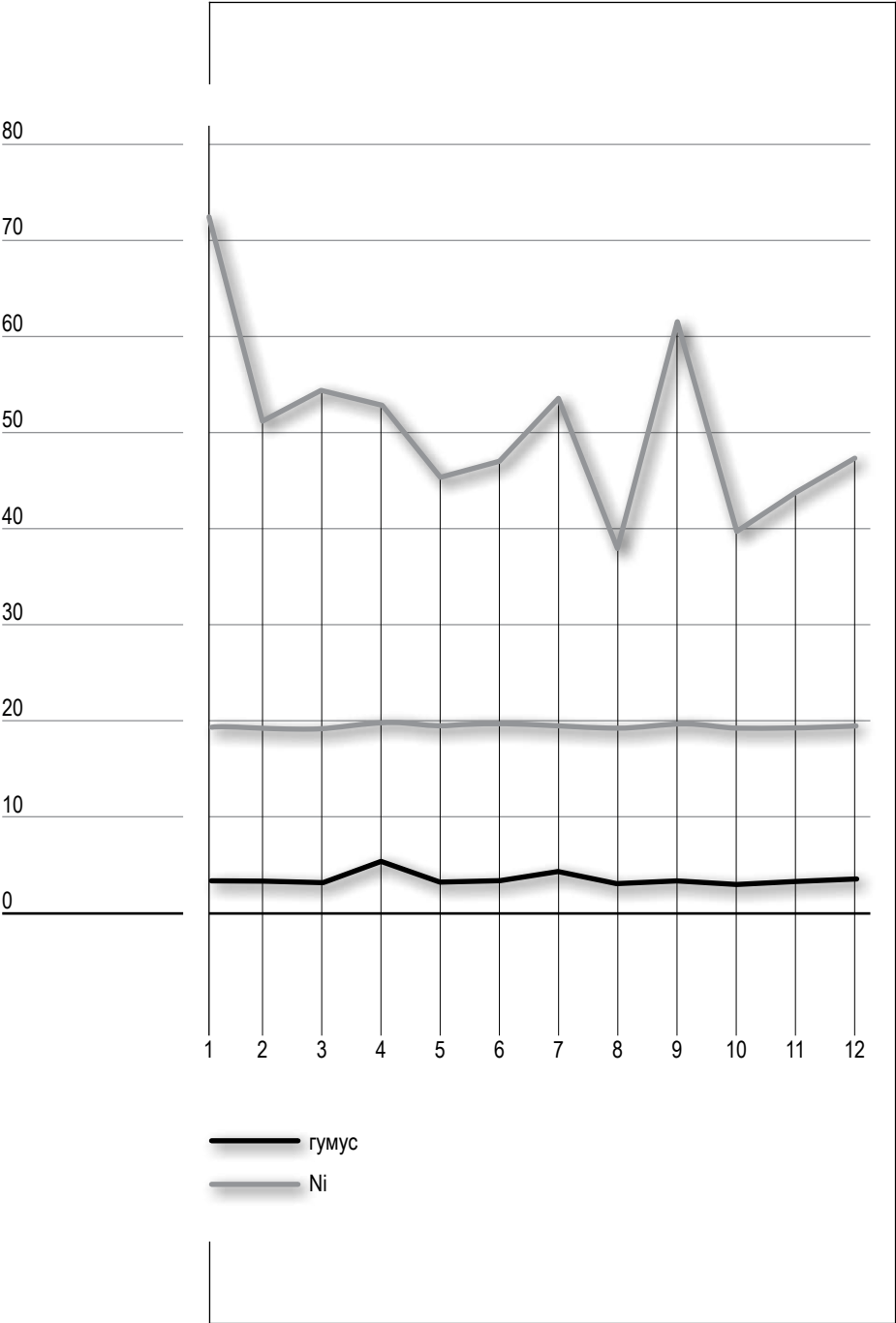


Рис. 4. Зависимость концентрации цинка (Ni) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 4. Dependence of the concentration of zinc (Ni) mg/kg on the humic component (humus).

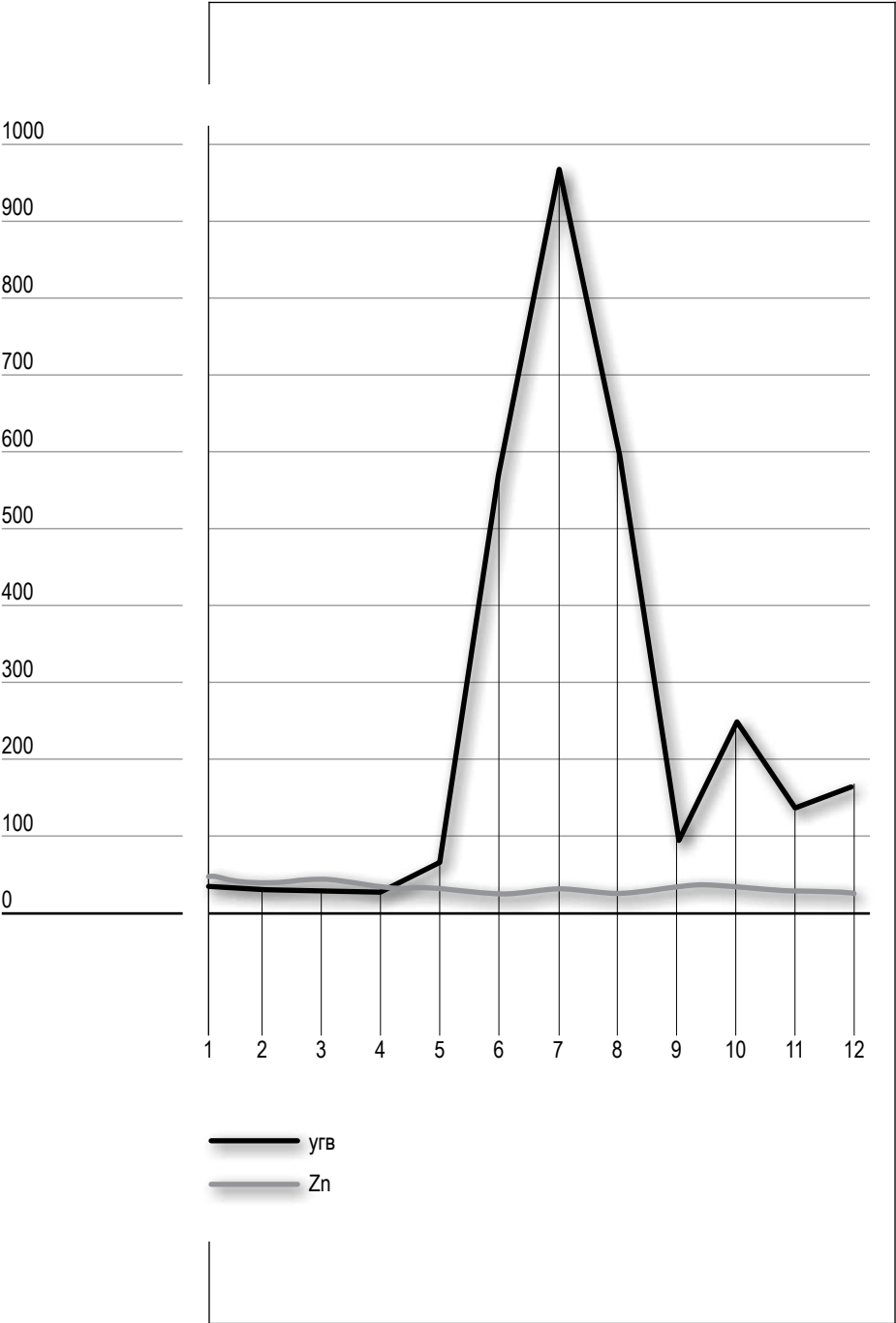


Рис. 5. Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от количества нефти.
Fig. 5. Dependence of the concentration of zinc (Zn) mg/kg on the amount of oil.

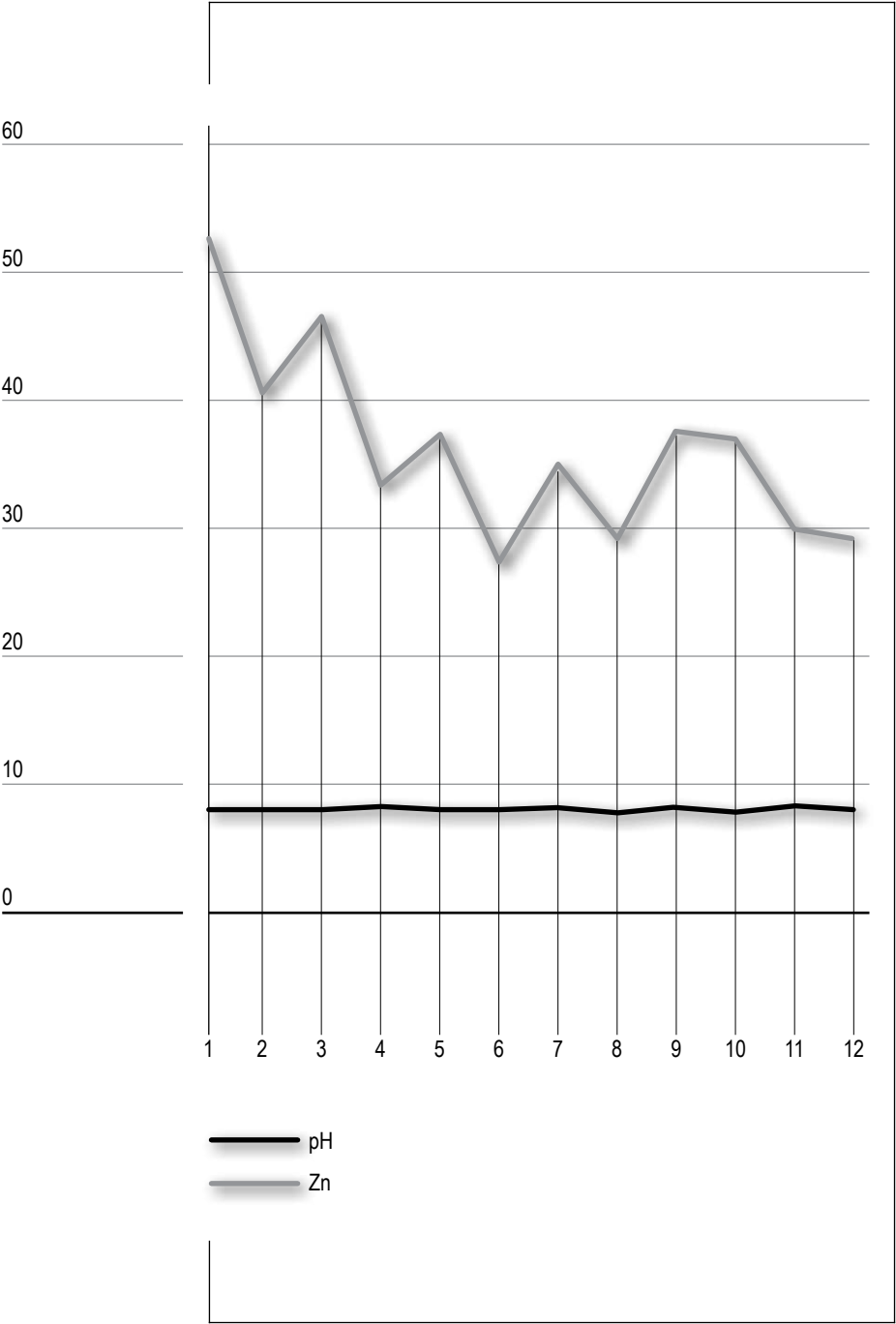


Рис. 6. Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 6. Dependence of zinc concentration (Zn) mg/kg on the hydrogen component (pH).

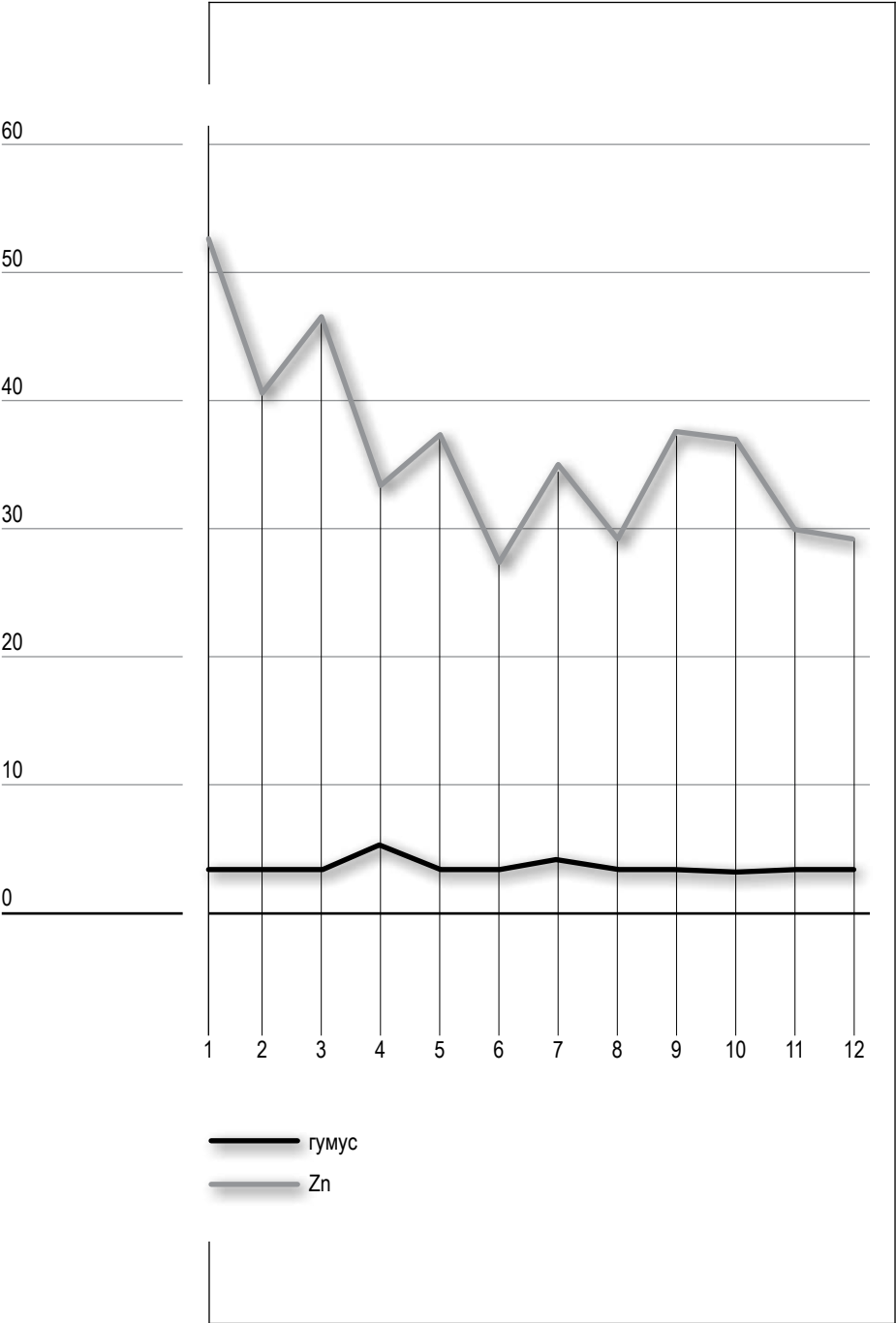


Рис. 7.

Зависимость концентрации цинка (Zn) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 7. Dependence of zinc concentration (Zn) mg/kg on the humic component (humus).

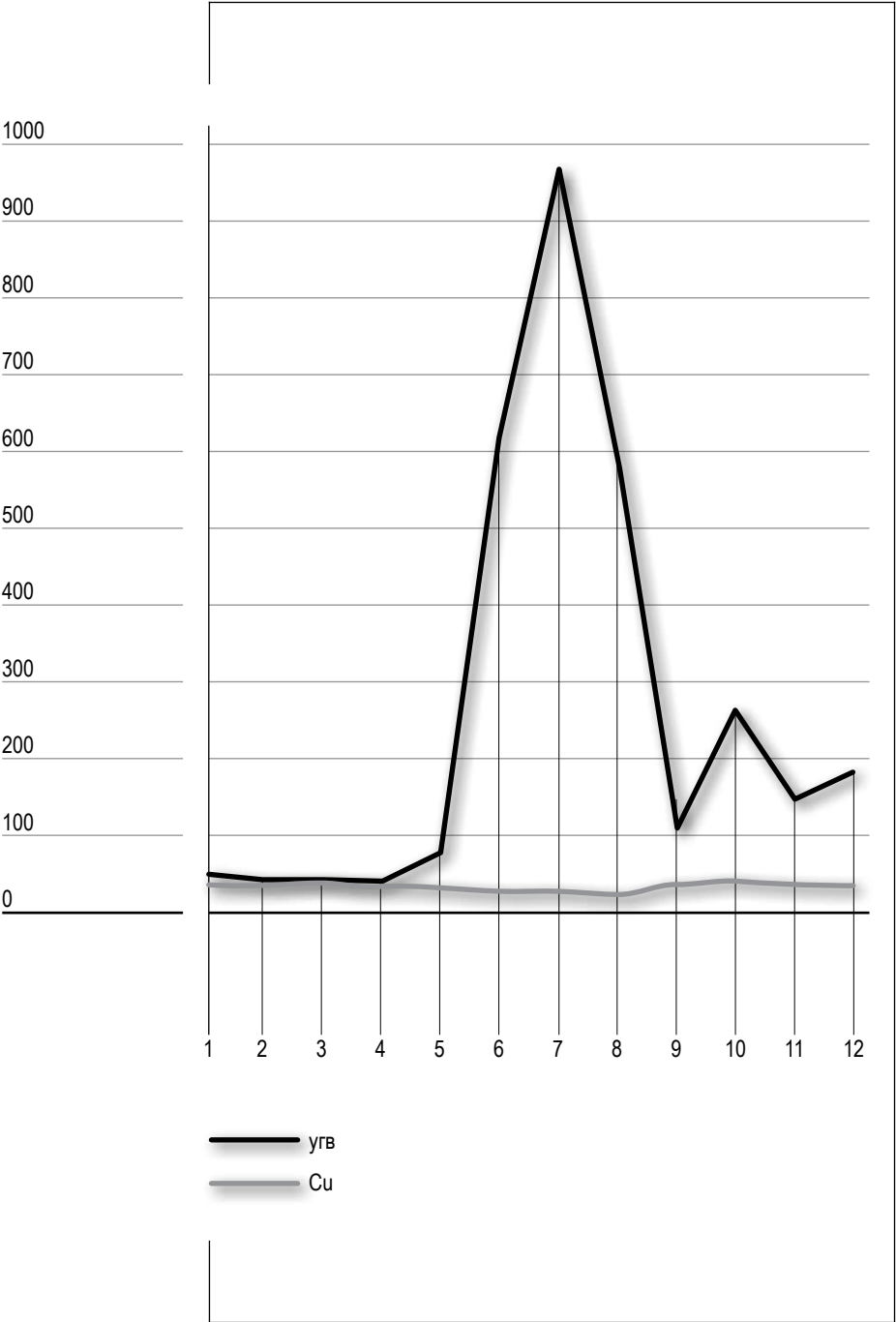


Рис. 8. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от количества нефти.
Fig. 8. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the amount of oil.

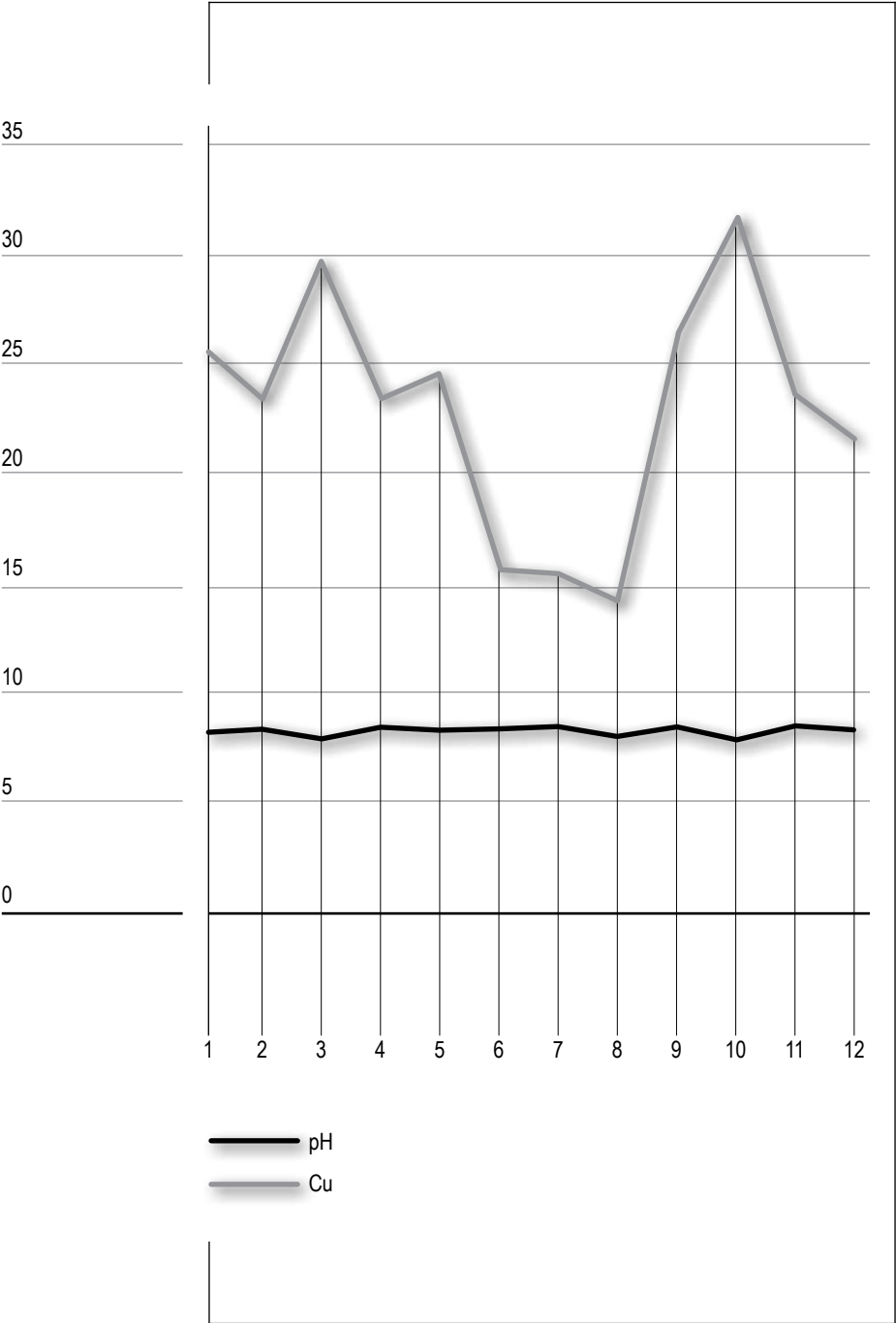


Рис. 9. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 9. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the hydrogen component (pH).

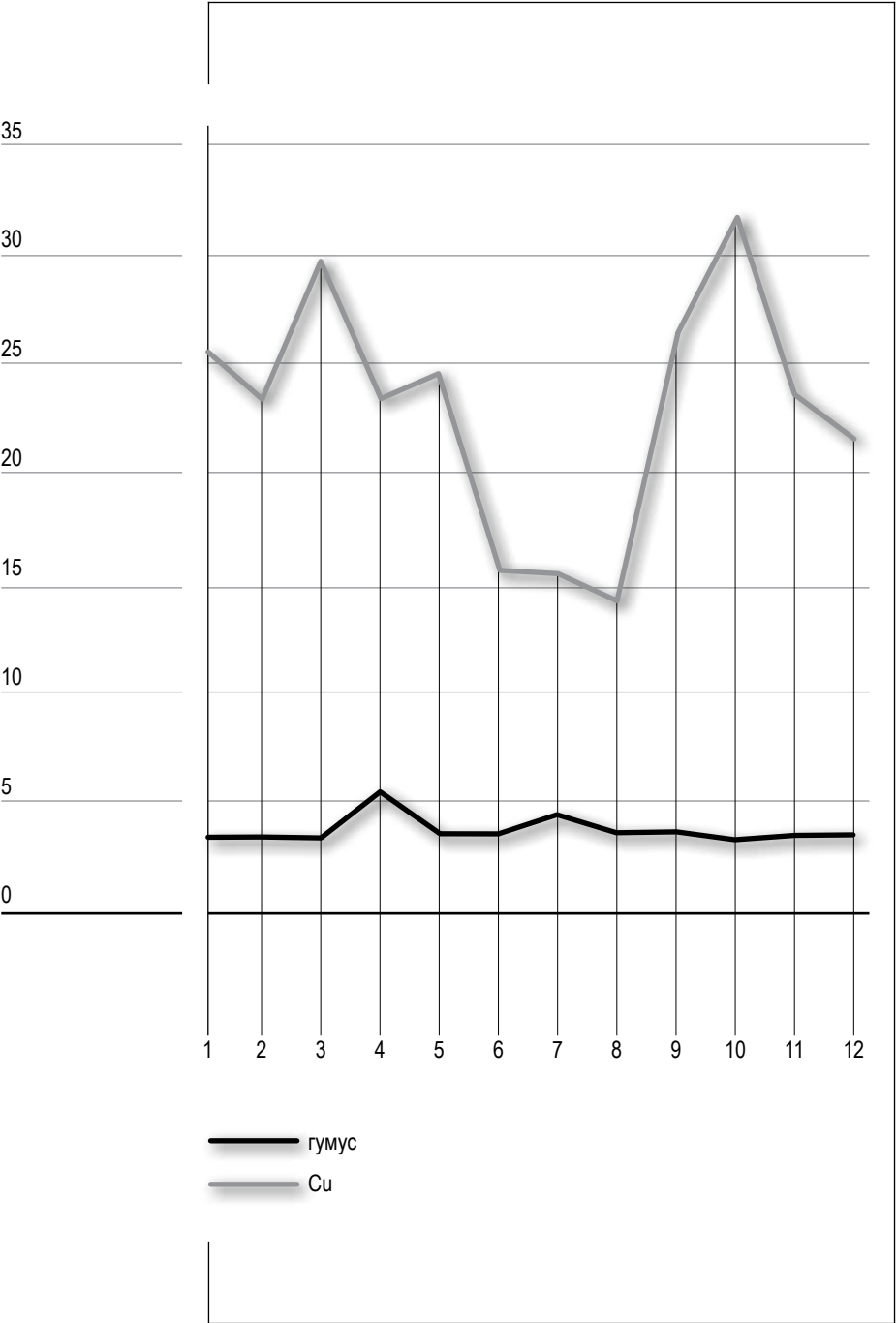


Рис. 10. Зависимость концентрации меди (Cu) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 10. Dependence of the concentration of copper (Cu) mg/kg on the humic component (humus).

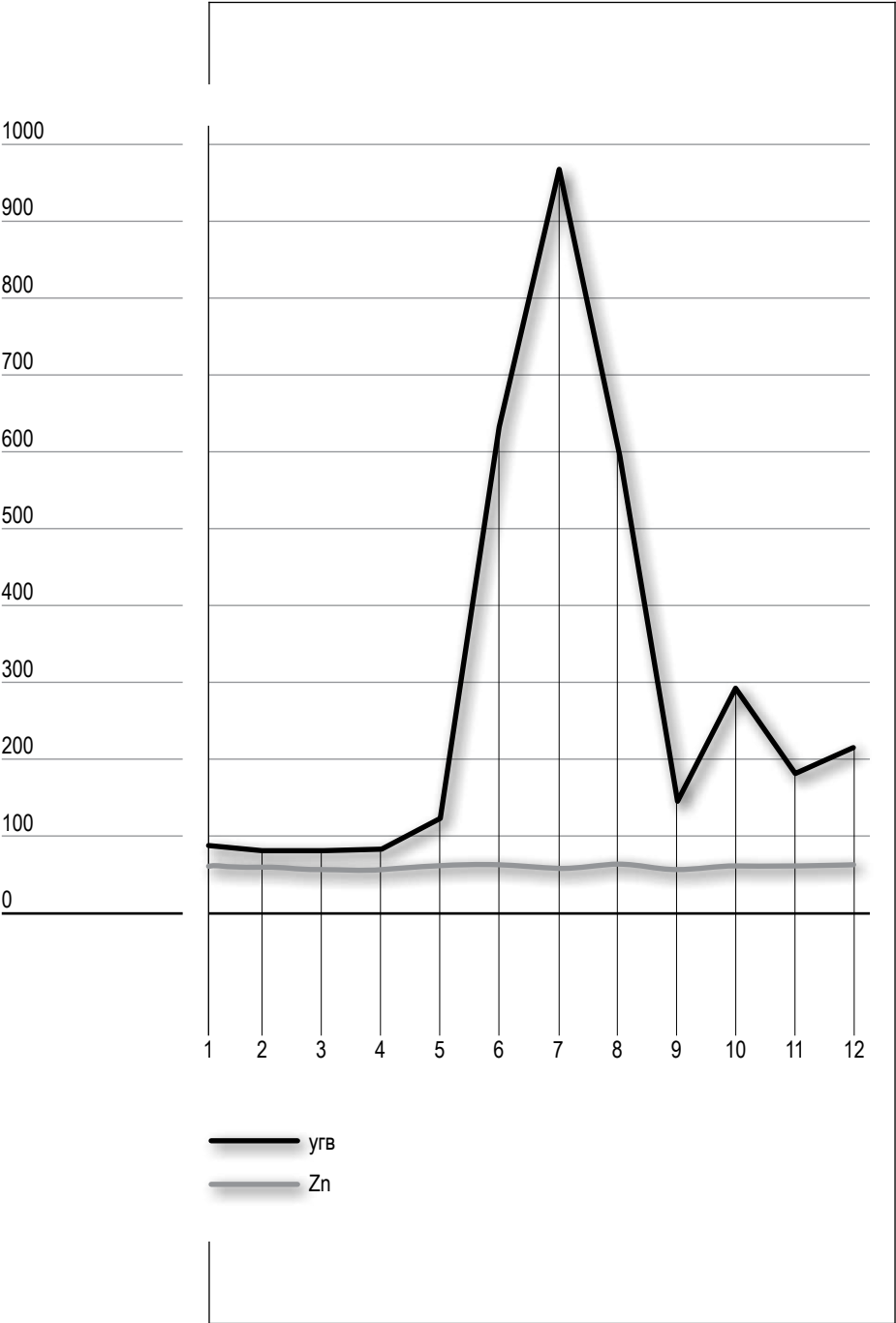


Рис. 11. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от количества нефти.
Fig. 11. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the amount of oil.

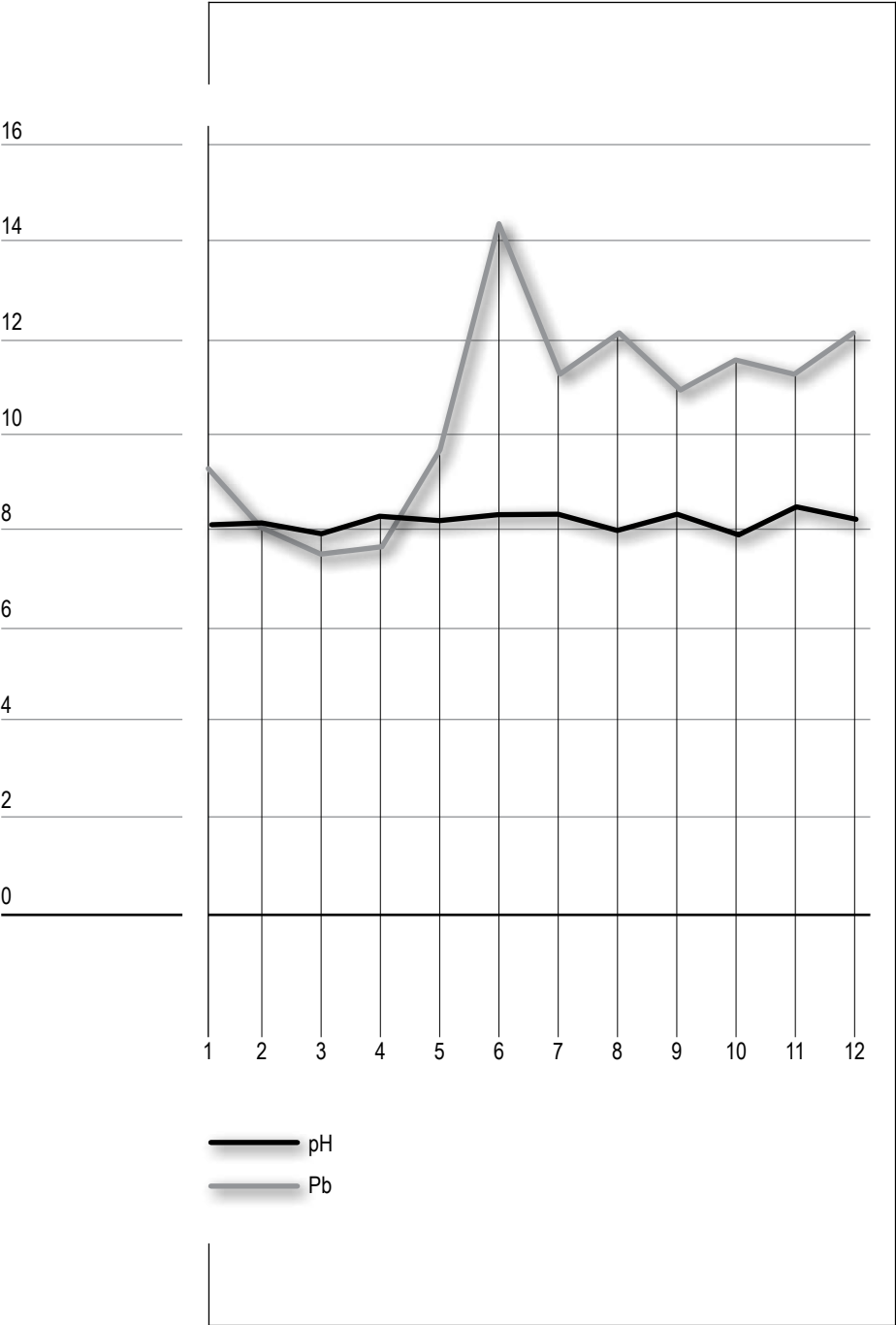


Рис. 12. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 12. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the hydrogen component (pH).

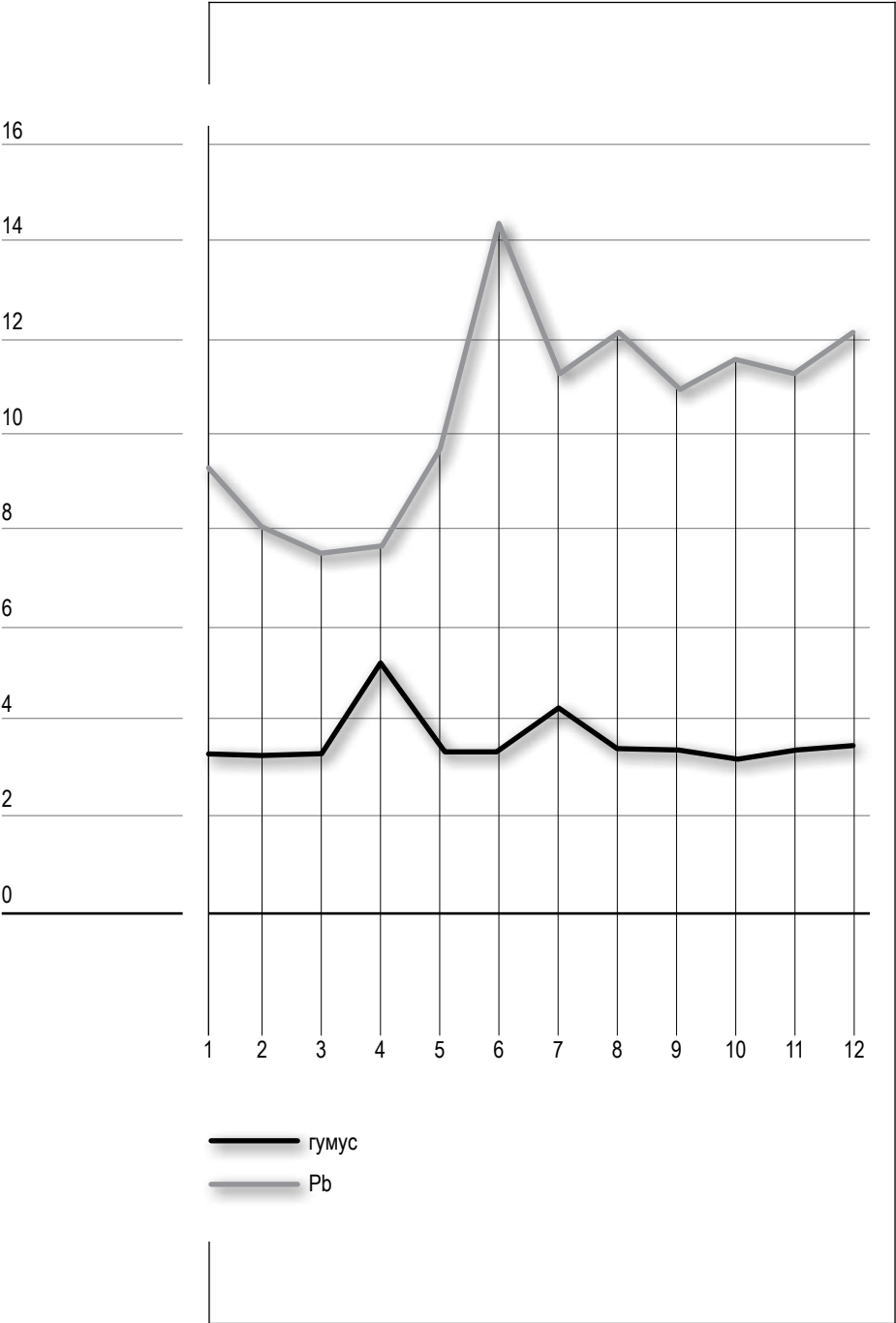


Рис. 13. Зависимость концентрации свинца (Pb) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 13. Dependence of the concentration of lead (Pb) mg/kg on the humic component (humus).

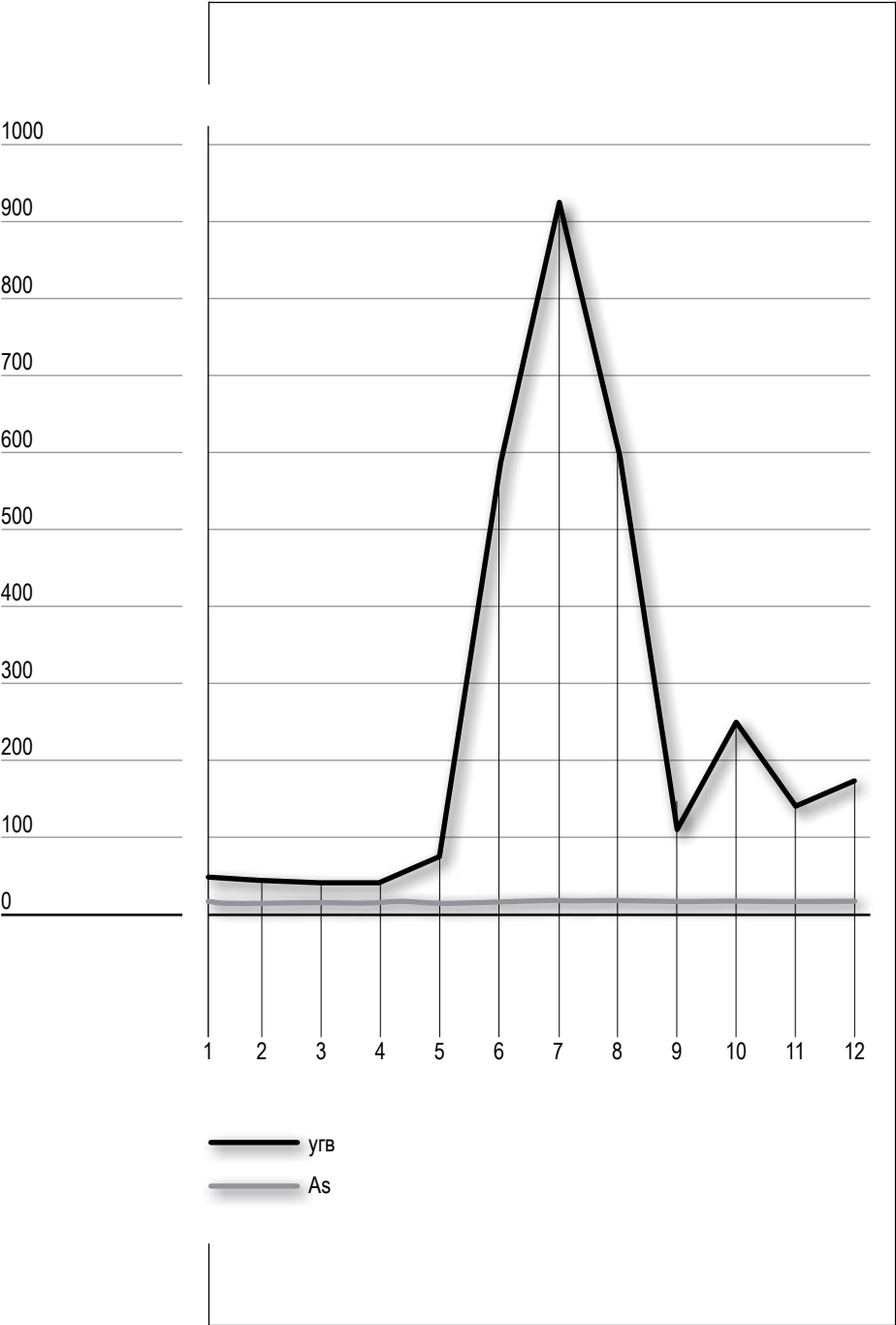


Рис. 14. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от количества нефти.
Fig. 14. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the amount of oil.

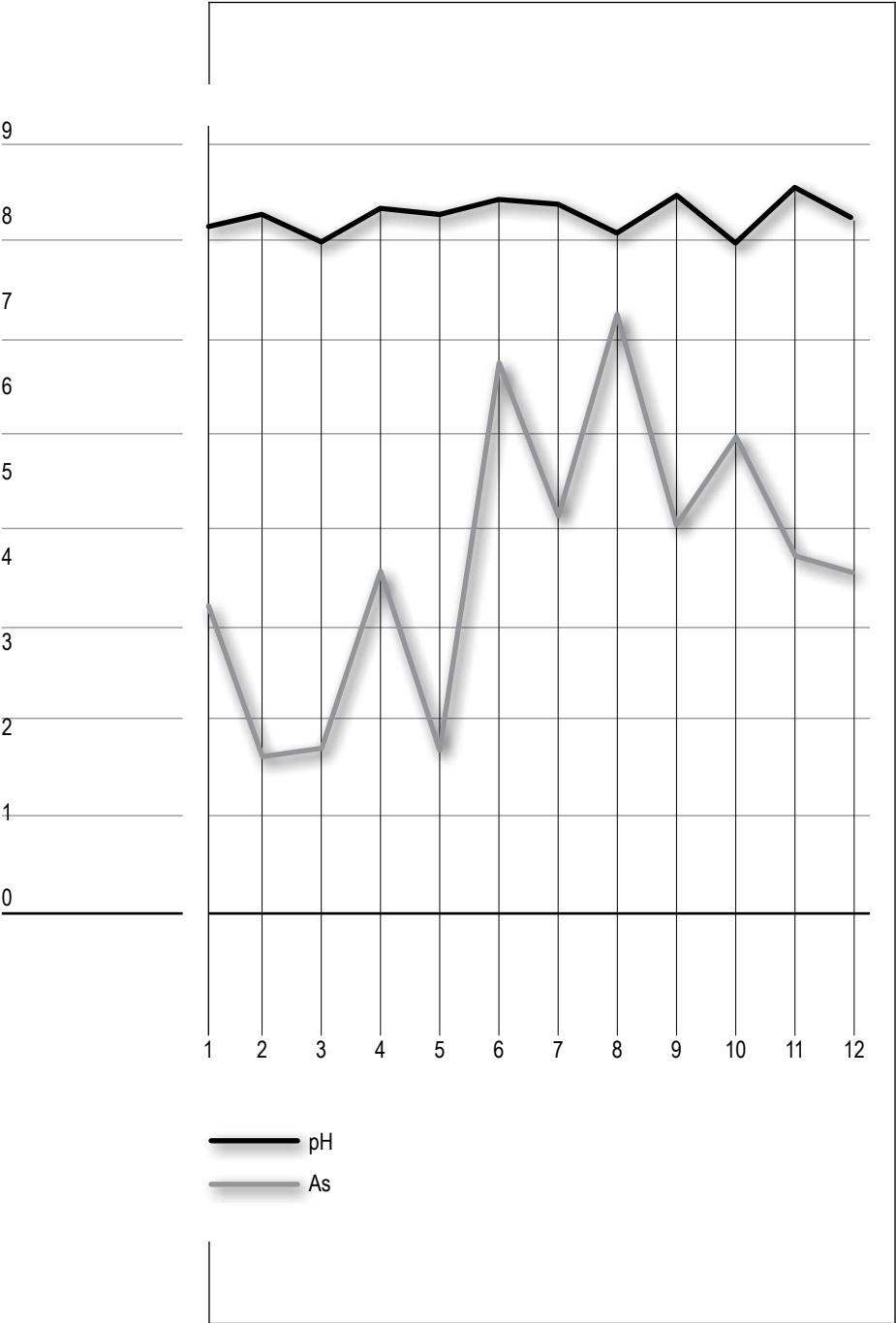


Рис. 15. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от водородной составляющей (pH).
Fig. 15. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the hydrogen component (pH).

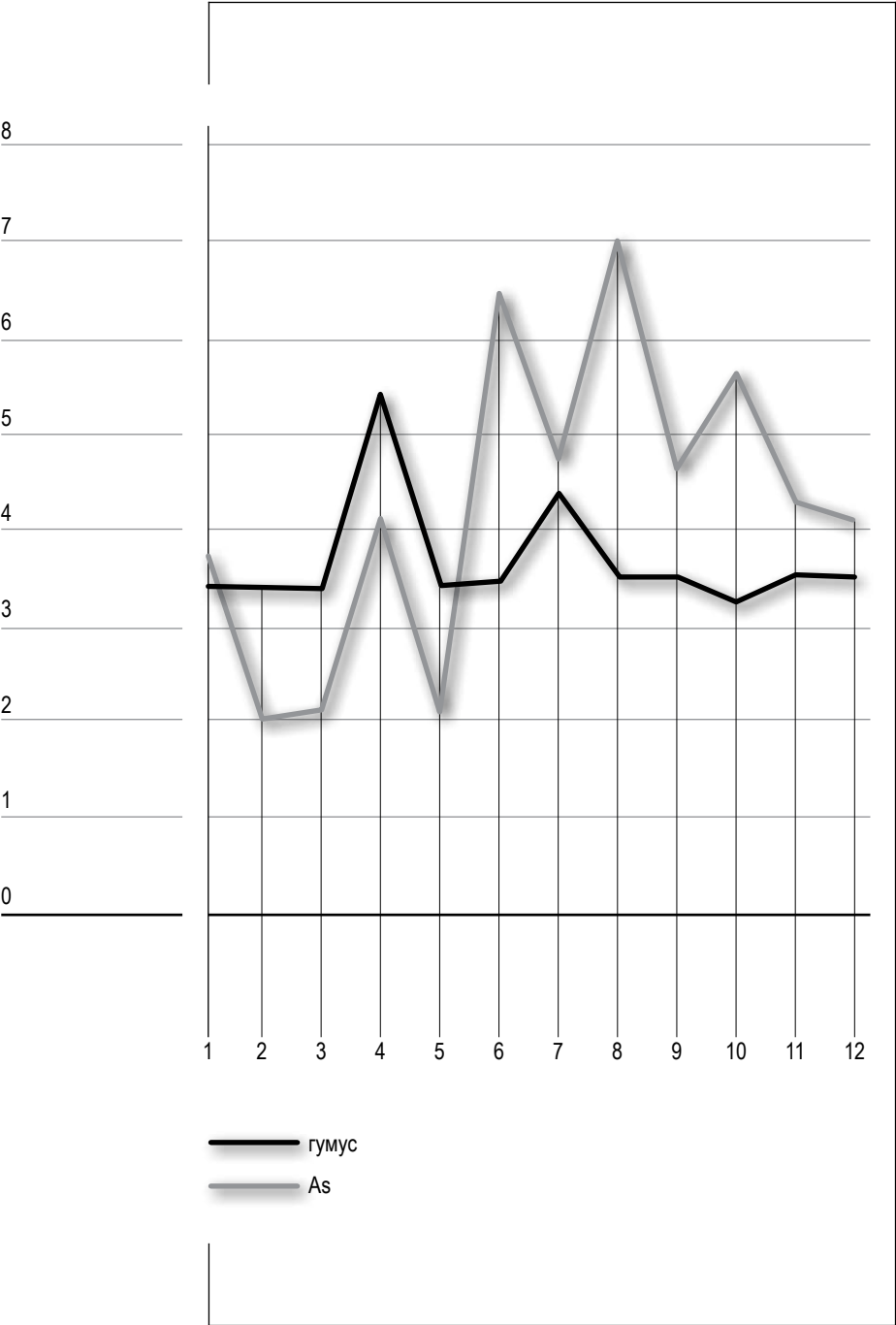


Рис. 16. Зависимость концентрации мышьяка (As) мг/кг от гумидной составляющей (гумус).
Fig. 16. Dependence of the concentration of arsenic (As) mg/kg on the humic component (humus).

На участке, имеющем первичные признаки загрязнений, выявлено наличие темных пятен маслянистого типа с характерным запахом нефти. Проведено шурфление и отбор проб почв, в результате исследования подтверждено просачивание нефти до глубины 3 м. Максимальное содержание углеводов на глубине 1 м составило 68 мг/кг. В почвенном слое участка работ 2019 года, содержание углеводорода (от точки 13 до точки 17) в пределах 30 мг/кг, от точки 18 до точки 24 содержание от 69 мг/кг до 950 мг/кг. Данное распределение связано с естественной миграцией поллютанта и понижением рельефа урочища реки Бобровка в комплексе с техногенным барьером – дорожной артерией. По пробам почв в точках 20–22 ширина загрязнения составляет 200 метров. Необходимо определить площадь загрязнения или сформированного углеводородного геохимического барьера, что позволит выявить прямую закономерность влияния загрязнения нефтью на увеличение содержания тяжелых металлов.

На исследуемом участке элювиальных отложений суглинистой почвообразующей основы, водородный показатель принимает значения в 7–8 pH, что соответствует нейтральной среде. Это свидетельствует о создании цепей из устойчивых геохимических барьеров с ограничением доступа осадков в поровое пространство почв. На основании результатов анализа, а также накопленного ранее научного материала, растворение поллютантов происходит в почве при снижении pH, но в проведенном исследовании этого не наблюдается.

О возможном распространении барьеров свидетельствуют вторичные признаки загрязнения ландшафта (изменение окраса растительности от зеленому к желтому, наличие запаха углеводорода, увеличение разреженности растительного покрова). Геохимический барьер, сформированный тяжелыми металлами, выше углеводородного барьера, что ведёт к расширению общего физико-химического барьера, из чего можно сделать вывод, что чем дольше не ликвидировать углеводородный барьер, тем обширней будут последствия от расширения естественных барьеров.

Заключение

Почвообразующими породами для формирования почв исследуемого участка, в результате литогенеза, стали делюви-

альные глины и суглинки. На данный момент отмечено отсутствие дернового слоя, в виде сплошного почвенно-растительного слоя, ввиду высокой разреженности травостоя. Почвенно-растительный слой нарушается в результате сельскохозяйственной деятельности, распашки полей и отсутствию восстановительных работ на ранее эксплуатированных участках. На исследуемой территории травостой типчаково-ковыльных степей низкий и разреженный. В весенний период образованная растениями биомасса высыхает и истлевает под действием солнца, не участвуя в почвообразовательных процессах. Лесные посадки занимают не более 15 % территории, что ведет к снижению устойчивости ландшафта, развитию процессов опустынивания и эрозии.

Оценка способности южных черноземов захватывать и удерживать тяжелые металлы в условиях углеводородного загрязнения представляется возможной благодаря сформированному углеводородному барьеру, сформированному в результате просачивания нефти в почву на глубину до 3 метров. Ширина барьера определялась на участке максимальных значений насыщений нефтепродуктами и составила порядка 200 метров.

Попытки установления зависимостей миграции тяжелых металлов от степени загрязнения углеводородами привели к выявлению устойчивой зависимости свинца, а также роста величины его содержания, от степени насыщения почв нефтью. Содержание остальных микроэлементов пропорционально наибольшему распространению техногенного барьера по территории.

В пробах почвы не обнаружено загрязнение бенз(а)пиреном (от менее 0,004 до 0,0081).

Содержание нефтепродуктов в почве в шести пробах превышает фоновое значение для РФ; в пробе № 9 нефтепродукты находятся на грани превышения, а пробы №№ 1–5 не содержат загрязнения.

Содержание тяжелых металлов в почвенных образцах не превышает ПДК и ОДК, что свидетельствует об отсутствии загрязнения исследуемых участков.

Результаты исследований и наблюдений указывают на необходимость проведения рекультивационных работ, а именно техни-

ческого и биологического этапа с соблюдением охраны окружающей среды.

Цель технического этапа рекультивации – подготовка нарушенных земель для их дальнейшей обработки и последующей биологической рекультивации.

Биологический этап направлен на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы. Предлагается осуществить биоремедиацию почвы, внести биопрепараты, подготовить почву для высадки сидератов (зеленых удобрений), залужение. После проведенных мероприятий по восстановлению от нефтепродуктов, участок можно будет использовать по целевому назначению и разрешенному использованию. Рекультивационные мероприятия должны быть направлены на приведение территории в состояние, пригодное для её использования.

В результате проделанной работы предельно допустимая концентрация тяжелых металлов, установленная законодательством, не в полной мере отражает состояние почвенного покрова. Предложенная комплексная характеристика ландшафта может дать понимание реального положения экологической ситуации. Создание тематической карты позволит сформировать общую картину состояния почв района, субъекта. Рекомендуется ввести понижающий коэффициент на предельно допустимую концентрацию тяжелых металлов от площади загрязнения или техногенного влияния.

Список источников

1. Ганжара Н. Ф. Почвоведение. М.: Агроконсалт, 2001. С. 392.
2. Еремченко О. З., Москвина Н. В. Экология почв. Практические задания: учебно-методическое пособие / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2022. С. 88.
3. Александрова Л. Н. Гумус как система полимерных соединений. Тр. юбилейной сессии, посв. 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М.: Изд. АН СССР, 1949. С. 105–110.
4. Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е. Н., Сивцева Н. Е. Введение почв и почвоподобных образований в классификацию

- почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
<http://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
5. Хитров Н. Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию Почвенного института им. В. В. Докучаева (Москва, 24–25 апреля 2002 года). М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 6. Воробейчик Е. Л. Устойчивость почвы и индикаторы оценки устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. (25 апреля 2002 г.). М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 7. Воробейчик Е. Л., Катаков С. С., Кайгородова С. Ю. Устойчивость почвы и индикаторы оценки устойчивости почв к внешним воздействиям // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тезисы доклада Всерос. конф. (25 апреля 2002 г.). М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева, 2002. 489 с.
 8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. С. 15.
 9. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. С. 10.
 10. Ежегодник загрязнения почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения. Обнинск: ГУ ВНИ-ИГМИ-МЦД, 2015. С. 1–112.
 11. ГОСТ 17.4.3.01-83. Общие требования к отбору проб. Охрана природы. Почвы: Сб. ГОСТов. М.: Стандартиформ, 2008. С. 1–5.
 12. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гос-санэпиднадзора Минздрава России, 2004. С. 1–9.
 13. ГОСТ 17.5.4.02-84. Рекультивация земель. Метод измерения и расчет суммы токсичных солей во вскрышных и вмещающих породах Охрана природы. Земли: Сб. ГОСТов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. С. 1–11.

14. Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема N 61-5678 от 27.12.1993 О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. С. 1–21.
15. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды: учебное пособие / Перм. гос. ун-т. Пермь. 2011. С. 248.

References

1. Ganzhara NF. Soil science. M.: Agroconsult; 2001. 392 p. (In Russ.).
2. Eremchenko OZ, Moskvina NV. Soil ecology. Practical tasks: an educational and methodical manual. Perm State National Research University. Electronic data. Perm; 2022. P. 88. (In Russ.).
3. Alexandrova LN. Humus as a system of polymer compounds. Tr. of the jubilee session dedicated to the 100th anniversary of the birth of BV Dokuchaev. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1949. P. 105–110. (In Russ.).
4. Prokofieva TV, Gerasimova MI, Bezuglova OS, Bakhmatova KA, Goleva AA, Gorbov SN, Zharikova EA, Matinyan NN, Nakvasina EN, Sivtseva NE. Introduction of soils and soil-like formations into the classification of soils in Russia. Soil science. 2014;(10):1155-1164. <http://doi.org/10.7868/S0032180X14100104> (In Russ.).
5. Khitrov NB. The idea of soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the All-Russian conference dedicated to the 75th anniversary of the VV Dokuchaev Soil Institute, Moscow, April 24–25, 2002. Moscow: VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).
6. Vorobeychik EL. Soil stability and indicators for assessing soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the report of the All-Russian Conference on April 25, 2002. Moscow: Publishing House of the VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).
7. Vorobeychik EL, Katkov SS, Kaigorodova SYu. Soil stability and indicators for assessing soil resistance to external influences. In Soil resistance to natural and anthropogenic influences: Abstracts of the report of the All-Russian Conference on April 25, 2002. Moscow: Publishing House of the VV Dokuchaev Soil Institute; 2002. 489 p. (In Russ.).

8. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soil: Hygienic standards. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2006. P. 15. (In Russ.).
9. Approximate permissible concentrations (APCs) of chemicals in soil: Hygienic standards. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor; 2009. P. 10. (In Russ.).
10. Yearbook of soil pollution of the Russian Federation with toxicants of industrial origin. Obninsk: GU VNIIGMI-MCD; 2015. P. 1-112. (In Russ.).
11. GOST 17.4.3.01-83. General requirements for sampling. Nature protection. Soils: Collection of GOST standards. M.: Standartinform; 2008. P. 1–5. (In Russ.).
12. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological requirements for soil quality: Sanitary and epidemiological rules and regulations. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2004. P. 1–9. (In Russ.).
13. GOST 17.5.4.02-84. Land reclamation. Method of measuring and calculating the amount of toxic salts in overburden and host rocks Nature Conservation. Lands: Sat. GOSTov. M.: IPK Publishing House of Standards; 2002. P. 1–11. (In Russ.).
14. Letter of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 04–25, Roskomzema No. 61-5678 dated 12/27/1993 On the procedure for determining the amount of damage from land pollution with chemicals. P. 1–21. (In Russ.).
15. Maksimovich NG, Khairullina EA. Geochemical barriers and environmental protection: studies. stipend. Perm State University. Perm; 2011. P. 248. (In Russ.).

Информация об авторе

Сергей Александрович Сидоренко – аспирант 4 года заочной формы обучения кафедры физической географии и кадастров высшей школы географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: JZC-8833-2024

Information about the author

Sergey A. Sidorenko – fourth-year PhD student of distance education, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: JZC-8833-2024

1. **ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**
1.6.12 Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки)

Научная статья
УДК 551.524; 551.588
<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ Г. ЕССЕНТУКИ

Евгения Андреевна Скрипчинская¹,
Дмитрий Сергеевич Тасенко^{2*},
Михаил Борисович Каган³

- ^{1,2} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)
³ Санкт-Петербургский государственный университет (д. 7–9, Университетская набережная, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация)
¹ gerdtea@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1490-3361>
² dimitri.tasenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2038-4561>
³ kagan.mikko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5106-6365>
* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Объектом исследования являются урболандшафты города Ессентуки. Целью работы является изучение пространственно-временной динамики теплового загрязнения среды г. Ессентуки и выявление факторов, влияющих на данный процесс. Ключевой задачей исследования является выявление зависимости изменения температуры поверхности земли от степени застроенности кварталов и озелененности. Применены методы дистанционного зондирования и географических информационных систем. Для анализа использованы космические снимки спутников Landsat 8 и Sentinel-2. В работе задействованы каналы – инфракрасный ближний и тепловой (спутник Landsat 8), а также видимый диапазон. Подсчитаны средние, максимальные и минимальные значения температуры поверхности по микрорайонам. Для сравнительного анализа были применены коэффициенты озелененности, градостроительной нагрузки и свободной территории. Обработка данных проверена в среде QGIS. Подсчитаны средние, максимальные и минимальные значения температуры поверхности по микрорайонам. Рассчитаны коэффициенты озелененности, градостроительной нагрузки и свободной территории. По итогам работы установлены пространственные особенности распределения тепловых аномалий, связанные с активной застройкой микрорайонов города. Создан картографический материал по

температуре поверхности земли за 2014, 2018 и 2022 годы и рассчитаны площади застроенных территорий и зеленой инфраструктуры. Подобные исследования дают многостороннюю оценку такого явления, как «остров тепла» и вносят существенный вклад в исследования климата города и воздействия процессов урбанизации на среду, позволяя контролировать микроклимат городских районов, выявлять направление и динамику изменений, существующих в городской среде. При планировке города необходимо учитывать результаты исследования с целью компенсации воздействия городского острова тепла. Первостепенная задача заключается в передаче знаний о городском климате в повседневную практику городского планирования и проектирования.

Ключевые слова: городская среда, градостроительная нагрузка, дистанционное зондирование, озеленённость, остров тепла, тепловое загрязнение среды, тепловые аномалии

Для цитирования: Скрипчинская Е. А., Тасенко Д. С., Каган М. Б. Пространственно-временная динамика теплового загрязнения среды г. Ессентуки // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 63-96. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 08.02.2024;
одобрена после рецензирования 16.04.2024;
принята к публикации 06.05.2024.

1.6.12.

Physical Geography and Biogeography, Soil Geography and Geochemistry Landscapes (Geographical Sciences)
Research article

Spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki

**Evgeniya A. Skripchinskaya¹,
Dmitriy S. Tasenko^{2*},
Mikhail B. Kagan³**

^{1, 2} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

³ Saint-Petersburg State University (7-9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034, Russian Federation)

¹ gerdtea@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1490-3361>

² dimitri.tasenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2038-4561>

³ kagan.mikko@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-5106-6365>

* Corresponding author

Abstract.

The object of the study is the urban landscapes of the city of Essentuki. The aim of the work is to study spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki and identify the factors influencing this process. The key task of the study is to identify the dependence of changes in the temperature of the earth's surface on the degree of residential development and landscape. Methods of remote sensing and geographic information systems have been applied. Satellite images of the Landsat 8 and Sentinel-2 satellites were used for the analysis. The work involves channels – infrared near and thermal (Landsat 8 satellite), as well as the visible range. The average, maximum and minimum values of surface temperature for microdistricts are calculated. For a comparative analysis, the coefficients of landscaping, urban planning load and free territory were applied. Data processing has been verified in the QGIS environment. The average, maximum and minimum values of surface temperature for microdistricts are calculated. The coefficients of landscaping, urban planning load and free territory are calculated. Based on the results of the work, the spatial features of the distribution of thermal anomalies associated with the active development of microdistricts of the city were established. Cartographic material on the temperature of the earth's surface for 2014, 2018 and 2022 years has been created and the areas of built-up areas and green infrastructure have been calculated. Such studies provide a comprehensive assessment of such a phenomenon as "heat islands" and make a significant contribution to the study of the city's climate and the impact of urbanization processes on the environment, allowing to control the microclimate of urban areas, identify the direction and dynamics of changes existing in the urban environment. When planning a city, it is necessary to take into account the results of the study in order to compensate for the impact of the urban heat island. The primary task is to transfer knowledge about the urban climate into the daily practice of urban planning and design.

Keywords:

urban environment, urban planning load, remote sensing, landscaping, heat island, thermal pollution, thermal anomalies

For citation:

Scripchinskaya EA, Tasenko DS, Kagan MB. Spatial-temporal dynamics of thermal pollution of the environment in Essentuki. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):63-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.3>

Conflict of interest:

the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 08.02.2024;
approved after reviewing 16.04.2024;
accepted for publication 06.05.2024.

Введение

Тепловое загрязнение – это изменение температуры окружающей среды, нарушающее естественные процессы экосистемы, превышающее естественный диапазон ее температурной изменчивости. В пределах городской среды отмечаются существенные антропогенные преобразования земной поверхности (плотная застройка; сокращение площадей, занятых зелеными насаждениями). С каждым годом власти городов сталкиваются с проблемой повышения температуры на урбанизированных территориях. Данный термин получил название «острова тепла». Это определяет формирование острова тепла, метеорологического явления, заключающегося в повышении температуры городского пространства относительно окружающих его природных ландшафтов [1]. Изучение «острова тепла» является одним из важнейших вопросов современного территориального планирования и градостроительства.

Важным инструментом регулирования качества городской среды является создание сбалансированной системы «озелененность – застроенность». Уравновешенные системы способны нивелировать и минимизировать неблагоприятное антропогенное воздействие [2].

Вопросы, которые касаются изысканий по «островам тепла» актуальны и рассматриваются в работах С. Кнайта, К. Смит, М. Робертса, Ф. Ван Дер Хувена, А. Вандла, Д. Басара, Б. Илстона, К. Кроуфорда, А. Буантуева, Д. Ву, В.В. Алексашина, Ле Минь Туан, А.А. Медведкова, А.А. Высоцкой, А.В. Ольчева, П.В. Спорышева, В.М. Катцова, А.С. Горшкова, Н.И. Ватина, П.П. Румкевича, М. Парсай, М.М. Джоубари, П.А. Мизраел, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Д. Оленькова, А.Д. Бирюкова, В.А. Сухорукова, Е.В. Варламова, В.С. Соловьева, Е.А. Балдиной, П.И. Константинова, М.Ю. Грищенко, М.И. Варенцева [1, 4, 5, 9, 15–23].

Материалы и методы исследований

Появление «островов тепла» в городской среде можно контролировать качественно и количественно при помощи современных технологий, таких как дистанционное зондирование территории. В данной работе применены методы дистанционного зондирования в оценке островов тепла в пределах городской среды Ессентуков.

В качестве исходных данных для изучения температуры поверхности земли применялись снимки американского спутника Landsat 8. Данные являются открытыми и находятся в свободном доступе на геопортале Геологической службы США [3]. Эти данные позволяют оценить внутреннюю пространственную структуру городских островов тепла и проследить динамику во времени и пространстве локальных тепловых аномалий [4]. Цифровые данные, полученные при помощи снимков Landsat 8, требуют предобработки и последующей постобработки при помощи специализированного программно-аппаратного обеспечения в области географических информационных систем.

Для решения задачи по определению температуры поверхности земли урболандшафта города Ессентуки был выбран летний промежуток времени за период в 8 лет: 2014 год (07.06; 03.08; 19.08) / 2018 год (27.06; 29.07; 14.08) / 2022 год (07.07; 08.07; 31.07). Даты выбраны из-за отсутствия облачности, дыма над городом Ессентуки и хорошей сопоставимости по погодным условиям. Данные за летний период каждого года усреднены. Снимки взяты с геопортала с 1 уровнем обработки данных, который не включает в себя атмосферную коррекцию [5].

В ПО QGIS через модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) проведена атмосферная коррекция, которая устраняет влияние атмосферы на снимок, а также преобразует значения радиации дошедших до сенсора спутника в значения реально отражённого от земли спектрального излучения солнечного света.

Для построения карт, отображающих показатели температур поверхности земли, необходимо произвести расчеты:

- 1) яркости;
- 2) яркостной температуры;
- 3) вегетационного индекса;
- 4) отражательной способности поверхности;
- 5) температуры поверхности.

Для этого необходимо воспользоваться определенными каналами Landsat 8, такими как: красный, ближнеинфракрасный и тепловой. Для работы рекомендован 10 тепловой канал, так как он в отличие от 11 канала менее подвержен бликам и засветам.

При создании карт температуры поверхности надо помнить про перевод из Кельвинов в градусы Цельсия. Стоит не забывать, что температура поверхности не равна температуре воздуха.

Исходной информацией для расчёта специализированных показателей, связанных с градостроительной нагрузкой, свободной территорией и озелененностью являются снимки спутника дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства Sentinel-2. Данные предоставляются в открытом доступе с улучшенным пространственным разрешением по сравнению с Landsat [6]. Для определения типа территории получен снимок с общедоступного информационного портала EarthExplorer [3] за 2022 г. и затем была проведена атмосферная коррекция.

Методика исследования основана на определении нормализованного относительного индекса растительности – NDVI, вычисляемого по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Расчеты показателей NDVI и определения площадей произведено в программном обеспечении QGIS в следующей последовательности действий:

1. Загрузка двухканальных растровых снимков в пространство QGIS.
2. Создание границ города и микрорайонов Ессентуков с помощью тега «admin_level» модуля OpenStreetMap.
3. Обрезка растровых снимков по загруженным контурам районов.
4. Определение диапазона зеленой растительности по NDVI для дальнейшего расчёта значений на территорию города Ессентуки.
5. Синтезирование полученных значений.
6. Классификация изображений в интегрированном

плагине SCP на основе участков-эталонов, данные о которых получены на спутниковом снимке с комбинацией каналов «естественные цвета».

7. Определение площадных характеристик в инструментах анализа «Зональная статистика растров».

Также в исследовании использовался генеральный план города, картографический материал по функциональному зонированию и кадастровые карты.

Озеленённость территорий города понимается как совокупность незастроенных и незапечатанных (т.е. не покрытых искусственными материалами: бетоном, асфальтом и т.п.) территорий с растительным покровом разного характера, предоставляющих экосистемные услуги.

Коэффициент озеленённости рассчитывался как отношение площади, занятой зелёными насаждениями, к площади квартала [7, 8]:

$$\text{Козел.} = S_{\text{зел.назед.}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (2)$$

Застроенной территорией считается территория, на которой имеются существующие или ещё строящиеся здания или сооружения.

Коэффициент градостроительной нагрузки – это отношение площади строений, находящихся внутри квартала, к площади квартала:

$$\text{Кград.} = S_{\text{строений}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (3)$$

Свободная территория подразумевает под собой открытые городские пространства, свободные от застройки в границах города.

Коэффициент свободной территории представляет собой отношение площади, незанятой строениями и зелеными насаждениями, к площади квартала:

$$\text{Ксвоб.} = S_{\text{своб.}} \div S_{\text{квартала.}} \quad (4)$$

Для обоснования полученных данных, касательно пространственной неоднородности температурных значений поверхности земли были рассчитаны, с использованием геоинформационные технологии, площадные показатели озелененности, застроенности и свободных территорий города [9].

Результаты исследований и их обсуждение

Город Ессентуки располагается на юге России, в Ставропольском крае и занимает площадь в 51,05 км², из которой 24,574 км² отведена под жилой фонд. Население города составляет 117,168 тыс. чел. по данным на 2022 год [10]. В сравнении с 2014 годом численность населения увеличилась на 13,65 % и составляла 103,093 тыс. чел. Прирост населения порождает строительство новых жилых кварталов, увеличиваться площадь застройки, зачастую расширение идет за счет зеленой инфраструктуры и свободных территорий.

Город Ессентуки дифференцирован на 17 микрорайонов, которые обозначены на рисунке 1.

По результатам обработки космических снимков построены карты температур поверхности земли города Ессентуки за летний период 2014, 2018 и 2022 годы и проведён их сравнительный анализ.

Средняя температура поверхности земли города Ессентуки в летний период 2014 году составляет 32,8 °С. Большая часть территории города имеет температуру в диапазоне от 25 °С до 30 °С. В 2014 году только начиналась активная застройка окраинных территорий города, таких как микрорайоны: Белый Уголь, Южный, Озеро, Дачи, Пятая Школа и Восточный. Аномальное повышение температуры наблюдается лишь в микрорайоне Прибрежный. Данный микрорайон можно определить, как «проблемный», а, следовательно, требуется особое внимание к его озеленению (рис. 2). Именно 2014 год является переломным моментом в интенсивной урбанизации территории Ессентуков сопровождающейся масштабной застройкой.

В 2018 году средняя температура поверхности земли города Ессентуки, в исследуемый период, составила 34,7 °С, что почти на 2 °С выше, в сравнении с 2014 годом. Тепловые аномалии террито-

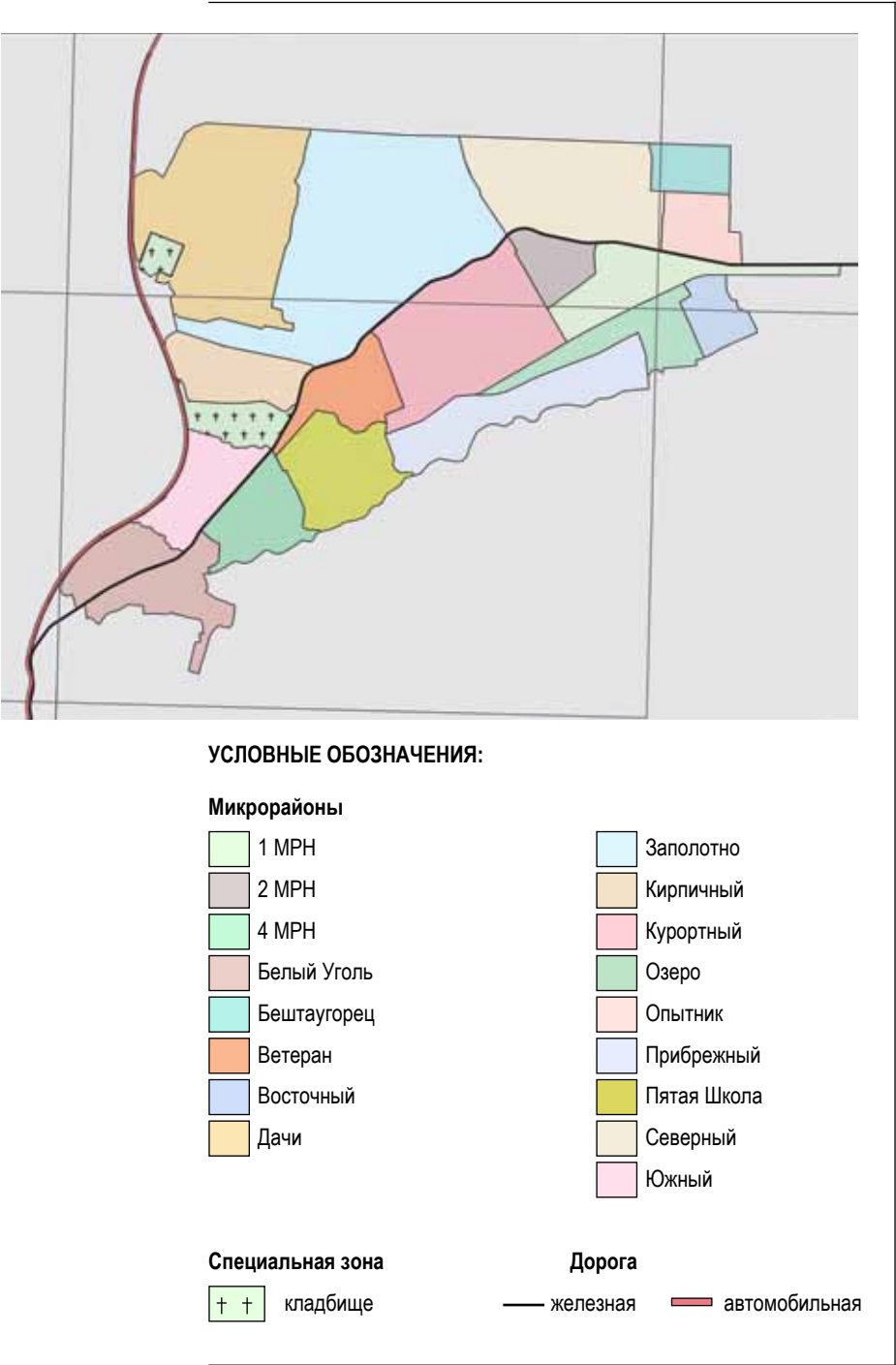


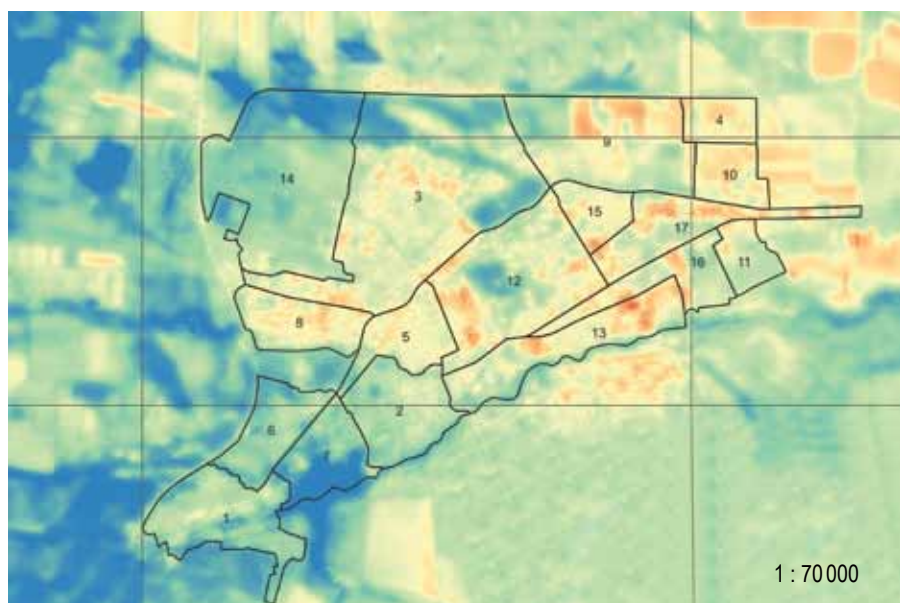
Рис. 1.

Микрорайоны города Ессентуки.

Fig. 1. Microdistricts of the city of Essentuki.

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:****Микрорайоны**

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

Температура в °С**Спутники**

Landsat 8 7 июня 2014 г.
Landsat 8 3 августа 2014 г.
Landsat 8 19 августа 2014 г.

Рис. 2.**Температура поверхности земли г. Ессентуки
(лето, 2014 г.) (°С).**

Fig. 2. The temperature of the ground surface in Essentuki
(summer, 2014) (°C).

Источник:

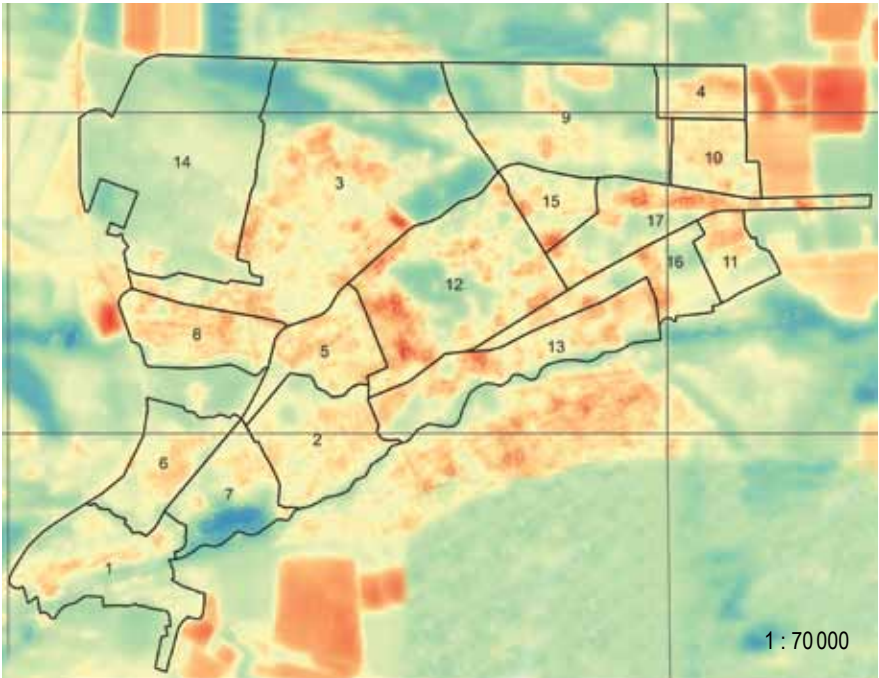
составлено авторами / Source: compiled by the authors.

рии отмечаются в микрорайоне Курортный, вблизи центра города и рекреационной зоной Курортного парка; в микрорайоне 1 МРН, неподалёку от выезда из города, что связано с большой транспортной нагрузкой; в микрорайоне Заполотно, около рекреационной зоны Парка Победы. В 2018 году ещё не начата застройка микрорайонов Озеро, где расположен локальный «остров прохлады» города, Северный, Восточный и Дачи, ввиду их окраинного территориального размещения. Данные тенденции по показателям температур поверхности земли хорошо прослеживаются на картографическом материале, визуализируются значительные площади с температурой 35–40 °С (рис. 3).

В июле 2022 году увеличиваются темпы прироста средней температуры поверхности земли города (+2,4 °С). Происходит повышение температуры с 34,7 °С (2014 г.) до 37,1 °С. Сохраняется тенденция усиления городского острова тепла. В данный год, его летний период, отмечается увеличение площадей с температурами от 40 °С до 45 °С и с резким уменьшением площадей с поверхностной температурой 30 °С и ниже (рис. 4).

Тепловые аномалии («проблемные» зоны) наблюдаются вкраплениями в микрорайонах Южный, Озеро, Прибрежный, Заполотно, Северный, 4 МРН, Бештаугорец, а также почти вся территория микрорайона Восточный. Существенно увеличилась температура в микрорайоне Дачи, в северной её части, т.к. на данной территории произведена распахка, отведенная впоследствии под строительство. Увеличение температуры связано с отсутствием в микрорайонах рекреационных зон, застройкой новых микрорайонов (Северный, Бештаугорец и Восточный), новым типом планировки территории, который подразумевает низкое количество зеленых насаждений и высокую плотность застройки, а также с интенсивным развитием инфраструктуры.

При сопоставлении данных по показателю средней температуры поверхности земли города за три исследуемых года выявляется положительная траектория: +1,9 (с 2014 по 2018 гг.), +2,4 (с 2018 по 2022 гг.). Общий показатель увеличения температура поверхности земли за восьмилетний период составил 4,3°С (рис. 5).

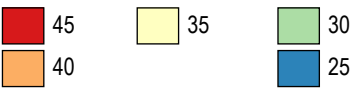


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

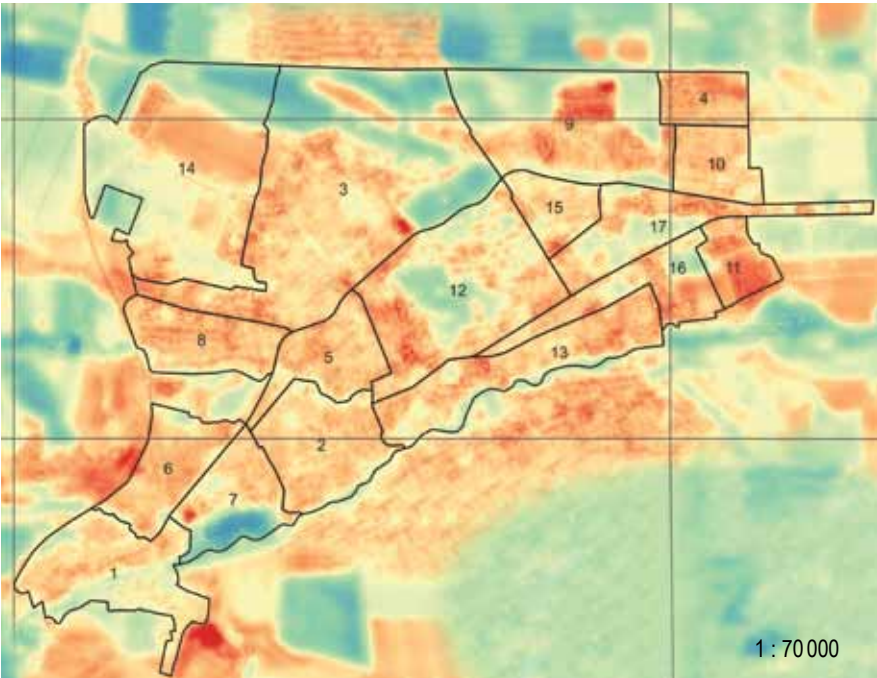
Температура в °С



Спутники

Landsat 8 27 июня 2018 г.
 Landsat 8 29 июля 2018 г.
 Landsat 8 14 августа 2018 г.

Рис. 3. Температура поверхности земли г. Ессентуки (лето, 2018 г.) (°С).
 Fig. 3. The temperature of the ground surface in Essentuki (summer, 2018) (°C).
 Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

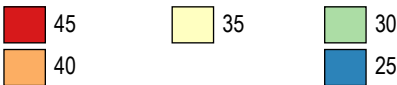


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 7. Озеро | 13. Прибрежный |
| 2. Пятая Школа | 8. Кирпичный | 14. Дачи |
| 3. Заполотно | 9. Северный | 15. 2 МРН |
| 4. Бештаугорец | 10. Опытник | 16. 4 МРН |
| 5. Ветеран | 11. Восточный | 17. 1 МРН |
| 6. Южный | 12. Курортный | |

Температура в °С



Спутники

Landsat 8 7 июля 2022 г.
 Landsat 9 8 июля 2022 г.
 Landsat 8 31 августа 2022 г.

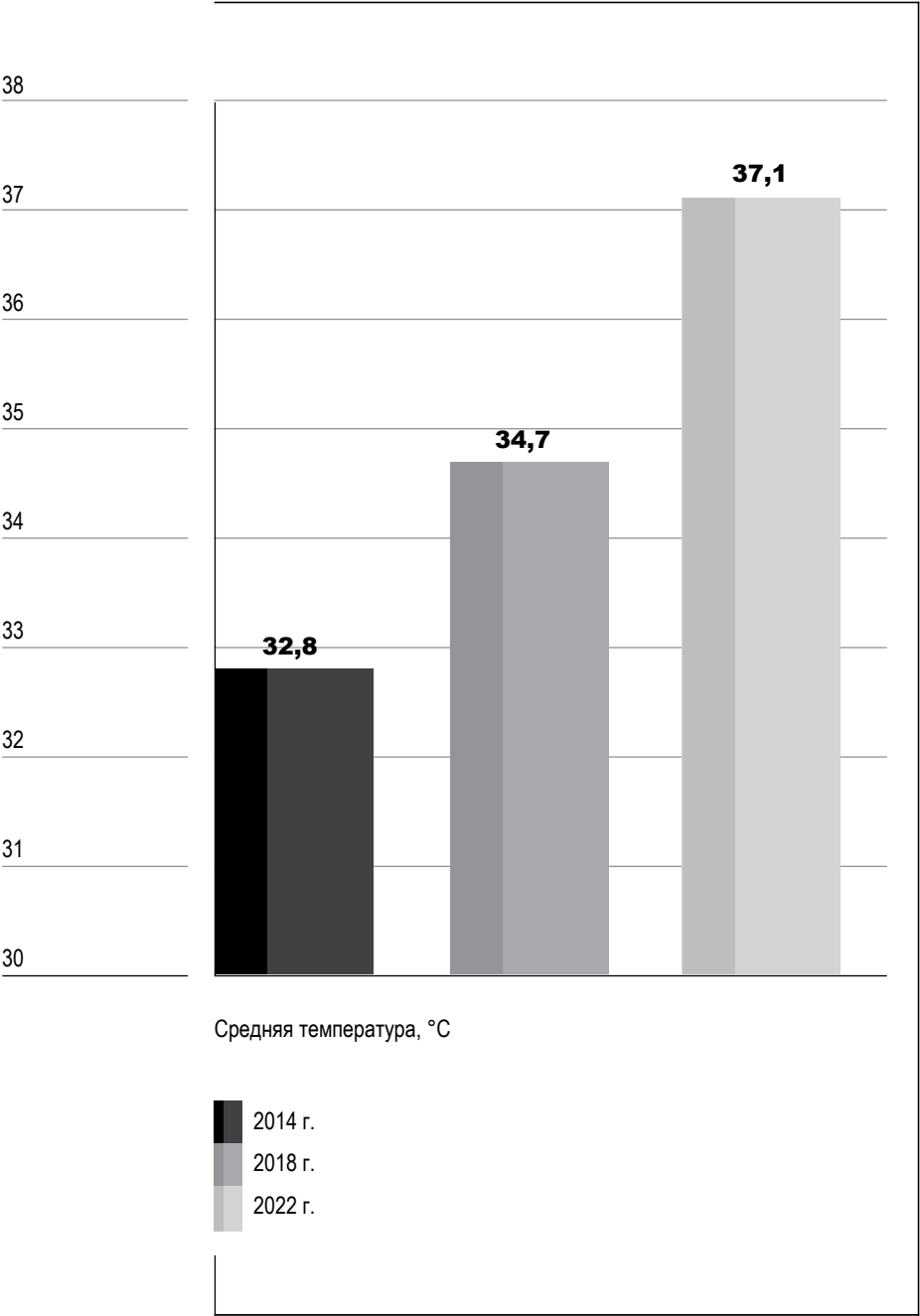
Рис. 4.

Температура поверхности земли г. Ессентуки (лето, 2022 г.) (°С).

Fig. 4. The temperature of the ground surface in Essentuki (summer, 2022) (°C).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.



**Рис. 5. Средняя температура поверхности земли города
Ессентуки за исследуемый летний период 2014 г., 2018 г.,
2022 г. (°C).**

Fig. 5. The average temperature of the ground surface of the city
of Essentuki for the studied summer period 2014, 2018, 2022 (°C).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Для подтверждения данных исследования, по аналогичным датам, проведены расчеты температурного фона, с вычислением среднего значения температуры воздуха в исследуемые периоды. Температура воздуха исследуемых дат в 2014 составляла 26,17 °С, в 2018 – 29,83 °С и в 2022 – 26,83 °С, соответственно с 2014 по 2018 изменение составило +3,66 °С; а с 2018 по 2022 – снижение на 3 °С.

Прямая корреляционная зависимость в показателях температура воздуха (по данным метеостанции) [11] и температура поверхности земли не выявлена, т. е. что свидетельствует о том, что усиление острова тепла за 8 лет связано во многом именно с результатом градостроительной практики, а не фоновыми колебаниями температуры.

В пределах города Ессентуки на пространственно-временную динамику локальных тепловых аномалий первостепенное влияние оказывает особенность использования городских земель. Прослеживается взаимосвязь селитебных, рекреационных и промышленных функциональных зон города с интенсивностью теплового излучения. Изменения тепловой нагрузки в городской среде в отдельных кварталах, микрорайонах связано с активной застройкой, а также наблюдаться связь мощности растительного покрова и интенсивности теплового излучения.

Максимальное повышение температуры за восьмилетний период характерно для микрорайонов Южный, Озеро, Восточный, Пятая Школа, Белый Уголь и Дачи (8,6 °С; 8,6 °С; 7,6 °С; 6,4 °С; 6,3 °С, соответственно). Минимальный прирост температур свойственен для микрорайонов Опытник, 2 МРН и Северный (2 °С; 2,1 °С; 2,1 °С, соответственно). Это связано с высокой долей озеленённости, расположением рекреационных территорий вблизи или на территории микрорайонов, а также грамотной территориальной планировкой (табл. 1).

В 2014 и 2018 годах микрорайонов, не имеющих превышение температуры поверхности земли, в сравнении со средним значением по городу отмечено в количестве 6.

В 2022 году в 8 из 17 микрорайонах температурный показатель не превышает среднее значение по городу. Показатель температуры по отдельным микрорайонам ниже на 0,1–1,5 °С. Остальные

Таблица 1. СРЕДНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ГОРОДА
ЕССЕНТУКИ ЗА 2014, 2018, 2022 ГОДЫ (ИССЛЕДУЕМЫЙ ЛЕТНИЙ
ПЕРИОД) (°С)
Table 1. Average temperatures of the earth's surface of the city of
Essentuki for 2014, 2018, 2022 (summer period under study) (°C)

№	Название микрорайонов города	Средняя температура поверхности, °С		
		2014 г.	2018 г.	2022 г.
1	Белый Уголь	30,0	33,9	36,3
2	Пятая Школа	31,2	35,5	37,6
3	Заполотно	33,3	34,7	36,7
4	Бештаугорец	35,6	35,9	39,4
5	Ветеран	34,7	36,2	38,1
6	Южный	29,6	34,5	38,2
7	Озеро	27,6	33,4	36,2
8	Кирпичный	35,1	36,3	38,4
9	Северный	34,0	33,3	36,1
10	Опытник	35,9	35,9	37,9
11	Восточный	32,6	35,5	40,2
12	Курортный	34,1	35,6	36,6
13	Прибрежный	34,4	35,9	37,8
14	Дачи	29,6	32,6	35,6
15	2 МРН	34,9	35,3	37,0
16	4 МРН	33,9	35,3	37,8
17	1 МРН	35,0	35,5	36,7
	Среднее значение	32,8	34,7	37,1

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

9 микрорайонов имеют температуру поверхности земли выше среднего значения (превышение в диапазоне от 0,5 до 3,1 °С).

Наиболее интенсивные темпы увеличения температуры поверхности земли характерны для окраинных микрорайонов, расположенных в основном в южной части города. Это связано в первую очередь с застройкой, формированием новых микрорайонов. Минимальные изменения характерны для районов, простирающихся на северо-востоке города, строительство на данных территориях ведется не интенсивно, или вовсе отсутствует. Для вышеуказанных районов характерен высокий коэффициент по озелененности и низкий коэффициент застроенности (рис. 6).

В границах городской территории заложено три профиля (рис. 7), отражающих пространственную изменчивость температуры поверхности земли с несколькими ядрами острова тепла.

На профилях 1, 2, 3 (рис. 8–10) синим фоном выделены районы со значительными превышениями температур поверхности за восьмилетний период; зеленый фон – незначительные превышения температуры поверхности за восьмилетний период; красный фон – температурные аномалии (острова тепла).

На профиле 1 резкий скачок температуры обусловлен застройкой северной части микрорайона Дачи новым жилым комплексом, а также плотной застройкой частными жилыми домами микрорайон Восточный. Профиль 1 удостоверяет средостабилизирующую роль зеленых насаждений. Центральная часть города с рекреационной зоной и развитой зеленой инфраструктурой имеет параболическую форму, на графике с низкими значениями температуры поверхности земли. На современном этапе (2022 г.) визуализируется плотная застройка в микрорайонах Заполотно и 2 МРН, с существенным всплеском температурных показателей в сравнении с 2014, 2018 гг. (рис. 8).

График по линии профиля 2 подчеркивает важность озеленённых и незастроенных окраинных территорий, выполняющих экологические функции для урбанизированной территории. На профиле 2 происходит застройка в микрорайонах Озеро, Пятая Школа и Северный. Микрорайоны – Белый Уголь, Озеро и Северный (рис. 9) имеют рост температурных показателей, в сравнении с дру-

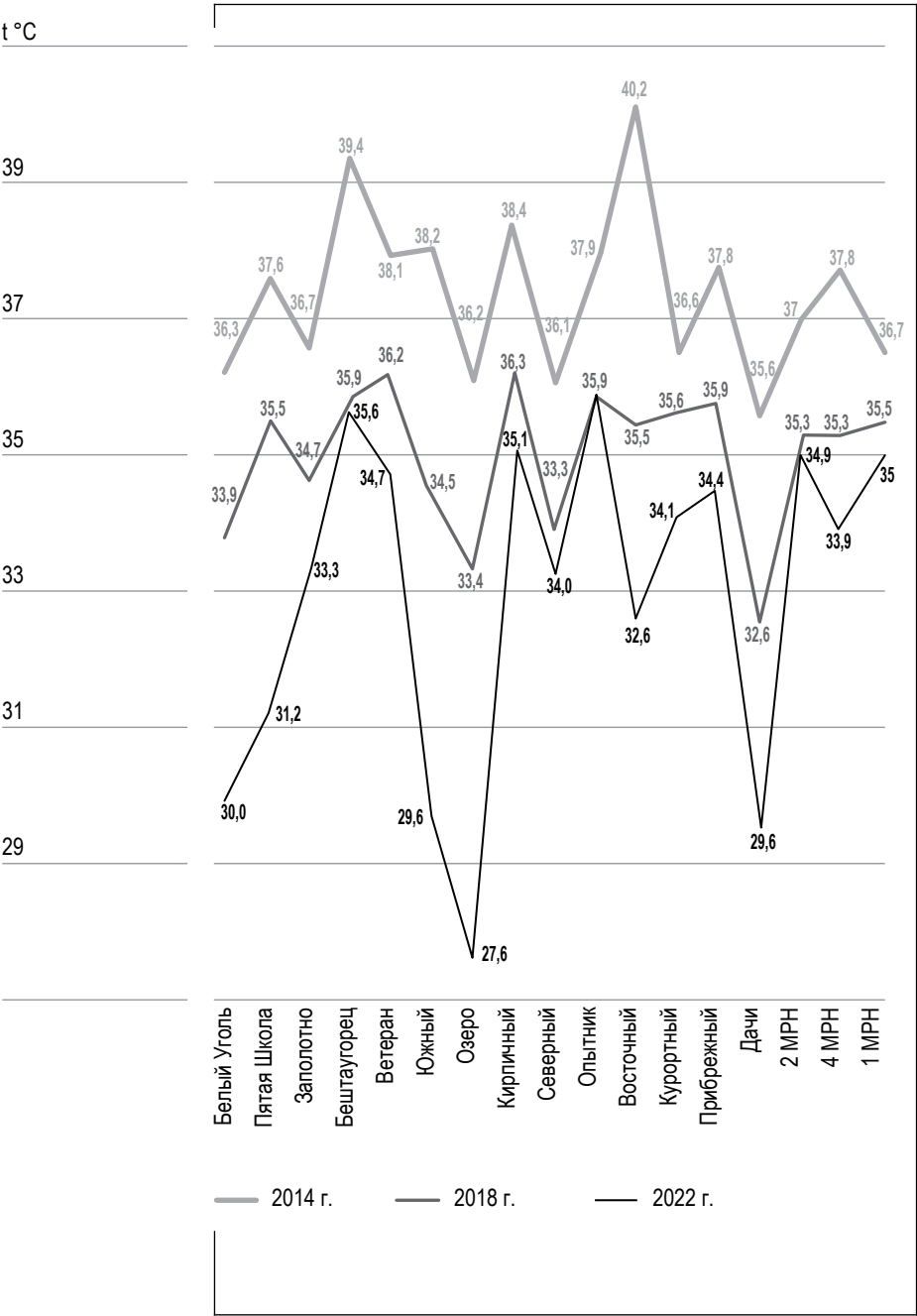
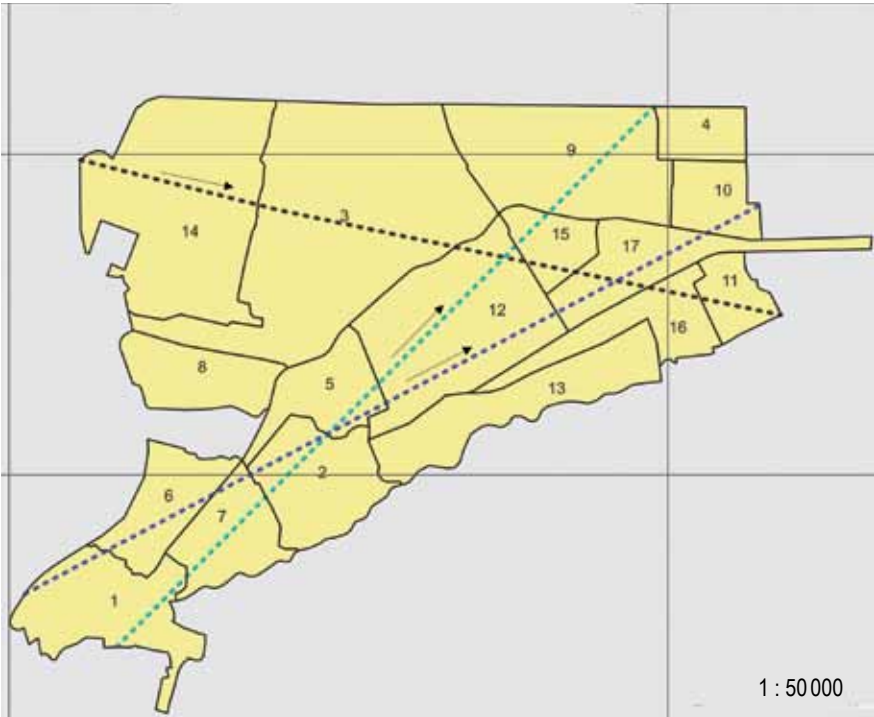


Рис. 6. Средняя температура поверхности земли микрорайонов города Ессентуки за период 2014 г., 2018 г., 2022 г. (°C).

Fig. 6. Average ground surface temperature of the residential districts of the city of Essentuki for the period 2014, 2018, 2022 (°C).

Источники: составлено авторами / Source: compiled by the authors.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | |
|----------------|----------------|
| 1. Белый Уголь | 10. Опытник |
| 2. Пятая Школа | 11. Восточный |
| 3. Заполотно | 12. Курортный |
| 4. Бештаугорец | 13. Прибрежный |
| 5. Ветеран | 14. Дачи |
| 6. Южный | 15. 2 МРН |
| 7. Озеро | 16. 4 МРН |
| 8. Кирпичный | 17. 1 МРН |
| 9. Северный | |

- 1
--- 2
--- 3

Рис. 7.

Профильные линии в границах города Ессентуки.

Источник:

Fig. 7. Profile lines within the boundaries of the city of Essentuki.
составлено авторами / Source: compiled by the authors.

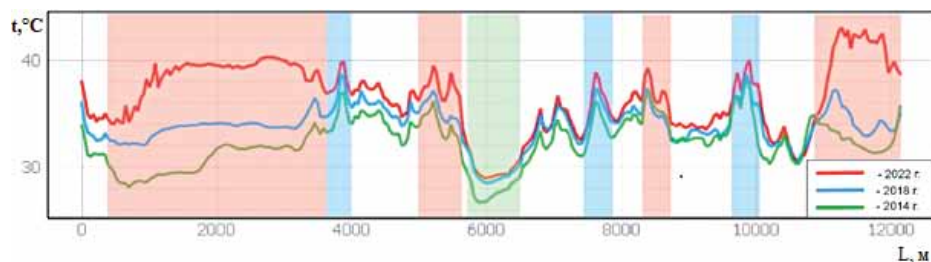


Рис. 8. График по линии профиля № 1 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 8. Graph along profile line No. 1 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

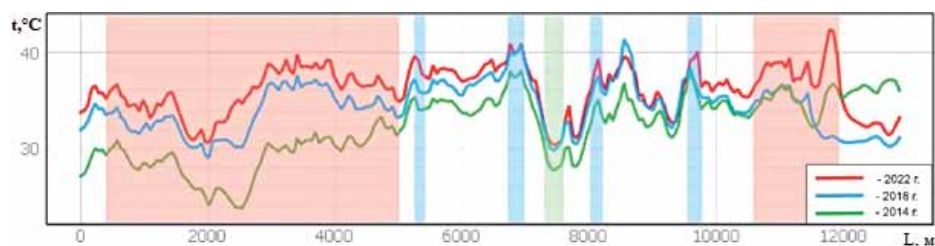


Рис. 9. График по линии профиля № 2 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 9. Graph along profile line No. 2 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

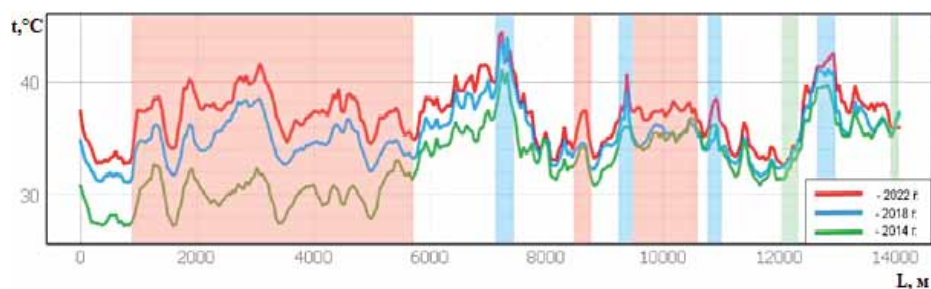


Рис. 10. График по линии профиля № 3 ($^\circ\text{C}$).

Fig. 10. Graph along profile line No. 3 ($^\circ\text{C}$).

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

гими районами по линии профиля. Территориальное планирование должно строиться с учетом закладки пригородного зеленого кольца, т. к. окраинные территории должны сохранять свой средостабилизирующий статус, и их активная застройка нежелательна (рис. 9). Острова тепла наблюдаются в микрорайонах Озеро, Пятая школа, Ветеран и 2 МРН. Низкие температурные показатели наблюдаются в рекреационной части микрорайона Курортный.

Профильная линия 3 отображает более равномерное увеличение температуры поверхности земли на протяжении каждого микрорайона по пути трансекты. На профиле 3 резкий скачок температуры наблюдается в микрорайоне Южный, Озеро, Пятая Школа, и в конце линии профиля в 1 МРН. Все эти микрорайоны за исключением 1 МРН имеют частную жилую застройку. На графике четко отобразилось формирование в городе нескольких островов тепла, сформированных в различных микрорайонах – Курортный и 1 МРН (рис. 10). Значительные повышения температуры поверхности за восьмилетний период наблюдаются в 6 микрорайонах: Белый Уголь, Южный, Озеро, Пятая Школа, Ветеран и Курортный (рис. 10). Низкие показатели, а именно снижение температуры подстилающей поверхности, наблюдаются в микрорайоне Опытник (рис. 10).

С целью подтверждения, на примере города Ессентуки, связи неравномерных показателей поверхностной температуры и формирования в городской среде тепловых аномалий с соотношением застроенных, свободных от застройки и занятых растительным покровом, территорий с использованием ГИС-технологий, были рассчитаны и проанализированы показатели озеленённости, градостроительной нагрузки и свободных территорий.

За исследуемый восьмилетний период город претерпел существенные преобразования, зафиксировано площадное изменение города и показатель общей озелененности.

Площадь города [10] Ессентуки за период с 2014 по 2022 год изменилась на 1,35 км² (табл. 2). Связано это со строительством новых жилых районов в окраинных частях города, особенно в северном и восточном направлениях. Изменения характерны и для такого показателя среды города как озелененность, в период с 2014 по 2018 годы отмечается незначительное увеличение (менее чем на 1 км²),

Таблица 2. ПЛОЩАДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРОДА ЕССЕНТУКИ 2014 г., 2018 г., 2022 г. (км²)
Table 2. Areal indicators of the city of Essentuki 2014, 2018, 2022 (km²)

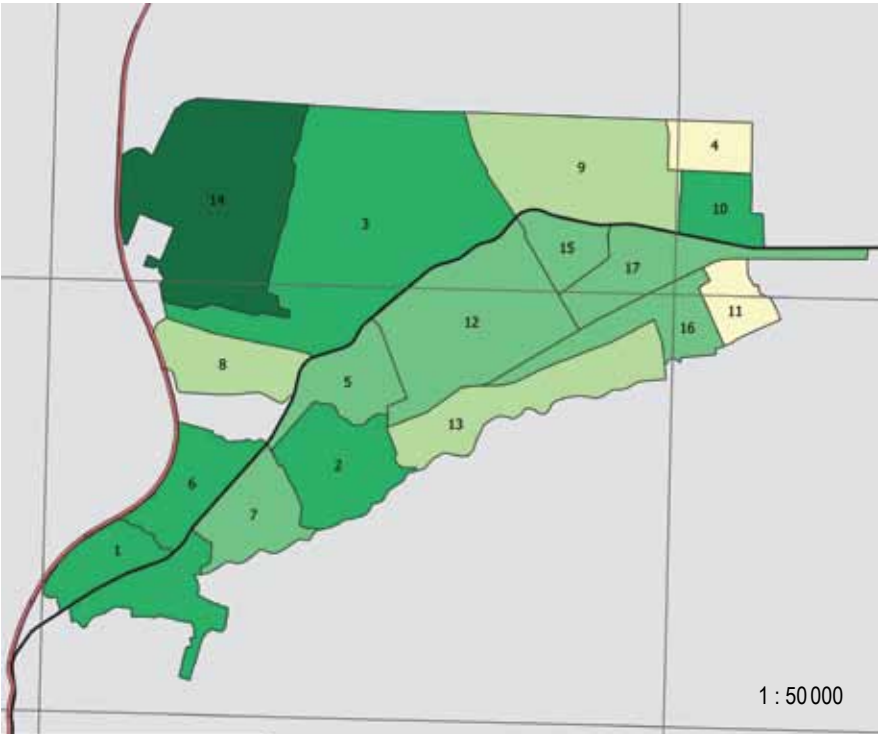
Годы Показатели	2014	2018	2022
Площадь города, км ²	49,73	51,05	51,05

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

тогда как в период с 2018 по 2022 годы площадь озеленённой территории возросла на 15,5 км², что объясняется преобразованием незастроенных земель в микрорайонах Заполотно и Озеро в новые скверы («Пограничный сквер» в микрорайоне Заполотно, «Приозерный сквер» в микрорайоне Озеро), а также постройкой новых жилых комплексов «Левобережный», «Прибрежный» и «Озерный», которые относятся к новому типу застройки с высокой площадью засаженных древесных и кустарниковых насаждений, низкой незанятой территорией и многоэтажными квартирными домами.

Также необходимо отметить значительную территорию, на которой была высажена древесная растительность в старых микрорайонах города, таких как Заполотно и Золотушка, и в новых Северный, Опытник и Бештаугорец, дабы увеличить долю зеленых насаждений, приходящуюся на человека. В данный момент показатель нормы площади озеленённости в городе Ессентуки составляет 213,54 м²/чел., тогда как норма площади озеленённости городов, установленная Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) [12] составляет 50 м²/чел.

Проведенные расчеты, показывают, что по $K_{\text{озел}}$ самые высокие (благоприятные) показатели в микрорайонах Дачи, Опытник, Заполотно, Пятая Школа, Южный и Белый Уголь, где показатели озеленённости более 70 % территории; самые низкие показатели в микрорайонах Восточный и Бештаугорец, где показатели меньше 50 % (рис. 11) [13].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

1. Белый Уголь	6. Южный	11. Восточный	16. 4 МРН
2. Пятая Школа	7. Озеро	12. Курортный	17. 1 МРН
3. Заполотно	8. Кирпичный	13. Прибрежный	
4. Бештаугорец	9. Северный	14. Дачи	
5. Ветеран	10. Опытник	15. 2 МРН	

Озелененность в %

80 и более	60–70	менее 50
70–80	50–60	

Дорога

— железная	— автомобильная
------------	-----------------

Спутник Sentinel – 2B

Рис. 11.

Доля озеленённости микрорайонов города Ессентуки (%).

Fig. 11. The share of landscaping of microdistricts of the city of Essentuki (%).

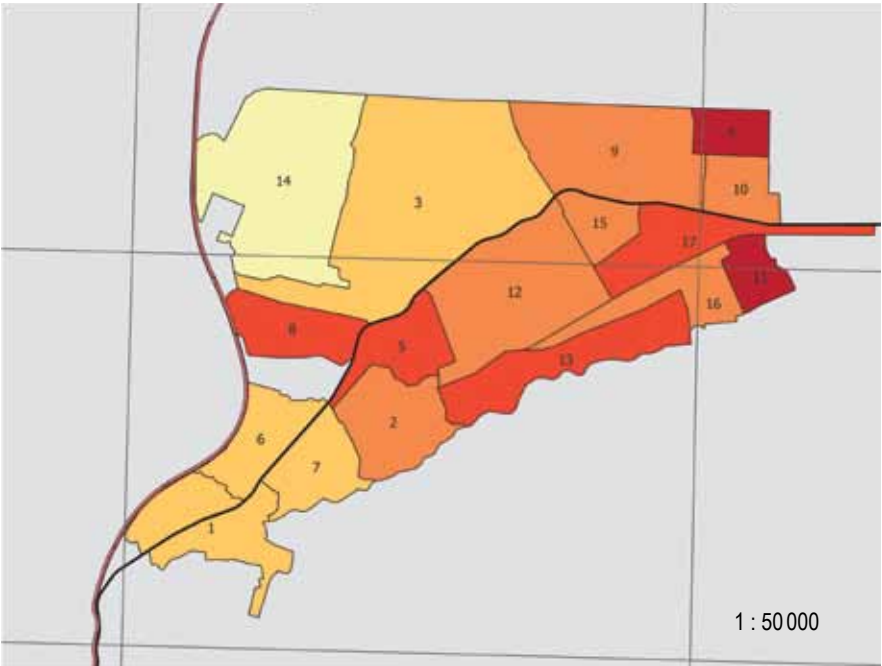
Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Расчеты показывают, что по $K_{\text{град}}$ самые высокие и неблагоприятные показатели в микрорайонах Восточный, Бештаугорец, 1 МРН, Прибрежный, Ветеран и Кирпичный, где показатель застройки территории более 30 %; самые низкие и наилучшие показатели в микрорайонах Дачи, Белый Уголь, Южный, Озеро и Заполотно, где показатель менее 20 % (рис. 12).

Анализ $K_{\text{своб}}$ выявляет самые высокие показатели в микрорайонах Восточный, Северный, Опытник, Прибрежный, Кирпичный и Южный, где более 5 % свободно; самые низкие показатели – в микрорайонах Озеро, Пятая Школа и Заполотно, где менее 2 % свободной территории (рис. 13) [14].

Исследование пространственно-временной динамики температуры земной поверхности в городе Ессентуки подтверждает научные факты о прямопропорциональной зависимости: повышение температуры от степени застроенности кварталов, а также взаимосвязь возникновения островов тепла со временем застройки отдельных микрорайонов. Активная застройка не всегда является отрицательным фактором. В микрорайоне Северный активная застройка с грамотой планировкой и озеленённой территорией даёт низкий показатель повышения температуры поверхности, нежели чем в других районах, таких как Озеро, где при активной застройке температура поверхности поднялась на 8,6 градуса за 8 лет. Температура поверхности земли в микрорайоне Северный увеличилась на 2,1°C, в Опытнике с 2014 года – на 2°C, что является низким показателем по сравнению с остальными микрорайонами, ввиду грамотной планировки и наличия озелененных территорий. В микрорайоне Бештаугорец с начала застройки в 2015 году температура подстилающей поверхности увеличилась на 3,8 °C. Также, как и в микрорайоне Заполотно, в Прибрежном температура изменилась на 3,4 °C. В Микрорайоне Озеро при активной застройке с нерациональной планировочной структурой и отсутствию озеленённых территорий температура подстилающей поверхности изменилась на 8,6 °C, что является высоким (неблагоприятным) показателем по сравнению с другими микрорайонами и средним показателем, что свидетельствует о несбалансированности территорий по показателям градостроительных нагрузок и озелененности.



Условные обозначения:

Микрорайоны

- | | | | |
|----------------|--------------|----------------|-----------|
| 1. Белый Уголь | 6. Южный | 11. Восточный | 16. 4 МРН |
| 2. Пятая Школа | 7. Озеро | 12. Курортный | 17. 1 МРН |
| 3. Заполотно | 8. Кирпичный | 13. Прибрежный | |
| 4. Бештаугорец | 9. Северный | 14. Дачи | |
| 5. Ветеран | 10. Опытник | 15. 2 МРН | |

Градостроительная нагрузка в %

- | | | |
|----------|-------|----------|
| более 40 | 20–30 | менее 10 |
| 30–40 | 10–20 | |

Дорога

- железная автомобильная

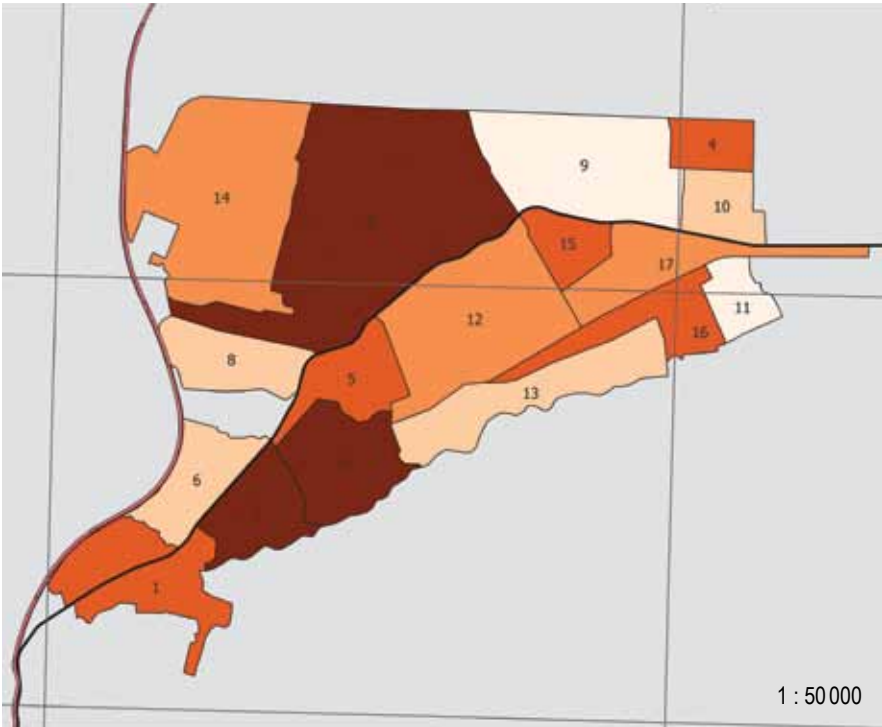
Рис. 12.

Доля застройки микрорайонов города Ессентуки (%).

Fig. 12. The share of development of microdistricts of the city of Essentuki (%).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Микрорайоны

- | | | | |
|----------------|--------------|----------------|-----------|
| 1. Белый Уголь | 6. Южный | 11. Восточный | 16. 4 МРН |
| 2. Пятая Школа | 7. Озеро | 12. Курортный | 17. 1 МРН |
| 3. Заполотно | 8. Кирпичный | 13. Прибрежный | |
| 4. Бештаугорец | 9. Северный | 14. Дачи | |
| 5. Ветеран | 10. Опытник | 15. 2 МРН | |

Градостроительная нагрузка в %

- | | | |
|----------|-----|---------|
| более 10 | 3–5 | менее 2 |
| 5–10 | 2–3 | |

Дорога

- железная — автомобильная

Рис. 13.

Доля свободной территории микрорайонов города
Ессентуки (%).

Fig. 13. The share of the free territory of the microdistricts of the city
of Essentuki (%).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Заключение

Подобные исследования дают многостороннюю оценку такого явления как «остров тепла» и вносят существенный вклад в исследования климата города и воздействия процессов урбанизации на среду, позволяя контролировать микроклимат городских районов, выявлять направление и динамику изменений, существующих в городской среде.

Проведенное исследование позволило установить пространственные особенности распределения тепловых аномалий, связанных с активной застройкой микрорайонов города в определенные временные интервалы. Результаты анализа данных дистанционного зондирования показали наиболее тёплые участки в пределах городской территории, основные «проблемные» кварталы/микрорайоны, а также динамику тепловых аномалий.

Факторами, влияющими на пространственно-временное распределение теплового загрязнения среды г. Ессентуки, являются площадные соотношения таких градостроительных показателей, как озелененность микрорайонов и их застроенность.

Отчетливо прослеживается связь того, что при активной застройке микрорайонов города на данных территориях наблюдается тенденция к повышению температуры поверхности земли и формированию островов тепла.

- 2014 год – микрорайоны Прибрежный.
- 2018 год – микрорайоны Курортный, 1 МРН, Заполотно.
- 2022 год – микрорайоны Южный, Озеро, Прибрежный, Заполотно, Северный, 4 МРН, Бештаугорец, а также Восточный и Дачи.

Максимальное повышение температуры за восьмилетний период характерно для микрорайонов: Южный, Озеро, Восточный, Пятая Школа, Белый Уголь и Дачи (8,6 °С, 8,6 °С, 7,6 °С, 6,4 °С, 6,3 °С, соответственно).

Проведенные расчеты $K_{\text{озел}}$, $K_{\text{град}}$ и $K_{\text{своб}}$ подтверждают зависимость пространственного распределения температурных показателей от степени сбалансированности градостроительной системы. Среднее значение процентного соотношения площадей зон микрорайонов к площадям озеленённых территорий составляет

70,5 %; свободных территорий – 5,1 %, а с градостроительной нагрузкой – 24,2 %.

Общий показатель увеличения температура поверхности земли в пределах города за восьмилетний период составил 4,3 °С.

Исследование подтверждает важность сохранения и расширения площади зеленых насаждений для снижения температуры земной поверхности и формирования благоприятного микроклимата города. Благодаря процессу транспирации зеленые насаждения способствуют снижению негативного воздействия теплового загрязнения.

Проведённые расчёты по сравнительному анализу площадей застроенных территорий и зеленой инфраструктуры позволили провести комплексную оценку, направленную на выработку эффективных мероприятий по повышению уровня человеческого комфорта городской среды. При планировке города необходимо учитывать результаты исследования с целью скомпенсировать воздействие городского острова тепла. Первостепенная задача заключается в передаче знаний о городском климате в повседневную практику городского планирования и проектирования.

Список источников

1. Knight S., Smith C., Roberts M. Mapping Manchester's urban heat island // WEATHER. 2010. No. 65 (7). P. 188–193.
2. Скрипчинская Е. А., Тасенко Д. С. Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли // Проблемы устойчивого развития территорий: сборник трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Северо-Кавказского федерального университета (Ставрополь, 09–10 декабря 2021 года). Ставрополь: Бюро новостей, 2021. С. 425–433.
3. Геопортал Earth Explorer Геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 24.02.2022).
4. Волчек А. А., Мешик О. П., Мешик А. О. Тепловое загрязнение урбанизированных территорий (на примере города Бреста) // Природообустройство Полесья. Рязань:

- Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. С. 93–98.
5. Оленьков В. Д., Бирюков А. Д., Сухоруков В. А. Использование данных дистанционного зондирования земли для построения карты городского острова тепла // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году: сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. Москва, 2020. С. 286–294.
 6. Landsat 8 [Электронный ресурс]. URL: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8> (дата обращения: 20.02.2022).
 7. Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127–146.
 8. Пасхина М. В. Выявление, типология и оценка городских морфотипов (на примере г. Ярославля) // Ярославский педагогический вестник. Естественные науки. 2012. № 4. Т. III. С. 245–250.
 9. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Влияние глобального потепления на пространственно-временные тренды индекса NDVI растительности Восточной Сибири // Международная конференция по изменениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Якутск, 2018. С. 259–261.
 10. Администрация города Ессентуки [Электронный ресурс]. URL: <https://essentuki.gosuslugi.ru/> (дата обращения: 12.09.2023).
 11. Ставропольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: <http://stavpogoda.ru/> (дата обращения: 12.09.2023).
 12. Всемирная Организация Здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru> (дата обращения: 12.09.2023).
 13. Тасенко Д. С., Скрипчинская Е. А., Водопьянова Д. С., Нефедова М. В. Озелененность, градостроительная на-

- грузка и свободная территория как ведущие показатели современного состояния городской среды в предгорном районе Ставропольского края (на примере г. Ессентуки) // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2022. Т. 16. № 4. С. 100–106. <http://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-4-100-106>
14. Тасенко Д. С. Интегральная оценка состояния городской среды в пределах микрорайонов г. Ессентуки // Сборник материалов участников XIX Большого географического фестиваля, посвящённого 220-летию со дня начала первой русской кругосветной экспедиции под руководством И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского (1803-1806 гг.). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. с. 424–429.
 15. Балдина Е. А., Константинов П. И., Грищенко М. Ю., Варенцов М. И. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном диапазоне // Земля из космоса. 2015. № 5. С. 38–42.
 16. Ван Дер Хувен Ф., Вандл А. Создание карты городского острова тепла // Проект Байкал. 2015. Т. 12. № 45. С. 138–145.
 17. Basara J., Basara H., Illston B., Crawford K. The impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*. 2010. P. 1–10.
 18. Buyantuyev A., Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*. 2010. No. 25. P. 17–33.
 19. Алексашина В. В., Ле Минь Туан. Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 36–40.
 20. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge // *Remote Sensing*. 2023. No. 15 (2), 291. С. 1–16.
 21. Спорышев П. В., Катцов В. М. Пространственно-временные особенности глобального потепления // Доклады Академии наук. 2006. Т. 410. № 4. С. 532–537.
 22. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Rymkevich P. P. Climate change

- and the thermal island effect in the million-plus city // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 89. No. 8902. P. 1–41. <http://doi.org/10.18720/CUBS.89.2>
23. Parsaee M., Joybari M. M., Mirzaei P. A., Haghghat F. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans // Environmental Technology & Innovation. 2019. Vol. 14. P. 1–16. <http://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>

References

1. Knight S, Smith C, Roberts M. Mapping Manchester's urban heat island. WEATHER. 2010;7:188-193.
2. Skripchinskaya EA, Tsenko DS. Innovative technologies in the oil and gas industry. In Problems of sustainable development of territories: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the North-Caucasus Federal University, Stavropol, December 09-10, 2021. Stavropol: "Bureau of News"; 2021;425-433. (In Russ.).
3. Geoportal Earth Explorer of the US Geological Survey. Available from: <https://earthexplorer.usgs.gov> [Accessed 24 February 2022].
4. Volchek AA, Meshik OP, Meshik AO. Thermal pollution of urbanized territories (on the example of the city of Brest). Nature management of Polesie. Ryazan: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova; 2019. P. 93-98. (In Russ.).
5. Olenkov VD, Biryukov AD, Sukhorukov VA. Using Earth remote sensing data to build a map of an urban heat island. Fundamental, exploratory and applied research of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2019. Collection of scientific papers of the Russian Academy of Sciences. The Russian Academy of Architecture and Building Sciences. Moscow; 2020. P. 286-294. (In Russ.).
6. Landsat 8. Available from: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8> [Accessed 20 February 2022]
7. Klimanova OA, Kolbovsky EYu, Illarionova OA. The ecological framework of the largest cities of the Russian

- Federation: modern structure, territorial planning and development problems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* = Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences. 2018;2:127-146. (In Russ.).
8. Pashkina MV. Identification, typology and assessment of urban morphotypes (on the example of Yaroslavl). *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2012;4:245-250. (In Russ.).
 9. Varlamova EV, Solovyov VS. The influence of global warming on the spatial and temporal trends of the NDVI vegetation index of Eastern Siberia. In International Conference on Measurements, Modeling and Information Systems for Environmental Studies. Yakutsk; 2018:259-261. (In Russ.).
 10. Essentuki City Administration. Available from: <https://essentuki.gosuslugi.ru/> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 11. Stavropol Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available from: <http://stavpogoda.ru/> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 12. World Health Organization. Available from: <https://www.who.int/ru> [Accessed 12 September 2023]. (In Russ.).
 13. Tsenko DS, Skripchinskaya EA, Vodopyanova DS, Nefedova MV. Landscaping, Urban Planning Load and Free Territory as Leading Indicators of the Current State of the Urban Environment in the Foothill Area of the Stavropol Territory (on the Example of Essentuki). *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2022;4:100-106. <http://doi.org/10.31161/1995-0675-2022-16-4-100-106> (In Russ.).
 14. Tsenko DS. Integral assessment of the state of the urban environment within the neighborhoods of Yessentuki. A collection of materials from participants of the XIX Great Geographical Festival dedicated to the 220th anniversary of the beginning of the first Russian circumnavigation expedition led by I. F. Kruzenshtern and Yu. F. Lisiansky (1803-1806). St. Petersburg: Svoe izdatelstvo; 2023:424-429. (In Russ.).
 15. Baldina EA., Konstantinov PI., Grishchenko MYu., Varentsov MI. The study of urban heat islands using remote sensing data in the infrared range. *Earth from space*. 2015;5:38-42. (In Russ.).
 16. Van Der Hoeven F, Vandal A. Creating a map of the urban heat island. *Proekt Bajkal* = The Baikal Project. 2015;45:138-145. (In Russ.).

17. Basara J, Basara H, Illston B, Crawford K. The impact of the Urban Heat Island during an Intense Heat Wave in Oklahoma City. *Advances in Meteorology*. 2010. P. 1-10. (In Russ.).
18. Buyantuyev A, Wu J. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*. 2010;25:17-33.
19. Aleksashina VV, Le Minh Tuan. The effect of the heat island effect on the ecology of the metropolis. *Regional environmental issues*. 2018;5:36-40. (In Russ.).
20. Medvedkov A, Vysotskaya A, Olchev A. Detection of Geocryological Conditions in Boreal Landscapes of the Southern Cryolithozone Using Thermal Infrared Remote Sensing Data: A Case Study of the Northern Part of the Yenisei Ridge. *Remote Sensing*. 2023;15(2)291:1-16.
21. Sporyshev PV, Kattsov VM. Spatial and temporal features of global warming. *Doklady Akademii nauk* = Reports of the Academy of Sciences. 2006;4:532-537. (In Russ.).
22. Gorshkov AS, Vatin NI, Rymkevich PP. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020;89(8902):1-41. <http://doi.org/10.18720/CUBS.89.2>
23. Parsaee M, Joybari MM, Mirzaei PA, Haghighat F. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation*. 2019;14:1-16. <http://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>

Информация об авторах

Евгения Андреевна Скрипчинская – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и кадастров, высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: JZE-5559-2024.

Дмитрий Сергеевич Тасенко – магистрант 2 года обучения кафедры физической географии и кадастров, высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Researcher ID: GVU-6019-2022.

Михаил Борисович Каган – аспирант 1 года обучения кафедры экономической и социальной географии, институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Researcher ID: JYQ-4123-2024.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Evgeniya A. Skripchinskaya – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: JZE-5559-2024.

Dmitriy S. Tasenko – Master student, “Territorial planning and geomarketing” course, Department of Physical Geography and Cadastre, Higher School of Geography and Geoinformatics, North-Caucasus Federal University, Researcher ID: GVU-6019-2022.

Mikhail B. Kagan – PhD student, Department of Economic and Social Geography, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University. Researcher ID: JYQ-4123-2024.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
1.6.13. Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география
(географические науки)

Научная статья

УДК 910.1

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.4>

СРАВНИТЕЛЬНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТУДЕНЧЕСКИХ МЕНТАЛЬНЫХ КАРТ СТАВРОПОЛЯ И ПЯТИГОРСКА

Екатерина Ивановна Виноградова¹,
Галина Николаевна Жиренко²,
Илья Павлович Супрунчук^{3*},
Павел Маркович Полян⁴

^{1,2,3} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

⁴ Институт географии РАН (д. 29, стр. 4, Старомонетный переулок, Москва, 119017, Российская Федерация)

¹ VINOGRADOVA252003@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-9435-9143>

² gzhirenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5115-4726>

³ ilia_suprunchuk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5106-187X>

⁴ polian@aha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2520-7932>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

В статье предпринята попытка выделения и анализа студенческих ментально-географических представлений о городском пространстве. Рассмотрены два крупнейших города Ставропольского края, являющиеся студенческими центрами в регионе. Информационная база исследования основана на социальном картографировании в ходе опроса студенчества Ставрополя и Пятигорска. Проанализированы и использованы на практике взгляды и идеи современных географов на ментальное картографирование городов. Методика исследования построена на изучении ментальных карт, создаваемых непосредственно студентами. С помощью пространственного подхода выявлена и исследована ментально-географическая структура выбранных городов. Студенческие ментальные карты имеют линейно-узловой тип структуры, в котором линейные элементы соответствуют улицам города, узлы представлены разными видами точек интереса. Генерализация собранных данных позволила составить и изучить ментально-географическую модель Ставрополя и Пятигорска. В данных моделях выделяются и исследуются ментальные кластеры и факторы их формирования. Важнейшую роль в формировании ментальных конструкций о городских территориях у студентов сыграли университеты. От их расположения, места в истории городов, участия в городских процессах зависит качественная наполняемость студенческих ментальных карт. На примере городского транспорта, сетей

торговли и питания рассмотрен ряд случаев и практик формирования ментальных элементов у студентов. В ходе сравнительного анализа городов определены их схожие и специфические черты с точки зрения студенческого восприятия городского пространства. Количественные сравнения городов мало возможны, потенциал аналогичных исследований заключается в выделении городской уникальности и решении локальных городских задач.

Ключевые слова: ментальные карты, культурная география, географические образы, пространственные представления, Ставрополь, Пятигорск, студенческие города

Для цитирования: Виноградова Е. И., Жиренко Г. Н., Супрунчук И. П., Полян П. М. Сравнительно-географический анализ студенческих ментальных карт Ставрополя и Пятигорска // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 97–118. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.4>

Благодарности: авторы выражают благодарность заведующему кафедрой туризма и индустрии гостеприимства Пятигорского государственного университета Елене Николаевне Гончаровой за помощь в сборе полевых данных в городе Пятигорске.

Конфликт интересов: один из авторов статьи — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН Полян Павел Маркович является членом редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию 28.03.2024;
одобрена после рецензирования 27.05.2024;
принята к публикации 21.06.2024.

1.6.13. Economic, Social, Political and Recreational Geography (Geographical Sciences)
Research article

Comparative geographical analysis of student mental maps of Stavropol and Pyatigorsk

**Ekaterina I. Vinogradova¹,
Galina N. Zhirenko²,
Ilya P. Suprunchuk³,
Pavel M. Polyan⁴**

^{1, 2, 3} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

⁴ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (29, b. 4, Staromonetny Lane, Moscow, 119017, Russian Federation)

¹ VINOGRADOVA252003@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0007-9435-9143>

² gzhirenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5115-4726>

³ ilia_suprunchuk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5106-187X>

⁴ polian@aha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2520-7932>

* Corresponding author

Abstract. The article attempts to identify and analyze students' mental and geographical representations of urban space. The two largest cities of the Stavropol Territory, which are student centers in the region, are considered. The information base of the study is based on social mapping during a survey of students in Stavropol and Pyatigorsk. The views and ideas of modern geographers on mental mapping of cities are analyzed and used in practice. The research methodology is based on the study of mental maps created directly by students. Using the spatial approach, the mental and geographical structure of the selected cities was identified and investigated. Student mental maps have a linear-node type of structure, in which linear elements correspond to the streets of the city, nodes are represented by different types of points of interest. Generalization of the collected data made it possible to compile and study a mental and geographical model of Stavropol and Pyatigorsk. In these models, mental clusters and the factors of their formation are identified and investigated. Universities have played an important role in the formation of mental constructions about urban areas among students. The quality of student mental maps depends on their location, place in the history of cities, and participation in urban processes. Using the example of urban transport, trade and food networks, a number of cases and practices of forming mental elements in students are considered. In the course of a comparative analysis of cities, their similar and specific features are determined from the point of view of student perception of urban space. Quantitative comparisons of cities are not possible, the potential of similar studies lies in highlighting urban uniqueness and solving local urban problems.

Keywords: mental maps, cultural geography, geographical images, spatial representations, Stavropol, Pyatigorsk, student cities

For citation: Vinogradova EI, Zhirenko GN, Suprunchuk IP, Polyan PM. Comparative geographical analysis of student mental maps of Stavropol and Pyatigorsk. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):97-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.4>

Acknowledgments: the authors express their gratitude to Elena N. Goncharova, Head of the Department of Tourism and Hospitality Industry of Pyatigorsk State University, for her assistance in collecting field data in the city of Pyatigorsk.

Conflict of interest: one of the authors of article — Pavel M. Polyan, Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher of Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, is a member of editorial board of journal "Science. Innovations. Technologies". The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

The article was submitted 28.03.2024;
approved after reviewing 27.05.2024;
accepted for publication 21.06.2024.

Введение

Ментальные карты – распространенное понятие в современной географии – представляют собой мысленные конструкции, существующие в сознании и служащие визуальной репрезентацией представлений о конкретной территории. Ментальные карты являются способом фиксации человеческих представлений о географическом пространстве и находят широкое отражение в культурной географии. Сам термин «ментальная карта» был введен Эдвардом Толменом в 1948 году в статье о способах ориентации крыс в сконструированных в ходе эксперимента пространствах [1]. С течением времени интерес к теме ментального картографирования начинает расти и в 1960 году в работе Кевина Линча «Образ города» впервые ставится вопрос о закономерностях восприятия городской среды [2]. Линч самостоятельно наносил на карты обобщенный образ исследуемых частей городов, составленный на основе рисованных карт жителей, данных интервью и собственного полевого исследования. Они представляют собой рисунки, лишенные точной картографической основы, но несущие элементы геоизображений. Интерпретация этих данных позволила перейти к ставшим классическими выводам о ключевых элементах городской среды, а примененная методика стала первым примером ментального картографирования в географической науке.

Развитие ментальных карт в географии тесно связано и с методом социального картографирования, представляющего собой преобразование социальных данных в картографическую форму. Именно так устроены разработанные в рамках российской гуманитарной географии образно-географические карты. По Д.Н. Замятину, образно-географическая карта – это «графическая модель географических образов» [3], в которой «частично сохраняется географическая ориентация традиционных (современных) карт и используются в качестве способов изображения и репрезентации способы изображения из математической (топологической) теории графов и так называемые *диаграммы Венна*» [4]. Образно-географические карты служат, прежде всего, для «краткого, но емкого представления места» [5]. Они также рассматриваются как «графи-

ческий способ презентации результатов полевого культурно-географического исследования [6]. Работа с подобными картами включает в себя значительный объем интерпретации полученных результатов, призванной выявить причины и факторы возникновения тех или иных представлений, их распространенность, и свойства самой городской среды, обусловившие те или иные особенности восприятия ее элементов.

В современном мире развитие ментального картографирования является важнейшим инструментом для изучения проблем территорий. Этот метод позволяет наглядно понять, каким аспектам городской среды необходимо уделять большее внимание. По мнению В.Л. Глазычева, городская среда отражает два качественно различающихся между собой взгляда: один из них фиксирует предметно-пространственное окружение; другой – поведение людей в этом окружении. Причем городская среда представляет собой в такой интерпретации не простую сумму этих двух составляющих, а их отношение, которое осмысленно каждым горожанином и имеет отражение на сложившийся образ [7]. Главная исследовательская цель данной работы – выявить ментально-географические представления студенческой молодежи двух главных городов Ставропольского края и определить их различия и особенности.

Материалы и методы исследований

Ментальное картографирование, следуя мнению Н.В. Веселковой, имеет четыре отличительных свойства:

- 1) изучаемые представления визуализированы, причем визуальное является центральным, приоритетным;
- 2) ментальные карты визуализируют представления о местности, люди должны выражать своё видение местности, а не просто там находиться;
- 3) непосредственным создателем ментальной карты является информант;
- 4) ментальные карты создаются для исследования [8].

При этом анализ ментальных карт обязан складываться вокруг постижения связности, опознаваемости и эмоционально-практической значимости городских объектов для информантов [9]. Методическая разработка формализованного анализа ментальных карт реализована в работах Омера и Джианга [10], сторонников сетевого анализа в пространстве. Становление этого направления происходило в конце 1970-х гг. и связано с таким исследователем как Б. Хиллер [11].

Ставропольский край, сохраняя традиционное аграрное и рекреационное лицо, является важным студенческим регионом. На его территории функционирует 31 высшее учебное учреждение, в которых обучается 65,5 тысяч студентов [12]. По числу студентов край входит в первую двадцатку регионов России, основная их часть сосредоточена в двух крупнейших городах – Ставрополе и Пятигорске. По доле студентов в населении города (около 10% в Ставрополе и 15% в Пятигорске) они справедливо претендуют на статус студенческих городов. Следовательно, в данном случае студенческие ментальные конструкции отражают общие тенденции и в целом важны для формирования городской среды.

Выбранные для изучения города – Ставрополь и Пятигорск имеют ряд важных черт и особенностей для исследования. Кроме того, что это два крупнейших по численности населения города Ставропольского края, две столицы – краевая и окружная, эти города имеют развитую качественную городскую среду. По ежегодному индексу качества городской среды в крае они входят в первую тройку, уступая лишь Кисловодску [13]. Поэтому восприятие этой среды населением, особенно в молодом возрасте представляется интересным вопросом. К тому же Ставрополь и Пятигорск являются по своим функциям студенческими городами, стягивая в свои высшие учебные заведения студентов из других городов и регионов.

Методической основой исследования является социологический опрос. Он проводился среди равного количества студентов из Ставрополя и Пятигорска в октябре 2022 года и июне 2023 года. В его рамках главной задачей респондентов было нарисовать карту своего города. Единственным ограничением было время – не

более 15 минут на создание карты. В результате было собрано 100 ментальных студенческих карт (по 50 в каждом городе). Студенты представляли два крупнейших университета Ставрополя и Пятигорска – Северо-Кавказский федеральный университет (СКФУ) и Пятигорский государственный университет (ПГУ). Выборка имела случайный характер, критерии по половозрастному составу, месту жительства относительно исследуемых городов не вводились. Также опрашиваемые представляли разные направления подготовки, хотя среди них специально предусматривалось участие «географов» (от СКФУ) и «туристов» (от ПГУ), которые предположительно должны были иметь больший городской опыт.

В дальнейшем полученные изображения подвергались статистической обработке и стандартизации. Названные респондентами объекты заносились в базу данных, из которой затем извлекались показатели частоты упоминания городских объектов. Затем все упоминаемые объекты наносились на карты городов, при этом они разделялись на два типа – линейные (улично-дорожная сеть) и узловые (точки интереса) объекты. В результате полученные картографические изображения представляли собой «усредненные» ментальные карты городов, которые можно сравнить между собой и выявить общие и частные черты.

При этом авторы понимают, что индивидуальные ментальные карты городов имеют гораздо больший научно-познавательный потенциал, чем анализ упоминаемости объектов. Очевидно, что интерес представляют вопросы пространственной ориентации изображений, масштаба и выделения отдельных объекта, местные особенности топонимики и вернакулярного районирования (к примеру, на многих картах Пятигорска ТРЦ «Галерея» получил сокращенное название «Галя»).

Также перспективным выглядит работа с выборкой – изучение различий ментальных карт «местных» и «неместных» студентов, мужчин и женщин, студентов технических, естественных и гуманитарных направлений.

Результаты исследований и их обсуждение

Ментальная студенческая карта города Ставрополя представляет собой сочетание линейных и узловых структур (рис. 1). Улично-дорожная сеть города, как линейная структура, формирует своеобразный ментальный каркас. Главные его элементы – улицы Ленина и Доваторцев, проспект Кулакова, резко выделяющиеся по частоте упоминания респондентами. Меньшими по упоминаемости стали улицы: Дзержинского, Мира, Пушкина, Тухачевского, Пирогова, Шпаковская и Западный обход. Понимая реалии пространственных перемещений студентов СКФУ, можно достаточно легко объяснить данную ментально-географическую картину. За счет распродоточенности кампуса университета на центральную часть (ограничена улицами Пушкина, Морозова и Дзержинского), северо-западную (вдоль проспекта Кулакова) и юго-западную (комплекс общежитий по улице Тухачевского) формируется огромный по массовости поток студенческих передвижений в городе. В результате этого в ментальных конструктах респондентов главными становятся улицы – транспортные артерии, по которым они чаще всего перемещаются. Фактически можно сказать, что университет своей географией «заставляет» студентов осваивать городское пространство.

Интересные выводы позволил сделать анализ ментальной карты наиболее часто упоминаемых узловых объектов, представляющих собой социально-культурную инфраструктуру города. В ментальном поле зрения студентов наиболее важными стали: здания корпусов СКФУ, ТЦ «Космос» и Парк Победы. Также респондентами были отмечены Комсомольский пруд, Аграрный университет, Центральный парк, Таманский лес, Ботанический сад, Музей «Россия – моя история» и многие другие. Важной особенностью стало то, студенты зачастую рисовали на картах здания сети быстрого питания «KFC» (теперь «Ростикс») и магазины «Пятерочка» и «Магнит».

В целом, на общей ментальной карте видно, что большая часть городского пространства неизвестна для молодежи. Главным фактором являются ежедневные учебные поездки. Образовательные учреждения выступают крупными узлами притяжения, территории вок-

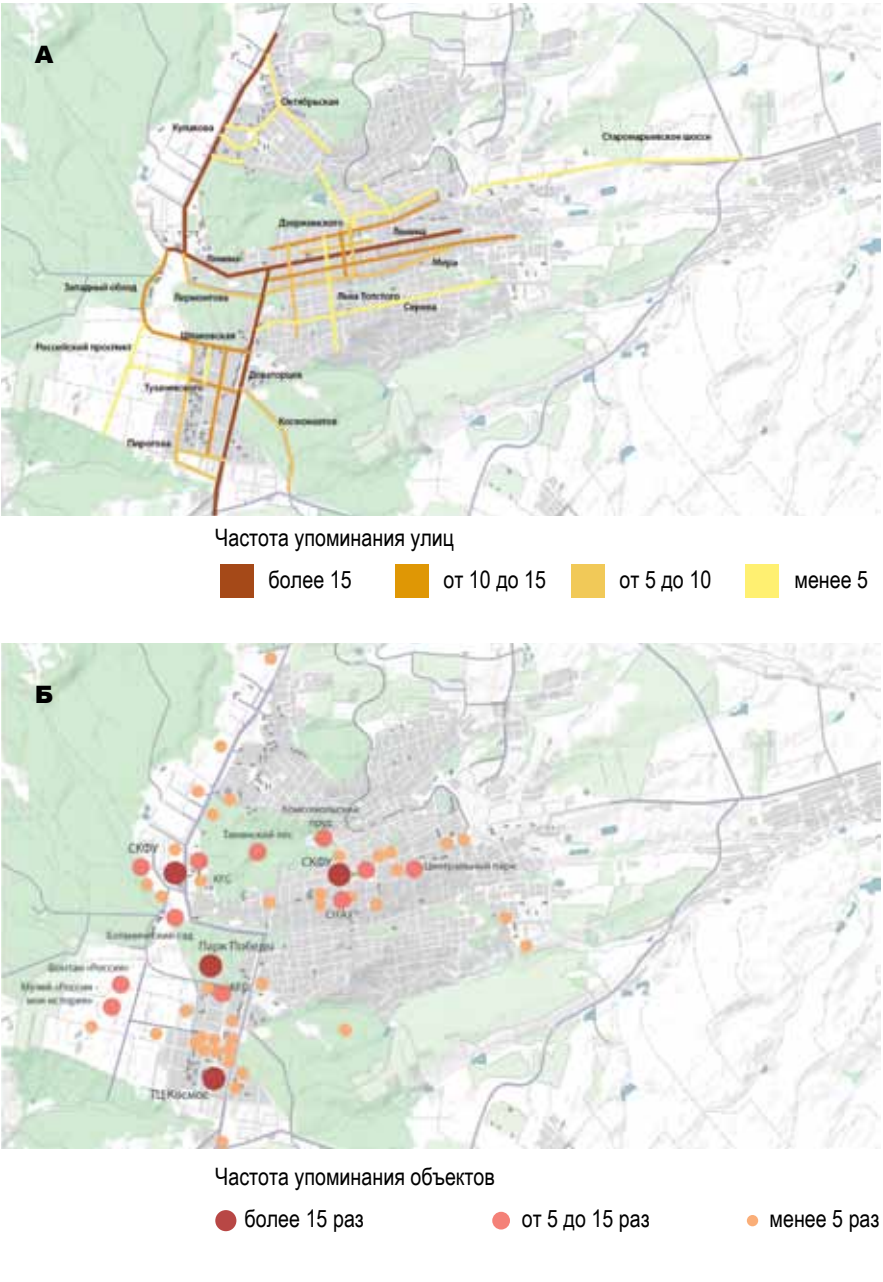


Рис. 1.

Ментально-географические линейные (А) и узловые (Б) объекты города Ставрополя.
Fig. 1. Mental and geographical linear (A) and nodal (B) objects of the city of Stavropol.

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

руг них попадают в сферу восприятия студентов. Четко выделяется типичная «молодежная инфраструктура» – заведения общественного питания, торговые и культурно-развлекательные объекты. Также прослеживается зависимость между местом проживания иногородних студентов и известной им территорией. Чаще всего – это ближайший район и территории, связанные с учебной деятельностью.

Город Пятигорск, являясь также студенческим городом, заметно отличается от Ставрополя по нескольким аспектам. Во-первых, меньшие количественные показатели дают о себе знать в вопросе ментального картографирования. Меньшая примерно в 3 раза численность и площадь города определяет большую локализованность ментальной карты и концентрированность ментальных объектов. Во-вторых, туристская специализация Пятигорска формирует преобладание внешнего образа над внутренним [14]. В такой ситуации особо важным становится изучение ментальных конструкций «не-туристского» населения города, которое представлено в том числе студенчеством.

Также как и в случае со Ставрополем, в ментальной карте Пятигорска возможно выделить два вида ментальных объектов: линейные и узловые (рис. 2). Среди линейных, представленных улицами, по частоте упоминания выделяются: проспекты Калинина, 40 лет Октябрьской революции и Кирова и улица Бульварная. Абсолютным лидером из всех ментальных элементов является проспект Калинина – главная ось города Пятигорска. Анализ часто упоминаемых узловых объектов выделил наиболее важные: здания и общежития Пятигорского государственного университета (ПГУ), а также примыкающие к ним магазины «Пятерочка» и «Магнит». Также высокую популярность получило заведение быстрого питания «Вкусно и точка».

При детальном рассмотрении студенческих ментальных карт становятся видны некоторые интересные качественные черты. Так, территориально более концентрированный кампус ПГУ (относительно СКФУ в Ставрополе) определил ментальное осознание студентами прилегающих к нему районов города. Четко видны ближайшие используемые студентами магазины, кафе, кофейни, скверы, парки и торговые центры. Особенностью стала и студенческая

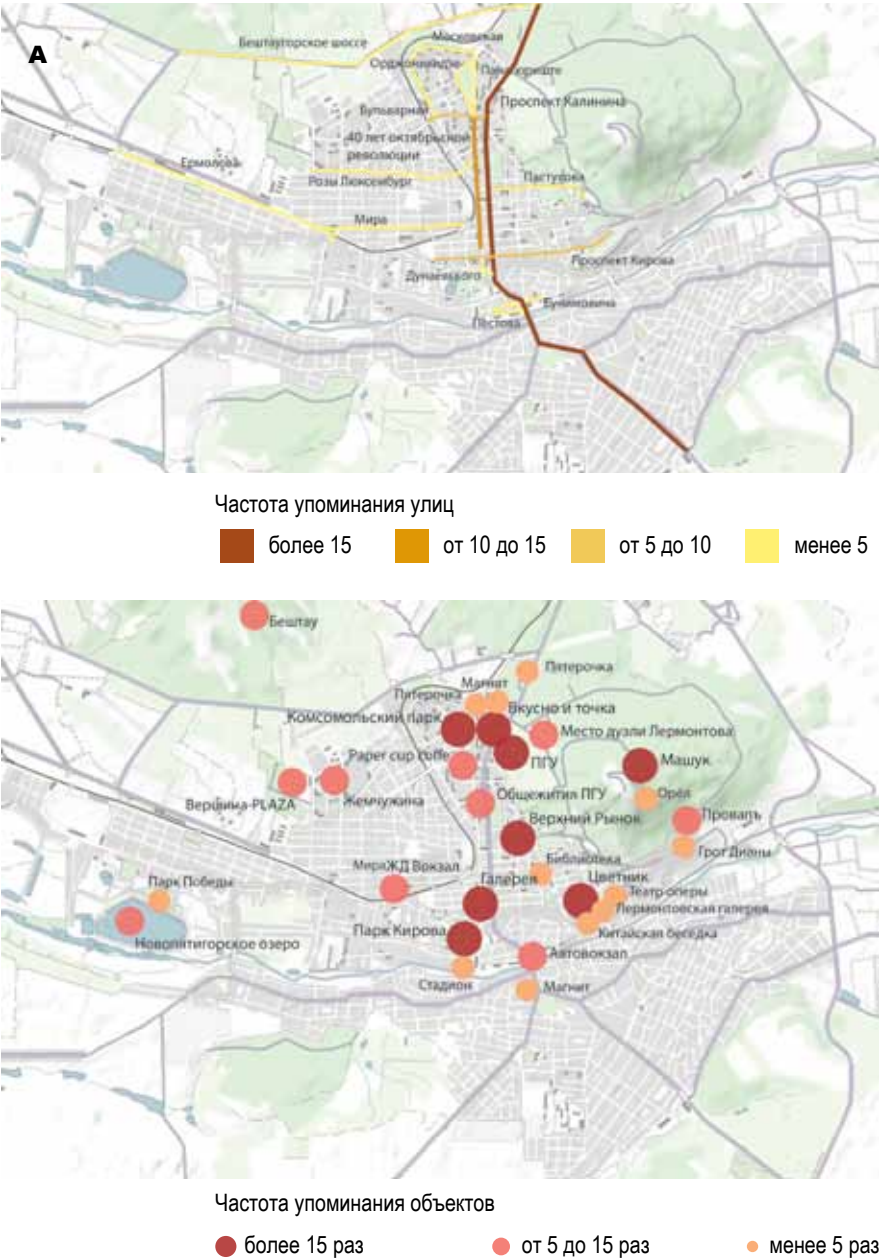


Рис. 2. Ментально-географические линейные (А) и узловые (Б) объекты города Пятигорска.
Fig. 2. Mental and geographical linear (A) and nodal (B) objects of the city of Pyatigorsk.

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

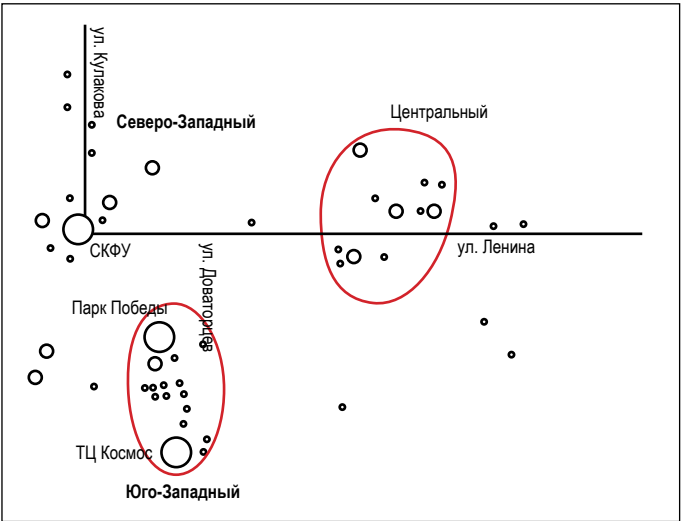
вернакулярность. Как и в классическом примере К. Линча об «автомобильной» мужской и «магазинной» женской ментальных интерпретациях города [2], можно обнаружить примеры студенческого «присвоения» городского пространства. К примеру, в кругу студентов ПГУ зачастую улица Бульварная обозначается как «Бродвей», а торговый центр «Галерея» для них просто «Галя».

Респонденты в Пятигорске также упоминали вернакулярные районы города, что почти не фиксировалось в Ставрополе. Наиболее часто назывался район «Белая Ромашка». Он получил свое название еще в начале XX века при открытии лечебницы для больных туберкулезом. Общество, собирающее пожертвования на ее строительство, имело белую ромашку в виде эмблемы. Со временем данное название прикрепились ко всему окружающему району, в котором ранее располагалась больница. Также довольно часто назывался соседний в «Белой Ромашкой» вернакулярный район «Бештау», однако его не всегда было возможно отделить от одноименной горы. В целом, учитывая местоположение университет, очевидно, что северную часть Пятигорска студенты знают лучше и она ментально переработана.

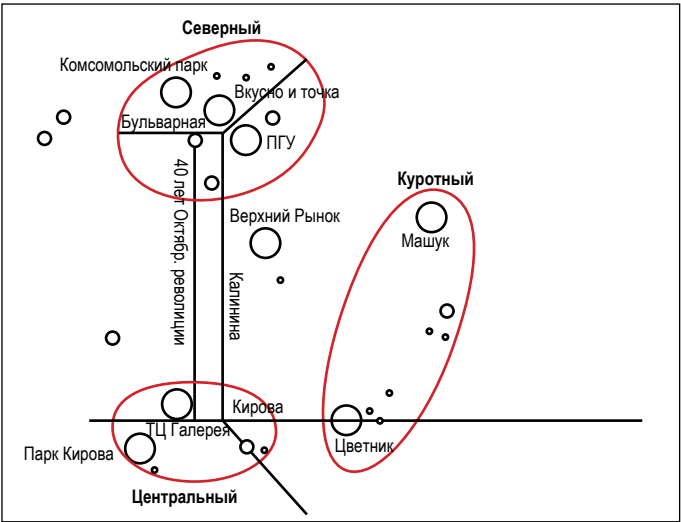
При этом, в ментальную карту студентов Пятигорска вошли и главные туристские точки города-курорта: место дуэли М. Ю. Лермонтова, гора Машук с прилегающими к ней объектами культурного наследия (озеро «Провал», Грот Лермонтова), парк «Цветник» с главными объектами (Лермонтовская галерея, Грот Дианы, Китайская беседка). За исключением курортной части и окрестностей университета, остальная территория имеет очаговое ментальное освоение – отдельные важные узлы (Автовокзал, Железнодорожный вокзал, Верхний рынок) хорошо известны. Огромные городские пространства на юге и западе практически не получили никакой репрезентации.

Описав характерные ментально-географические особенности двух исследуемых городов, становится возможным перейти к выделению и анализу внутренней структуры полученных образов. Для этого собранные и приведенные выше данные были генерализированы в виде образно-географических моделей Ставрополя и Пятигорска (рис. 3). В свою очередь, это позволило также провести сравнения городов и сделать несколько важных выводов.

г. Ставрополь



г. Пятигорск



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- красный овал — кластер
- черная линия — линейные элементы
- большой круг — главные узлы
- маленький круг — второстепенные узлы

Рис. 3.

Образно-географические модели Ставрополя и Пятигорска (по данным ментальных студенческих карт).

Fig. 3. Figurative geographical models of Stavropol and Pyatigorsk (according to mental student maps).

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Во-первых, в обоих городах наблюдается ментальная «кластеризация». Студенты выделили в каждом городе по 3 территориальных кластера, в которых есть популярные или узнаваемые объекты и вообще высока их плотность. Эти кластера непосредственно отражают специфику студенческой городской жизни. Главный фактор их формирования – университет и его кампус. Причем, если в Пятигорске за счет компактности и меньшего размера университета такой кластер только один (Северный), то в Ставрополе в основе двух кластеров (Центрального и Северо-Западного) находится территория университета. При этом с ментально-географической точки зрения возникает дискуссионное поле в вопросе: «Лучше локализованный или территориально разобщенный кампус?». Так, в Пятигорске сложившийся вблизи университета ментальный кластер давно освоен как студентами, так и другими городскими акторами. Несмотря на смены статусов и названий нынешнего Пятигорского государственного университета, этот вернакулярный район общепризнан. Хотя, в широком смысле, его скорее ассоциируют с местом дуэли М.Ю. Лермонтова и жилыми районами «Белая Ромашка» и «Бештау». В Ставрополе, с одной стороны, университетское ядро двух кластеров как бы создает ситуацию нахождения университета во всех частях города. С другой стороны, отсутствие единой понятной для всех ментальной конструкции «район СКФУ» не дает полностью заместить старые – «район СГУ» (Центральный кластер) и «район Политеха» (Северо-Западный кластер) на ментальной карте Ставрополя. В Ставрополе даже Юго-Западный ментальный кластер напрямую связан с университетом, так как там располагается большая часть общежитий СКФУ.

Во-вторых, на примере обоих городов виден практический смысл ментально-географических исследований студенчества. Он заключается в выделении специфической студенческой инфраструктуры и изучении ее использования. Очевидно, что основные потребности студентов лежат в сферах транспорта, общественного питания, развлечения и рекреации. Рассмотрим выявленные исследованием интерпретации этих потребностей на ментальных картах. Транспортная ментальная карта ставропольских студен-

тов ничем не отличается от аналогичных карт других категорий горожан, студенты курсируют в общегородских транспортных «перетоках». Специфика Пятигорска в данном случае определила яркое выделение на ментальных картах улицы 40 лет Октябрьской Революции. Она дублирует главную транспортную магистраль города – проспект Калинина, но с важным отличием – по ней проложен трамвайный маршрут, соединяющий север Пятигорска с остальным городом. Учитывая низкую цену и частое отсутствие альтернативных вариантов передвижений, студенты активно используют трамвай и ментально «осваивают» ничем не примечательную улицу.

Важнейшим для студенчества выступает вопрос организации общественного питания, который скорее всего имеет несколько аспектов. Вряд ли ментальное картографирование может зафиксировать ежедневный обыденный процесс в виде закупок продуктов или питания в университетских столовых. Хотя и здесь нельзя не отметить, что часто на картах отмечаются бюджетные супермаркеты, и практически не отмечаются рынки (за исключением Верхнего Рынка в Пятигорске). Зато «статусный» общепит студентами выделяется на ментальных картах одним из первых. В ходе работы выявился своеобразный раскол – доминирование сети «Ростикс» (бывший KFC) в Ставрополе и сети «Вкусно и точка» (бывший McDonald's) в Пятигорске.

Сфера отдыха и развлечений также получает широкое отражение на студенческих ментальных картах. Так, в каждом ментальном кластере есть соответствующие объекты – парки, скверы, торговые центры. Можно выделить даже рекреационные кластеры, ядро которых составляет рекреационная инфраструктура – Юго-Западный в Ставрополе, Центральный и Курортный в Пятигорске.

Последний из них, полностью состоящий из туристских объектов, лучше всего узнаваем в городе всеми категориями жителей туристов [15]. При этом остается справедливым вопрос о степени непосредственного его использования студентами, а не просто узнаваемости. В некоторых случаях студенты выделяют важные для себя рекреационные объекты, в общегородском контексте не играющих заметную роль [16]. Таким примером является Комсо-

мольский парк в Пятигорске, находящийся в непосредственной близости к университетскому кампусу. Также отметим, что практически отсутствуют на ментальных картах студентов музеи, театры, библиотеки и другие объекты «высокой» культуры. Считаем, что на эту особенность необходимо смотреть не только с позиции отсутствия потребности у студентов, но и с точки зрения современности и качества многих социально-культурных объектов исследуемых городов.

Наконец, научное осмысление собранных данных позволяет заявить о существовании ментально-географических особенностей студентов. Студенчество является уникальным временем в формировании личности. С демографической точки зрения, студенты – «вчерашние дети», явно не имеющие большого опыта, в том числе и территориального поведения и осознания. Поэтому вполне понятны такие особенности, как кластеризации и огромные «белые пятна» их городских ментальных карт. Отсюда также и жесткая зависимость от транспортного фактора и университетской топографии, учебная функция превалирует и трансформирует ментальные представления. Часто не имея возможностей выбирать свое место в городе из-за расположения университетских кампусов, цен на аренду жилья, студенты вынуждены использовать и осознавать городское пространство, в котором они оказались. При этом студенчество кажется единственной группой населения, способной выразить качественный запрос на молодежную среду в городе.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать несколько важных выводов.

1. Ставрополь и Пятигорск выступают главными центрами концентрации молодежи и «студенческими столицами» в Ставропольском крае и на Северном Кавказе. Ментально-географическое изучение студенческих репрезентаций этих городов позволяет выявить как важные общие черты студенческих го-

родов, так и их специфические географические особенности.

2. Ментальную карту студентов целесообразно представлять в виде линейно-узловых структур, в которых линиям соответствует улично-дорожная сеть, а узлам – точки интереса. Территориальные сочетания этих форм, их плотность и взаимосвязи позволяют выделять и изучать ментально-географические кластеры.
3. В формировании студенческих ментальных представлений о городских территориях ведущая роль принадлежит университетам. Их расположение и конфигурация в городе, вовлеченность в общегородские потоки и процессы в большинстве случаев автоматически «встраивают» студентов в городское пространство.
4. Ментальные карты Ставрополя и Пятигорска показывают нам уникальность их городских пространств, отмечают различия в студенческом осознании городов и притяжении к определенным местам проведения досуга. Количественные сравнения городов в данном случае невозможны, а потенциал исследований такого типа будет заключаться в поисках городской специфики и решении конкретных микрогеографических задач развития городов.

Список источников

1. Tolman E. C. Cognitive maps in rats and men // *Psychological Review*. 1948. No. 55 (4). P. 189–208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
2. Линч К. Образ города. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.
3. Замятин Д. Н. Образно-географическая карта (карта географических образов) // *Гуманитарная география: Научный и культурно-просветительский альманах*. Вып. 4. М.: Институт Наследия, 2007. С. 322–325.

4. Замятин Д. Н. Культура и пространство. Моделирование географических образов. М.: Знак, 2006. 488 с.
5. Митин И. И. Ментальные карты города: история понятия и разнообразие подходов // Городские исследования и практики. 2017. №2. С. 64–79.
6. Митин И. И. Ментальные карты как инструмент комплексного культурно-географического исследования: анализ подходов // Географический вестник. 2018. №4 (47). С. 21–33.
7. Глазычев В. Л. Социально-экологическая интерпретация городской среды. М.: Наука, 1984. 180 с.
8. Веселкова Н. В. Ментальные карты города: вопросы методологии и практики использования // Социология: методология, методы, математическое моделирование. 2010. №31. С. 5–30.
9. Глазков К. П. Экскурсия по городу: ментальные карты как инструмент работы с городским опытом // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2013. №5 (117). С. 136–151.
10. Omer I., Jiang B. Imageability and Topological Eccentricity of Urban Streets // Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics. Springer Science. 2010. P. 163–175. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8572-6_9
11. Hillier B., Vaughan L. The city as one thing // Progress in Planning. 2007. No 67 (3). P. 205–230.
12. Образование в России – 2022. Статистический бюллетень. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. 365 с.
13. Индекс качества городской среды [Электронный ресурс]. URL: <https://индекс-городов.рф> (дата обращения: 24.02.2024).
14. Чихичин В. В. Образ территории как фактор развития туризма (на примере Кавказских Минеральных Вод) // Факторы и стратегии регионального развития в меняющемся геополитическом и геоэкономическом контексте. Ростов-на-Дону – Грозный: Южный федеральный университет, 2016. С. 526–533.
15. Чихичин В. В. Образ региона как фактор развития туризма (на примере Ставропольского края) // География и туризм: сборник научных трудов. Пермь, 2008. Том 5. С. 38–54.
16. Супрунчук И. П., Чихичин В. В. Звуковое пространство

городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Наука. Инновации. Технологии. 2023. №3. С. 7–22. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.3.1>

References

1. Tolman EC. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*. 1948;55(4):189-208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
2. Lynch K. The image of the city. M.: Stroyizdat; 1982. 328 p. (In Russ.).
3. Zamyatin DN. Figurative geographical map (map of geographical images). *Gumanitarnaya geografiya: Nauchnyj i kul'turno-prosvetitel'skij al'manah* = Humanitarian geography: Scientific and cultural-educational almanac. Moscow: Institute of Heritage, 2007;(4):322-325. (In Russ.).
4. Zamyatin DN. Culture and space. Modeling of geographical images. M.: Znack; 2006. 488 p. (In Russ.).
5. Mitin II. Mental maps of the city: the history of the concept and a variety of approaches. *Urban Studies and Practices*. 2017;(2):64-79. (In Russ.).
6. Mitin II. Mental maps as an instrument of complex cultural and geographical research: analysis of approaches. *Geographical Bulletin*. 2018;4(47):21-33. (In Russ.).
7. Glazychev VL. Socio-ecological interpretation of the urban environment. Moscow: Nauka; 1984. 180 p. (In Russ.).
8. Veselkova NV. Mental maps of the city: issues of methodology and practice of use. *Sociology: methodology, methods, mathematical modeling*. 2010;(31):5-30. (In Russ.).
9. Glazkov KP. City tour: mental maps as a tool for working with urban experience. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*. 2013;5(117):136-151. (In Russ.).
10. Omer I, Jiang B. Imageability and Topological Eccentricity of Urban Streets. *Geospatial Analysis and Modelling of Urban Structure and Dynamics*. Springer Science. 2010. P. 163-175. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8572-6_9
11. Hillier B, Vaughan L. The city as one thing. *Progress in Planning*. 2007; 67(3):205-230.
12. Education in Russia–2022. Statistical Bulletin. Moscow: MIREA–Russian Technological University; 2022. P. 365. (In Russ.).

13. The Urban Environment Quality Index. Available from: <https://индекс-городов.рф> [Accessed: 24 February 2024]. (In Russ.).
14. Chikhichin VV. The image of the territory as a factor of tourism development (on the example of the Caucasian Mineral Waters). Factors and strategies of regional development in a changing geopolitical and geo-economic context. Rostov-on-Don - Grozny: Southern Federal University, 2016. P. 526-533. (In Russ.).
15. Chikhichin VV. The image of the region as a factor in tourism development (on the example of the Stavropol Territory). Geography and tourism: A collection of scientific papers. Perm; 2008;(5):38-54. (In Russ.).
16. Suprunchuk IP, Chikhichin VV. The sound space of the resort towns of the Caucasian Mineral Waters. *Science. Innovations. Technologies*. 2023;(3):7-22. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.3.1> (In Russ.).

Информация об авторах

Екатерина Ивановна Виноградова – студентка 3 курса направления «География», Высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета

Галина Николаевна Жиренко – кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, Высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета

Илья Павлович Супрунчук – кандидат географических наук, доцент кафедры социально-экономической географии, Высшая школа географии и геоинформатики Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57199507380

Павел Маркович Полян – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, Researcher ID: B-8756-2016, Scopus ID: 6603630160

Вклад авторов

Екатерина Ивановна Виноградова. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Галина Николаевна Жиренко. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Илья Павлович Супрунчук. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Павел Маркович Полян. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Information about the authors

Ekaterina I. Vinogradova – 3rd year student of Geography, High School of Geography and Geoinformatics of the North-Caucasus Federal University

Galina N. Zhirenko – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor of the Department of Socio–Economic Geography, High School of Geography and Geoinformatics of the North-Caucasus Federal University

Ilya P. Suprunchuk – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor of the Department of Socio–Economic Geography, High School of Geography and Geoinformatics of the North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57199507380

Pavel M. Polyani – Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher, Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Researcher ID: B-8756-2016, Scopus ID: 6603630160

Contribution of the authors

Ekaterina I. Vinogradova. Conducting research – data collection, analysis and interpretation.

Galina N. Zhirenko. Text preparation and editing – drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.

Ilya P. Suprunchuk. Approval of the final manuscript – acceptance of responsibility for all types of the work, integrity of all parts of the paper and its final version.

Pavel M. Polyani. Text preparation and editing – drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.

Научная статья

УДК 528.96

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.5>

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЕТИ РАССЕЛЕНИЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ УЗБЕКИСТАНА

Лола Хаджи-Акбаровна Гулямова

Ташкентский государственный технический университет
(д. 2, ул. Университетская, Ташкент, 100095, Узбекистан)
lola_gulyam@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7480-8158>

Аннотация.

В статье рассматриваются вопросы интеграции геоданных из разных источников для геоинформационного картографирования трансформации сельского расселения. Объектом исследования является изменение сети расселения населения в Хорезмском оазисе и Ферганской долине Узбекистана. Исследование построено на использовании онлайн-ресурсов, материалов официальной государственной статистики о численности населения в разрезе отдельных поселений, картографических материалов и материалов космической съемки, результатов полевых обследований для геоинформационного картографирования.

Предлагается алгоритм геоинформационного исследования изменения площади и численности населения поселений за 1959–2023 гг. В качестве базовой основы использованы геоданные OpenStreet Map, детальность и геометрическая точность которых достаточны для вычисления количественных характеристик трансформации. Разновременные топографические карты в масштабе 1:200 000 за 1959, 1979, 1989 гг. использованы для создания геоданных в векторном формате. Геокодирование исходных материалов проводилось для формирования базы данных, состоящей из блоков на несколько дат. Результаты автоматически вычисленных площадей каждого населённого пункта использованы для расчёта их роста. Космические съёмочные материалы, в частности материалы космических съёмок, полученные с ИСЗ Landsat за 1994 г., Landsat / Copernicus Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO 10 апреля 2013 – 14 декабря 2015 гг., 4 октября – 14 декабря 2023 г. и размещённые на портале Google Earth Pro, использованы для обновления геометрии данных. Онлайн сервисы

ArcGIS Online применены для интерактивного картографирования. Данные о численности населения каждого населённого пункта на указанные даты использованы для расчёта роста за периоды 1959–1979, 1979–1989, 1989–2023 гг.

По итогам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что на отдельных стадиях развития процесс трансформации характеризуется качественными и количественными изменениями в сети расселения. Методы геопространственного анализа использованы для выявления изменения типов и форм расселения, которые характеризуют особенности трансформации.

Ключевые слова: аридная зона, Узбекистан, Ферганская долина, Хорезмский оазис, трансформация, расселение населения

Для цитирования: Гулямова Л. Х.-А. Исследование изменения сети расселения в аридной зоне Узбекистана // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 119-140. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.5>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 03.03.2024;
одобрена после рецензирования 08.05.2024;
принята к публикации 22.05.2024.

1.6.20. **Geoinformatics and Cartography (Geographical Sciences)**
Research article

Monitoring of transformation of settlement spatial network in the arid zone of Uzbekistan

Lola X. Gulyamova

Tashkent State Technical University (2, Universitetskaya St.,
Tashkent, 100095, Uzbekistan)
lola_gulyam@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7480-8158>

Abstract. The paper examines the issues of integrating geodata from different sources for geoinformation mapping of the transformation of rural settlement. The object of the study is the change in the population settlement network in the Khorezm oasis and the Fergana Valley of Uzbekistan.

The study is based on the use of materials from official state statistics on the population in the context of individual settlements, cartographic materials and satellite imagery, and the results of field surveys for geoinformation mapping.

An algorithm for geoinformation research of changes in the area and population of settlements over 1959-2023 is proposed. OpenStreet Map geodata are used as a base map, the detail and geometric accuracy of which are sufficient to calculate the quantitative characteristics of the transformation. Multi-temporal topographic maps at a scale of 1:200,000 for 1959, 1979 and 1989 are used to create geodata in vector format. Geocoding of source materials was carried out to form a database consisting of blocks for several dates. The results of the automatically calculated areas of each settlement were used to calculate their growth. Remote sensing materials, in particular, space materials obtained from the Landsat satellite for 1994, Landsat / Copernicus Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO April 10, 2013–December 14, 2015, October 4–December 14, 2023, and posted on Google Earth Pro, are used to update data geometry. ArcGIS Online services are used for interactive mapping. Data on the population of each locality on the indicated dates were used to calculate growth for the periods 1959–1979, 1979–1989, 1989–2023.

Based on the results of the study, it is concluded that at certain stages of development the transformation process is characterized by qualitative and quantitative changes in the settlement network. Methods of geospatial analysis were used to identify changes in the types and forms of settlement that characterize the features of the transformation.

Keywords: arid zone, Uzbekistan, Fergana Valley, Khorezm oasis, transformation, population settlement

For citation: Gulyamova LX. Monitoring of transformation of settlement spatial network in the arid zone of Uzbekistan. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):119-140. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.5>

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 03.03.2024;
approved after reviewing 08.05.2024;
accepted for publication 22.05.2024.

Введение

В районах древнего орошения аридной зоны Узбекистана в связи с повышенными темпами роста населения и изменения расселения в социальном и экономическом аспектах актуальны мониторинг и управление процессами развития систем расселения. Динамичность роста сети сельских поселений в пространстве с одной стороны, и инерционность систем расселения, с другой, требуют повышения степени оперативности и обзорности исследований их территориальных изменений. Именно исследование пространственной динамики, как показано в [1], способствует выделению общих черт и особенностей агломераций Ставропольского края.

Особое место занимают геопространственные методы, которые обеспечивают качественный и количественный анализ геоданных о расселении Узбекистана [2], а также служат основой геоинформационного мониторинга трансформации воспроизводства населения России [3], способствуют анализу по историческим картам пространственно-временной устойчивости административно-территориального деления Ставропольского края [4], подчёркивает важность разработки концепции использования методов и методик, нацеленных на получение геоинформации и геознаний [5].

Исследование [6] показывает, что интеграция методов и средств совместного использования традиционных материалов и доступных данных краудсорсинга и онлайн сервисов для сбора, систематизации, анализа и визуализации способствует эффективности извлечения разновременной детальной пространственной информации о расселении. Увеличение онлайн сервисов для геоинформационного картографирования, как это отмечается в работах [7, 8], обуславливают актуальность повышения эффективности использования больших данных, а также их визуализации, как способа выделения из них пространственно-распределённой информации, позволяющей анализировать динамику систем, которые не могут изучаться методом аналогии [9]. С этим связано совершенствование методов оценки качества больших данных, учёта их возможностей и ограничений для решения проблем устойчивого развития, территориального планирования и управления.

Исследователи [10] отмечают, что из-за стремительного увеличения объёма цифровых данных о природе и обществе извлечение геоинформации при помощи традиционных методов становится трудноразрешимой задачей. Особую актуальность приобретает интеграция методов интерпретации геоизображений для получения, обработки, анализа и извлечения быстро растущего объёма глобальных наборов данных о Земле [11, 12]. Благодаря этой интеграции расширяются такие функции геоинформационных систем, как создание ряда пространственных данных в виде многоуровневого набора карт для анализа. Исследования [13] показали, что в геоинформационном картографировании населения использование геопространственных данных из нескольких источников позволяют их дезагрегирование. Наблюдаемая тенденция доступности подробных спутниковых изображений, инструментов геопозиционирования для полевых исследований, статистических методов и вычислительной мощности позволяет разрабатывать и применять подходы, которые могут оценить распределение населения в мелких пространственных масштабах в случае отсутствия данных переписи населения [14]. Однако метод пространственной метрики [15] показывает, что несмотря на существующую связь между текстурой изображения и плотностью населения, текстура не может служить достаточной основой для расчётов, но может использоваться для уточнения пространственного распределения населения.

На примере Ферганской долины и Хорезмского оазиса (рис. 1), отличающихся более высокой плотностью населения и густотой поселений, изучены особенности трансформации сельских поселений.

Для этих районов характерны небольшие резервы территориально-экономического развития и повышенная уязвимость к глобальным и региональным изменениям климата.

Целью данного исследования является геоинформационный мониторинг локальных особенностей трансформации сети расселения в оазисных районах Узбекистана. Поставлены задачи по разработке методов извлечения географической информации из различных массивов данных и содержательного анализа геоизображений.

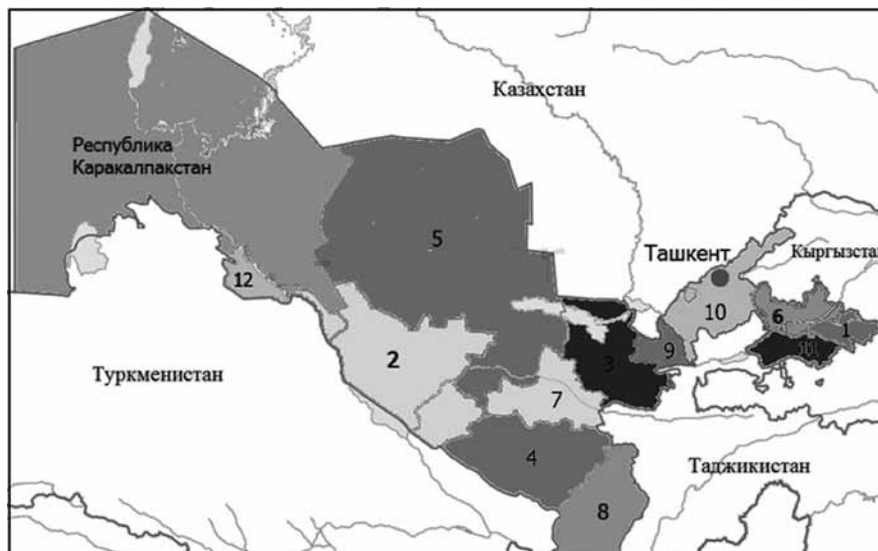


Рис. 1. Административная карта Республики Узбекистан. Подписи на карте обозначают названия областей:

- 1 – Андижанская,
- 2 – Бухарская,
- 3 – Джизакская,
- 4 – Кашкадарьинская,
- 5 – Навоийская,
- 6 – Наманганская,
- 7 – Самаркандская,
- 8 – Сурхандарьинская,
- 9 – Сырдарьинская,
- 10 – Ташкентская,
- 11 – Ферганская,
- 12 – Хорезмская.

Стрелками обозначены объекты исследования.

Fig. 1. Administrative map of the Republic of Uzbekistan. The names of regions are marked with numbers: 1 – Andijan, 2 – Bukhara, 3 – Jizzakh, 4 – Kashkadarya, 5 – Navoi, 6 – Namangan, 7 – Samarqand, 8 – Surkhandarya, 9 – Syrdarya, 10 – Tashkent, 11 – Fergana, 12 – Xorezm. The study areas are marked with arrows.

Источник:

составлено автором / Source: compiled by the author.

Материалы и методы исследований

Для геоинформационного картографирования использованы картографические и космические съёмочные материалы, в частности материалы космических съёмок, полученные с ИСЗ Landsat за 1994 г., а также Landsat / Copernicus Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO 10 апреля 2013 – 14 декабря 2015 г. г., 4 октября – 14 декабря 2023 г. и размещенные на портале Google Earth Pro [16], данные открытого ресурса OpenStreet Map [17], и онлайн сервисов ArcGIS Online [18]. Сопряжённое использование онлайн материалов Google Earth Pro направлено на обновление границ расселения по состоянию на 2023 г.

В качестве базовой основы использованы геоданные OpenStreet Map, детальность и геометрическая точность которых достаточны для вычисления количественных характеристик трансформации. Разновременные топографические карты в масштабе 1:200 000 за 1959, 1979, 1989 гг. использованы для создания геоданных в векторном формате. Геокодирование исходных материалов проводилось для формирования базы данных, состоящей из блоков на несколько дат. Результаты автоматически вычисленных площадей каждого населённого пункта использованы для расчёта их роста.

Основными источниками о населении являются материалы государственной официальной статистики [19; 20, с. 96–109; 21, с. 96–110], результаты полевых обследований. Для изучения особенностей трансформации были использованы материалы официальной статистики за 2023 г. (по состоянию на 1 января 2024 г.) о численности жителей 1841 сельских поселений в Ферганской долине (17% от общего числа поселений в Узбекистане) [22], 550 сельских поселений (5%) – в Хорезмской области [23].

Данные о численности населения каждого населённого пункта на указанные даты использованы для расчёта роста численности населения за периоды 1959–1979, 1979–1989, 1989–2023 гг.

Для изучения трансформации расселения использованы методы анализа морфологических и функциональных характеристик. Трансформация сети расселения оценивалась по величине роста площади отдельных поселений в зависимости от их людности. Вычисленные характеристики: средние расстояния между поселениями, густота поселений – являются базовыми для вычисления разме-

ров ареалов расселения и их распределения по территории. Расстояние между поселениями и природными объектами анализируется с целью определения влияния на трансформацию таких природных факторов, как водообеспечение, строение поверхности, наличие потенциала для роста поселений. На основе этого проведена классификация изменений.

Работа с геоданными проводилась в соответствии с алгоритмом, состоящим из несколько этапов:

- 1) ввод геоданных онлайн-ресурсов и данных о геометрии сети расселения по топографическим картам;
- 2) ввод атрибутов по материалам официальной государственной статистики;
- 3) вычисление изменения площади каждого населенного пункта за заданные периоды и сохранение в виде атрибута;
- 4) вычисление изменения людности каждого поселения и сохранение в виде атрибута;
- 5) вычисление морфологических и функциональных характеристик территориального распределения: густоты поселений и среднего расстояния между ними;
- 6) статистический анализ данных об изменениях людности и площади, характеристик территориального распределения;
- 7) построение графиков зависимости (рис. 2).

Результаты исследований и их обсуждение

Совместное использование различных материалов для анализа изменений сети и систем расселения показывает, что в агломерированных системах в результате взаимосвязей между городскими и сельскими населёнными пунктами наиболее интенсивен процесс слияния мелких сельских поселений. По-прежнему присутствует характерная для оазисов древнего орошения мелкопоселковость, обусловленная специфичностью природных условий и хозяйственного развития.



Рис. 2. Алгоритм геоинформационного исследования изменения площади и численности населения поселений

Fig. 2. Algorithm for geoinformation research of changes in settlement area and population.

Источник: составлено автором / Source: compiled by the author.

В 2009 году около 1000 крупных сельских населенных пунктов с людностью 2 000 жителей получили статус городских поселений. В 2023 г. (по состоянию на 1 января 2024 г.) сельские поселения с численностью жителей менее 5¹ тысяч человек составляли 50 % от всех поселений². Именно для этой группы отмечен рост площади, опережающий по темпам рост населения, что нежелательно при ограниченных земельных и водных ресурсах. Сохраняется тенденция бесплановой застройки, некомпактной, преимущественно линейной планировочной структуры. Рост людности поселений проходит более низкими темпами по сравнению с ростом площадей. Сохраняется планировочная линейная и радиальная структура поселений, которая исторически связана с условиями водообеспечения территории. Линейный и ленточный придорожно-приречный тип являются наиболее характерной особенностью сельского расселения и в настоящее время. В качестве примера представлены результаты визуализации геоданных о сети поселений части Андижанской области за 1959 г. (рис. 3), 1989 г. (рис. 4) и 2023 г. (рис. 5).

Анализ изменения площади сельских поселений показывает, что сохраняется тенденция к понижению плотности и преобладанию дисперсной застройки. Наиболее интенсивно рост плотности населения и доли застроенных территорий за счёт сокращения орошаемых земель проявляется в равнинной части, в зонах древнего орошения в Ферганской долине и Хорезмском оазисе. Например, в Андижанской области (рис. 6), в которой наблюдается самая высокая плотность населения в Центральной Азии, в 2010–2020 гг. повышенные темпы роста сельского населения отмечаются на пери-

1 Группировка сельских поселений согласно градостроительным нормам и правилам Госкомитета по архитектуре и строительству: сельские поселения с числом жителей свыше 5 тысяч жителей относятся к крупным; от 3 до 5 тысяч – к большим; от 1 до 3 тысяч – к средним; до 1 тысяч – к мелким. ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ Градостроительные нормы и правила Государственного комитета по архитектуре и строительству Республики Узбекистан, от 23.12.2009 г. № 2.07.01-03. II. ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ И ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, п. 8.
Городские и сельские поселения в системе расселения Источник: [Электронный ресурс] URL: <https://lex.uz/docs/4444165>

2 По состоянию на 01.01.2024 г. в 10 990 сельских поселениях проживает 18 028,7 тысяч человек, средний размер сельских поселений 1 641 человек. Источник: [Электронный ресурс] URL: <https://stat.uz/ru/ofitsialnaya-statistika/demography>



Рис. 3. Визуализация геоданных о сети поселений Андижанской области за 1959 г.

Fig. 3. Geoimage of settlements of Andijan region in 1959.
составлено автором / Source: compiled by the author.

Источник:



Рис. 4. Визуализация геоданных о сети поселений Андижанской области за 1989 г.

Fig. 4. Geoimage of settlements of Andijan region in 1989.
составлено автором / Source: compiled by the author.

Источник:

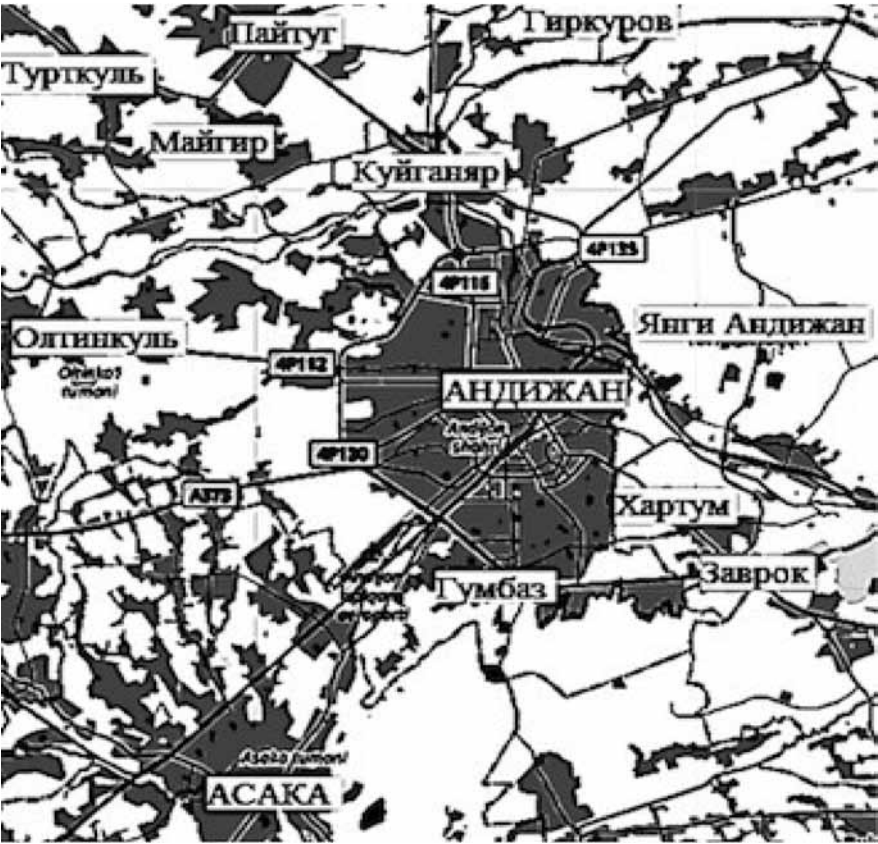


Рис. 5. Визуализация геоданных о сети поселений Андижанской области за 2023 г.
Fig. 5. Geoimage of settlements of Andijan region in 2023.
Источник: составлено автором / Source: compiled by author.

ферии оазиса, где имеются ресурсы для дальнейшего развития расселения вширь. В районах древнего освоения темпы роста в 1,2 раза ниже, что указывает на ограниченность дальнейшего расширения систем расселения.

Рост площадей населённых пунктов в различных группах поселений неодинаков. Средний прирост площадей сельских поселений в зависимости от людности наиболее высок в группе поселений 51–200³ жителей, где преобладает дисперсная застройка, средний прирост площади составил 0,4–0,5 км² (рис. 7). В группе поселений 201–500 и 501–1000 жителей средний прирост площади составил 0,2–0,4 км². Выше прирост площади в группе поселений с людностью 1001–2000 жителей в пригородной зоне – 0,3–0,5 км².

В целом сохраняется тенденция понижения плотности застройки при её бесплановости, преимущественной линейной планировочной структуре. Уменьшение доли пашни на 1 сельскохозяйственного работника [24] при ограниченных земельно-водных ресурсах и хаотичный процесс изменения расселения приводит к понижению эффективности использования орошаемых земель.

Другой характерной особенностью является инерционность расселения, которая носит черты исторического развития. В районах интенсивного водообеспечения сохраняется повышенная плотность поселений, средние расстояния между которыми составляет 1–2 км. В результате это приводит к дроблению посевных площадей и угодий. В Ферганской долине за исследуемый период доля сельских поселений с числом жителей 100–500 жителей уменьшилась в 3 раза, плотность же населения увеличилась в 2,1–2,3 раза. Политика сдерживания роста площадей в наиболее густонаселённых районах приводит к повышению плотности застройки лишь отчасти. Это отражается на отставании развития социально-бытовой инфраструктуры и обострении экологической ситуации.

Изучение типов и форм расселения позволило выявить различия, обусловленные не столько местными особенностями хозяйст-

3 Группировка сельских поселений с численностью жителей менее 2 000 человек отсутствует в официальной статистике и в этой статье эта группировка предлагается автором для исследования трансформации.

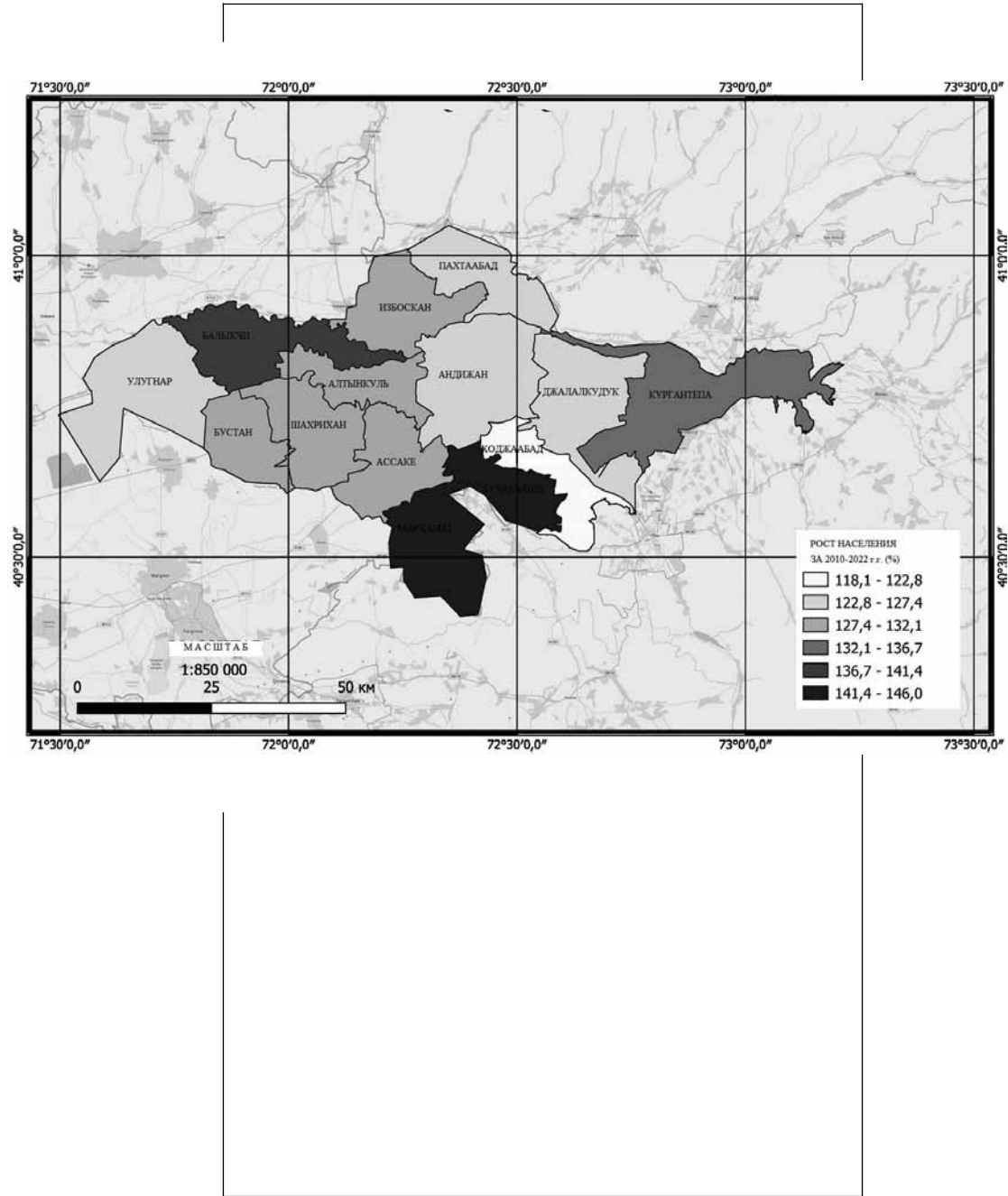


Рис. 6. Рост сельского населения Андижанской области в 2010–2022 гг.

Fig. 6. Growth of the rural population of Andijan region in 2010–2023.

Источник: составлено автором / Source: compiled by the author.

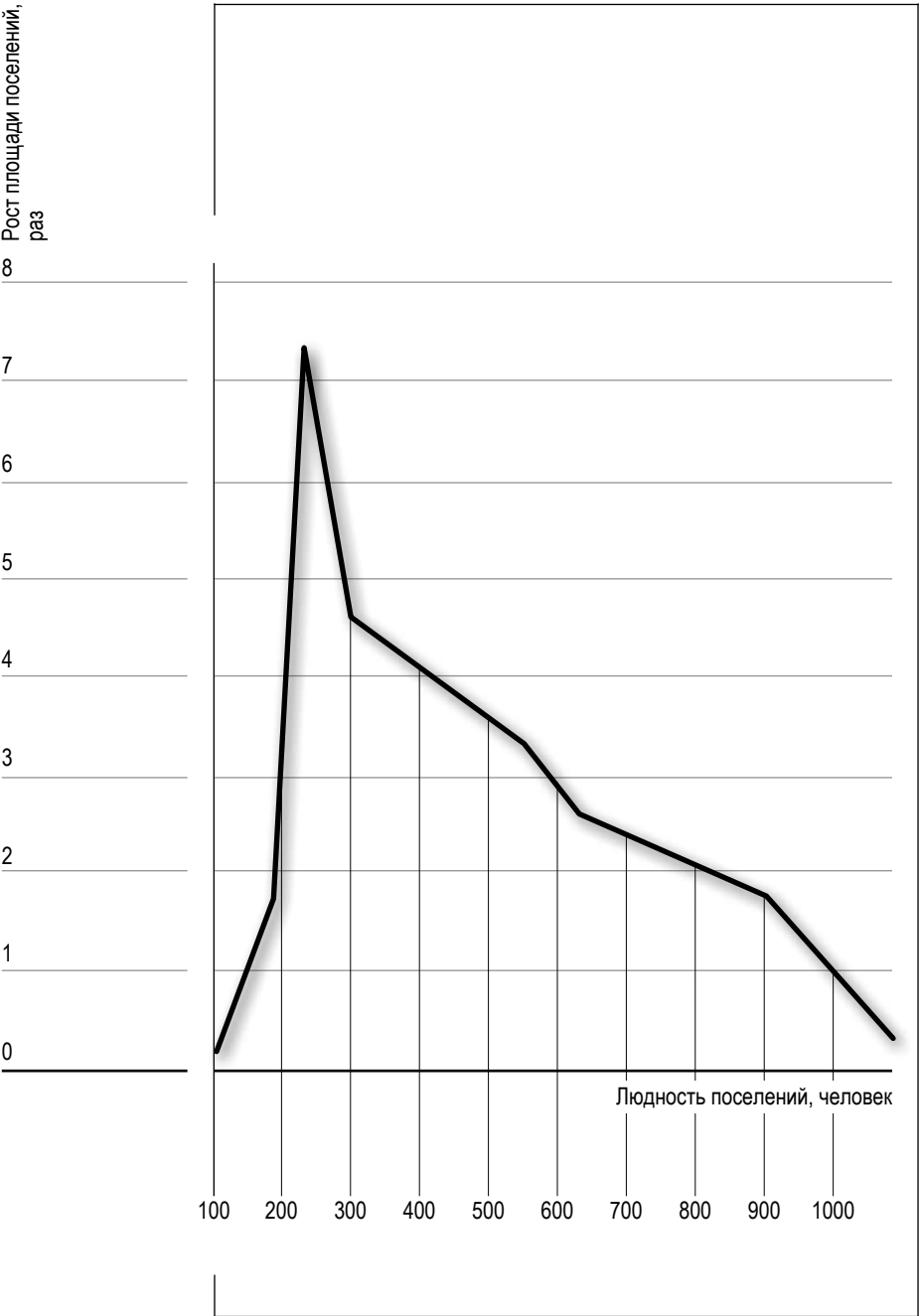


Рис. 7. График зависимости роста площади сельских поселений от их людности в Ферганской долине.

Fig. 7. Graph of the growth of the area of rural settlements depending on their population in Fergana Valley.

Источник: составлено автором / Source: compiled by the author.

венного развития, сколько историческими предпосылками. На основе морфологической и функциональной характеристик выделено несколько типов сельского расселения, каждому из которых присущи особенности трансформации. Изменения величины и конфигурации ареалов расселения тесно связаны с доступностью водных ресурсов. Равномерность распределения и небольшие размеры поселений в зоне древнего орошения наблюдаются и сегодня. В районах нового освоения преобладают крупные, редко расположенные поселения. Таким примером является район Центральной Ферганы, где плотность населения и густота поселений ниже, значительнее колебания численности населения по отдельным массивам.

На отдельных стадиях развития систем расселения процесс трансформации различается по характеру изменения конфигурации поселений, среднему приросту площади, планировочной структуре. На низшем уровне наблюдается линейная планировочная структура, рост площади по темпам превышает рост людности поселений. Этот процесс наблюдается на окраинах оазисов в условиях ограниченных водных ресурсов и в зоне небольших каналов внутри оазисов. На следующей стадии характерно слияние поселений одного уровня в зонах наиболее активного хозяйственного использования территории. И лишь затем формируются полицентрические группы поселений в наиболее плотно заселённых районах при более высоких темпах роста людности по сравнению с ростом площади. Важно также положение поселений относительно центров расселения. В зоне влияния крупных городских населённых пунктов прирост площади и рост людности ниже, чем в зонах влияния локальных центров расселения.

Заключение

В связи с трудоизбыточностью и трудонедостаточностью, демографическим «бумом», низкой эффективностью производства в оазисных районах сплелись в клубок разнообразные экологические, социально-экономические проблемы. Исследование трансформации в этих условиях требует детального анализа изменений на уровне отдельных поселений, чем обусловлена необходимость использования многовременных геоданных в большом

объеме. Эффективность анализа зависит от использования методов геоинформационного картографирования, которые позволяют вычисление количественных и качественных показателей трансформации. В данном исследовании были предложены базовые характеристики для вычисления размеров ареалов расселения и их распределения по территории. Средние расстояния между поселениями, между поселениями и природными объектами, густота поселений анализируются с целью определения влияния на трансформацию таких природных факторов, как водообеспечение, строение поверхности, наличие потенциала для роста поселений. Трансформация сети расселения оценивалась по величине роста площади отдельных поселений в зависимости от их людности. Выявлено, что на отдельных стадиях развития систем расселения процесс трансформации различается по характеру изменения конфигурации поселений, среднему приросту площади, планировочной структуры. Рост площади по темпам превышает рост людности поселений на низшем уровне. В результате активного хозяйственного использования территории наблюдается слияние поселений одного уровня. Формирование полицентрических групп поселений происходит в наиболее плотно заселённых районах при более высоких темпах роста людности по сравнению с ростом площади.

Данное исследование является первым в изучении особенностей изменений сети поселений в оазисных районах Узбекистана. На следующем этапе планируется разработка сценариев дальнейшего развития сети расселения при заданных условиях.

Список источников

1. Эшроков В. М., Черкасов А. А., Сопнев Н. В. Агломерации Ставропольского Края: сравнение пространственной и демографической динамики // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 2. С. 55–81 <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.4.3>
2. Гулямова Л. Х. Теоретические и методологические основы геопространственных исследований в социально-экономической картографии (по материалам расселения Республики Узбекистан): монография. Ташкент: Университет, 2022. 240 с.

3. Есикова В. О. Геоинформационный мониторинг воспроизводства населения в России // Наука. инновации. технологии. 2023. № 2. С. 53–90. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.2.3>
4. Каторгин И. Ю., Роман А. Н. Картографирование и пространственный анализ развития административных границ Ставрополя за 1785–2021 годы // Наука. Инновации. Технологии. 2022. № 2. С. 139–162. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.8>
5. Антонов Е. С., Лисицкий Д. В., Янкелевич С. С. Теоретико-методологическое представление прямого перехода от геоинформации к геознаниям // Вестник СГУГиТ. 2021. Том 26. № 2. С. 82–90.
6. Гулямова Л. Х.-А. Геопространственные исследования расселения населения Узбекистана // Интерэкспо ГЕО-Сибирь: XIX Международный научный конгресс (Новосибирск, 17–19 мая 2023 г.): сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». Новосибирск: СГУГиТ, 2023. С. 17–24. [Электронный ресурс]. URL: <https://sgugit.ru/upload/geosibir/sborniki/2023/tom-1-2/017-024.pdf> (дата обращения: 26.02.2024).
7. Boyd D. Crawford K. Critical Questions for Big Data // Information, Communication & Society. 2012. No. 15:5. P. 662-679. [Electronic resource]. URL: <https://www.dhi.ac.uk/san/waysofbeing/data/communication-zangana-boyd-2012.pdf> (accessed: 18.06.2023). <https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.6788788>.
8. Goodchild M. F. The Quality of Big Data // Dialogues in Human Geography. 2013. No. 3:3. P. 280–284. <https://doi.org/10.1177/2043820613513392>
9. Ерёмченко Е. Н., Колосов В. А., Тикунов В. С. Интегральная методология в геопространственных исследованиях // Наука. Инновации. Технологии. 2022. № 2. С. 121–138. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.7>
10. Goodchild M. F. Elements of an infrastructure for big urban data // Urban Info 2022. Vol. 1. [Electronic resource]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44212-022-00001-5> (accessed: 08.01.2024). <https://doi.org/10.1007/s44212-022-00001-5>
11. Guo H., Goodchild M. F., Annoni, A. (Eds.) Manual of Digital

- Earth. 2020. [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/325881522> (accessed: 08.01.2024).
12. Тикунов В. С., Ерёмченко Е. Н. Цифровая земля и картография // Геодезия и картография. 2015. № 11. С. 6–15. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2015-905-11-6-15>
 13. Wu T. J.; Luo J. C., Dong W., Gao L. J., Hu X. D., Wu Z. F., Sun Y. W., Liu J. S. Disaggregating County-Level Census Data for Population Mapping Using Residential Geo-Objects With Multisource Geo-Spatial Data // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020. No. 13. P. 1189–1205. [Electronic resource]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/340043352> (accessed: 08.01.2024). <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2974896>
 14. Wardrop N. A., Jochem W. C., Bird T. J., Chamberlain H. R., Clarke D., Kerr D., Bengtsson L. Juran S., Seaman V., Tatem A. J. Spatially disaggregated population estimates in the absence of national population and housing census data. PNAS. 2018. Vol. 115. No. 14. P. 3529–3537. [Electronic resource]. URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1715305115> (accessed: 08.01.2024). <https://doi.org/10.1073/pnas.1715305115>
 15. Liu X. H., Keith C., Martin H. Population density and image texture: A comparison study. Photogramm. Eng. Remote Sens. 2006. Vol. 72. No. 2. P. 187–196. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.2.187>
 16. Google Earth Pro. [Электронный ресурс]. URL: <https://earth.google.com/web> (дата обращения: 26.02.2024).
 17. OpenStreet Map. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.openstreetmap.org/search?query=Uzbekistan#map=6/41.523/64.607> (дата обращения: 26.02.2024)].
 18. ArcGIS Online. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arcgis.com/index.html> (дата обращения: 26.02.2024).
 19. Агентство по статистике при Президенте Республики Узбекистан. [Электронный ресурс]. URL: <https://stat.uz/ru/> (дата обращения: 26.02.2024).
 20. Демографический ежегодник Узбекистана. Статистический сборник. Ташкент: 2020. 211 с.
 21. Демографический ежегодник Узбекистана. Статистический сборник. Ташкент: 2022. 215 с.
 22. Агентство по статистике при Президенте Республики Узбекистан. Областное управление статистики Андижанс-

кой области. [Электронный ресурс]. URL: <https://andstat.uz/uz/rasmiy-statistika/demography-2> (дата обращения: 26.02.2024).

23. Агентство по статистике при Президенте Республики Узбекистан. Областное управление статистики Хорезмской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xorazmstat.uz/uz/rasmiy-statistika/demography-2> (дата обращения: 26.02.2024).
24. Площадь сельскохозяйственных земель стран мира. [Электронный ресурс]. URL: <https://nonews.co/directory/lists/countries/agricultural-land> (дата обращения: 26.02.2024).

References

1. Jeshrokov VM, Cherkasov AA, Sopnev NV. Agglomerations of the Stavropol Krai: comparison of spatial and demographic dynamics. *Science. Innovations. Technologies*. 2023;(2):55-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.4.3>
2. Gulyamova LX. Theoretical and methodological foundations of geospatial research in socio-economic cartography (based on materials of population settlement of the Republic of Uzbekistan). Tashkent: University; 2022. 240 p. (In Russ.).
3. Esikova VO. Geoinformation monitoring of population reproduction in Russia. *Science. Innovations. Technologies*. 2023;(2):53-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2023.2.3>
4. Katorgin IJu, Roman AN. Mapping and spatial analysis of the development of administrative borders of Stavropol for 1785-2021. *Science. Innovations. Technologies*. 2022;(2):139-162. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.8>
5. Antonov ES, Lisickij DV, Jankelevich SS. Theoretical and methodological representation of the direct transition from geoinformation to geoknowledge. *Vestnik SGUGiT*. 2021; 26(2):82-90. (In Russ.).
6. Gulyamova LX. Geospatial studies of population settlement in Uzbekistan. In "Interexpo GEO-Siberia. XIX International Scientific Congress" (Novosibirsk, May 17–19, 2023): collection of materials in 8 volumes. Vol. 1: International scientific conference "Geodesy, geoinformatics, cartography, surveying." Novosibirsk; 2023. P. 17-24. Available from: <https://sgugit.ru/upload/geosibir/sborniki/2023/tom-1-2/017-024.pdf> [Accessed 26 February 2024]. (In Russ.).

7. Boyd D, Crawford K. Critical Questions for Big Data. *Information, Communication & Society*. 2012;15(5):662-679. Available from: <https://www.dhi.ac.uk/san/waysofbeing/data/communication-zangana-boyd-2012.pdf> [Accessed 18 June 2024]. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.678878>
8. Goodchild MF. The Quality of Big Data. *Dialogues in Human Geography*. 2013;3(3):280-284. <https://doi.org/10.1177/2043820613513392>
9. Erjomchenko EN, Kolosov VA, Tikunov VS. Integral methodology in geospatial research. *Science. Innovations. Technologies*. 2022;(2):121-138. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.7>
10. Goodchild MF. Elements of an infrastructure for big urban data. *Urban Info*. 2022;1. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44212-022-00001-5> [Accessed 8 January 2024]. <https://doi.org/10.1007/s44212-022-00001-5>
11. Guo H, Goodchild MF, Annoni A. (Eds.) Manual of Digital Earth. 2020. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/325881522> [Accessed 8 January 2024].
12. Tikunov VS, Yeremchenko EN Digital Earth, and Cartography. *Geodesy and Cartography*. 2015;(1)1:6-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2015-905-11-6-15>
13. Wu, TJ, Luo JC, Dong W, Gao LJ, Hu XD, Wu ZF, Sun YW, Liu JS. Disaggregating County-Level Census Data for Population Mapping Using Residential Geo-Objects with Multi-source Geo-Spatial Data. In IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2020;(13):1189-1205. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/340043352> [Accessed 8 January 2024]. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2974896>
14. Wardrop NA, Jochem WC, Bird TJ, Chamberlain HR, Clarke D, Kerr D, Bengtsson L, Juran S, Seaman V, Tatem AJ. Spatially disaggregated population estimates in the absence of national population and housing census data. *PNAS*. 2018;115(14):3529-3537. Available from: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1715305115> [Accessed 8 January 2024]. <https://doi.org/10.1073/pnas.1715305115>
15. Liu XH, Keith C, Martin H. Population density and image texture: A comparison study. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2006;72(2):187-196. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.2.187>
16. Google Earth Pro. Available from: <https://earth.google.com/we>

b/@41.94779528,63.00121866,129.29685777a,1661375.82
836419d,35y,360h,0t,0r/data=OgMKATA [Accessed 26 February 2024].

17. OpenStreet Map. Available from: <https://www.openstreetmap.org/search?query=Uzbekistan#map=6/41.523/64.607> [Accessed 26 February 2024].
18. ArcGIS Online. Available from: <https://www.arcgis.com/index.html> [Accessed 26 February 2024].
19. Agency on Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan. Available from: <https://stat.uz/ru/> [Accessed 26 February 2024]. (In Russ.)
20. Demographic Yearbook. Statistical collection. Tashkent; 2020. 211 p. (In Uzb. and Russ.). (In Russ.).
21. Demographic Yearbook. Statistical collection. Tashkent; 2022. 215 p. (In Uzb. and Russ.). (In Russ.).
22. Agency on Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan. Regional Department of Statistics of Andijan region. Available from: <https://andstat.uz/uz/rasmiy-statistika/demography-2> [Accessed 26 February 2024]. (In Russ.).
23. Agency on Statistics under the President of the Republic of Uzbekistan. Regional Department of Statistics of Xorezm region. Available from: <https://www.xorazmstat.uz/uz/rasmiy-statistika/demography-2> [Accessed 26 February 2024]. (In Russ.).
24. The area of agricultural land in the countries of the world. Available from: <https://nonews.co/directory/lists/countries/agricultural-land> [Accessed 26 February 2024]. (In Russ.).

Информация об авторе

Лола Хаджи-Акбаровна Гулямова – кандидат географических наук, профессор Ташкентского государственного технического университета, Scopus ID: 55922340200, Researcher ID: ADX-0006-2022.

Information about the author

Lola X. Gulyamova – Cand. Sci. (Geogr.), Professor, Tashkent State Technical University, Scopus ID 55922340200, Researcher ID ADX-0006-2022.

Научная статья

УДК 551.3 (470.65)

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.6>

ОПАСНОСТЬ ОПОЛЗНЕВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МОЗДОКСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ – АЛАНИЯ

Виктор Владимирович Разумов^{1*},
Наталья Дмитриевна Богданова²,
Наталья Викторовна Разумова³,
Виктор Александрович Шальнев⁴

¹ Высочайший геофизический институт Росгидромета (д. 2, пр. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)

² Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве (д. 3, стр. 1, пер. Крапивинский, Москва, 127051, Российская Федерация)

³ Российские космические системы Роскосмоса (д. 53, ул. Авиамо-
торная, Москва, 111250, Российская Федерация)

⁴ Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина,
Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

¹ razumov_vv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8099-6976>

² bogdanova@igiis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0373>

³ razumova-nv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7494>

⁴ phisgeo@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3210-0262>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Объектом исследования является оползневая деятельность в Моздокском административном районе Республики Северная Осетия – Алания. В работе рассмотрены результаты систематизации и анализа различных источников, содержащих информацию об активности и опасности проявления оползневых процессов в этом районе в XXI веке. Охарактеризованы условия, причины, активность и опасность оползневых активизаций на территории района. Отмечается, что активность оползневых процессов на изучаемой территории, в основном, обусловлена природными факторами, однако, в последнее время возникновение новых оползневых форм и активизация старых, происходят чаще всего при техногенном воздействии. Оползневая деятельность на территории района наблюдается на уступе правобережной аллювиально-аккумулятивной террасы р. Терек, где расположена большая часть населенных пунктов района, а также северном склоне Терского хребта и в районе водораздельного гребня Сунженского хребта. Наиболее значимая активизация оползневых процессов (вызывающих деформацию жилых домов и проезжих частей улиц) наблюдалась в селах Малый Малгобек, Предгорное и Сухотское. С 2021 г., после рекон-

струкции автодороги «Зилга – Моздок», значимые оползневые деформации и разрушения дорожного полотна наблюдаются на участке дороги между селами Хурикау (Моздокский район) и Старый Батако (Правобережный район). В статье приводятся сведения об активности оползневой деятельности и масштабах произошедших деформаций и разрушений жилой и транспортной инфраструктуры на территории района. Анализ социально-экономических последствий, произошедших оползневых активизаций, позволяет говорить о довольно значительной степени их опасности для жизнедеятельности населения на территории Моздокского района.

Ключевые слова: оползни, оползневые процессы, оползневые деформации, активность, опасность

Для цитирования: Разумов В. В., Богданова Н. Д., Разумова Н. В., Шальнев В. А. Опасность оползневой деятельности в Моздокском районе Республики Северная Осетия – Алания // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 141-164. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.6>

Конфликт интересов: два автора статьи — доктор географических наук, профессор Разумов Виктор Владимирович и доктор географических наук, профессор Шальнев Виктор Александрович являются членами редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию 27.02.2024
одобрена после рецензирования 15.04.2024
принята к публикации 20.05.2024

1.6.21.

Geocology
Research article

The danger of landslide activity in the Mozdok region of Republic of North Ossetia-Alania

**Viktor V. Razumov^{1*}, Natalia D. Bogdanova²,
Natalia V. Razumova³, Viktor A. Shalnev⁴**

¹ High-Mountain Geophysical Institute (Roshydromet) (2, Lenin ave., Nalchik, 360030, Russian Federation)

² Institute of Geotechnics and Engineering Surveys in Construction (5, 1 St., Krapivenskiy, 127051, Russian Federation)

³ Russian Space Systems of Roscosmos (53, Aviamotornaya St., Moscow, 111250, Russian Federation)

⁴ North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

¹ razumov_vv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8099-6976>

² bogdanova@igiis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0373>

³ razumova-nv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3266-7494>

⁴ phisgeo@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3210-0262>

* Corresponding author

Abstract.

The object of the study is landslide activity in the Mozdok administrative region of the Republic of North Ossetia-Alania. The work examines the results of systematization and analysis of various sources containing information about the activity and danger of landslide processes in this area in the 21st century. The conditions, causes, activity and danger of landslide activations in the region are characterized. It is noted that the activity of landslide processes in the study area is mainly due to natural factors, however, recently the emergence of new landslide forms and the activation of old ones most often occur under technogenic influence. Landslide activity in the region is observed on the ledge of the right bank alluvial-accumulative terrace of the river. Terek, where most of the settlements of the region are located, as well as the northern slope of the Tersky ridge and in the area of the watershed ridge of the Sunzhensky ridge. The most significant activation of landslide processes (causing deformation of residential buildings and roadways of streets) was observed in the villages of Maly Malgobek, Predgornoye and Sukhotskoye. Since 2021, after the reconstruction of the Zilga – Mozdok highway, significant landslide deformations and destruction of the roadway have been observed on the section of the road between the villages of Khurikau (Mozdok district) and Old Batako (Right Bank district). The article provides information about the activity of landslide activity and the scale of deformations and destruction of residential and transport infrastructure that occurred in the area. Analysis of the socio-economic consequences of the landslide activations shows a significant degree of their danger to the life of the population in the Mozdok region.

Keywords:

landslides, landslide processes, landslide deformations, activity, danger

For citation:

Razumov VV, Bogdanova ND, Razumova NV, Shalnev VA. The danger of landslide activity in the Mozdok region of the Republic of North Ossetia-Alania. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):141-164. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.6>

Conflict of interest:

two authors of article — Viktor V. Razumov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, and Viktor A. Shalnev, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, are members of editorial board of journal “Science. Innovations. Technologies”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

The article was submitted 27.02.2024;
approved after reviewing 15.04.2024;
accepted for publication 20.05.2024.

Введение

Под оползнями, согласно СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003», понимается смещение горных пород со склонов, бортов карьеров, строительных выемок под действием веса грунта и объемных и поверхностных сил. Условия, причины образования и опасность проявления оползневых процессов общеизвестны и подробно описаны в научной литературе.

Оползневые процессы широко распространены в Республике Северная Осетия – Алания (РСО – Алания) и представляют значительную угрозу населенным пунктам, хозяйственным и природным объектам, расположенным на ее территории. Территория Моздокского района (рис. 1), расположенного в северной части республики, по обоим берегам р. Терек, также подвержена влиянию оползневой деятельности.

По зональному районированию территория района делится на две зоны – равнинную и предгорную. Северную часть района занимает притеречная равнина с высотами 120–150 м н.у.м. В южной части района расположен Терский хребет, высота которого в среднем достигает 400 метров. В пределы района попадает наибольшая часть Терского хребта и юго-западная часть Сунженского хребта (высота – до 800 м н.у.м), сложенными, в основном, песчано-глинистыми отложениями, перекрытыми лессовидными суглинками [1, 2]. Гидрографическая сеть на территории района в основном представлена р. Терек и его правым притоком – р. Курп, текущей вдоль западной границы района. Кроме того, на территории района имеется множество водоканалов.

Большая часть населенных пунктов Моздокского района расположена вдоль р. Терек, здесь же, на его левом берегу (высота – 131 м н.у.м), расположен административный центр района – г. Моздок. Связь сельских населенных пунктов с районным центром осуществляется автомобильными дорогами (а/д).

Целью настоящего исследования является оценка степени активности и опасности проявления оползневых процессов на территории Моздокского района РСО – Алания в XXI веке.

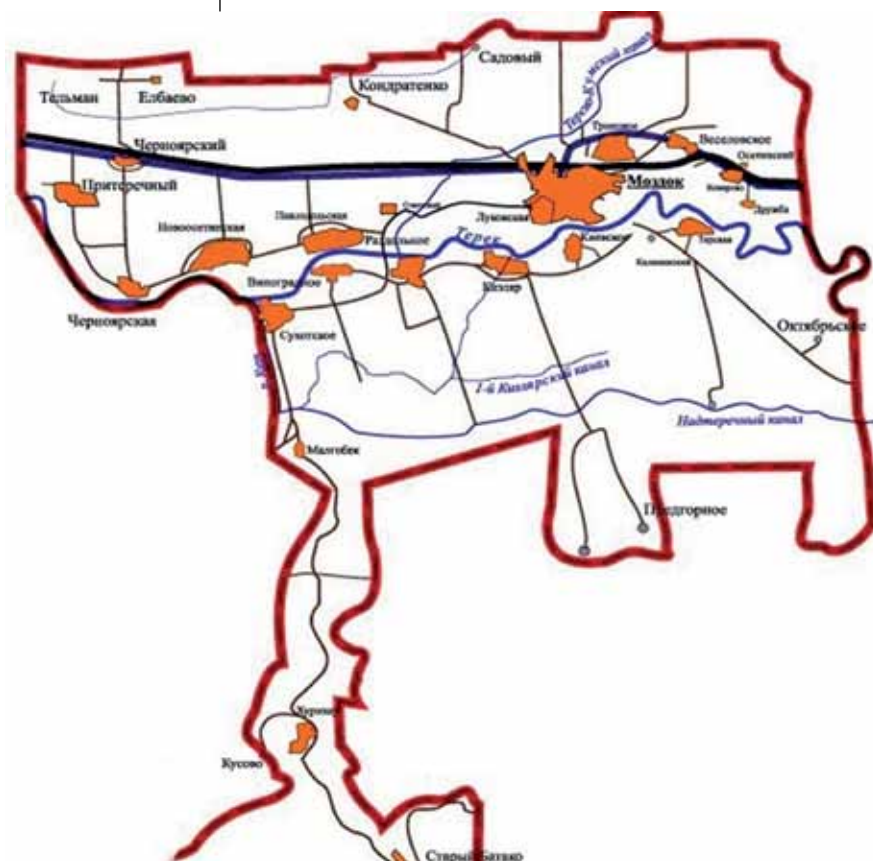


Рис. 1. Карта-схема Моздокского района Республики Северная Осетия – Алания.

Fig. 1. Scheme map of the Mozdok region of the Republic of North Ossetia – Alania.

Источник: <http://sfreelance.ru/imgportfoliopics.jpg> / Source: <http://sfreelance.ru/imgportfoliopics.jpg>

Одними из основных задач, решаемых в данной работе, являются:

- характеристика основных условий и причин активизации оползневых процессов на территории района;
- анализ произошедших на территории района наиболее значимых оползневых проявлений (с материальным ущербом) и оценка социально-экономических аспектов их последствий.

Материалы и методы исследований

Ключевым методом, применяемым в данной работе, стал анализ различных материалов, содержащих информацию об активности и опасности проявления оползневых процессов на территории Моздокского района РСО – Алания в XXI веке. В качестве основных использовались литературные источники [3–5] и опубликованные данные Центра государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) ФГБУ «Гидроспецгеология» [6–11]. В исследовании дополнительно были использованы следующие отчетные материалы (далее – Отчеты):

- отчет по «Ведению государственного мониторинга состояния недр территории Республики Северная Осетия – Алания» в 2005–2007 гг.». Книга 1 (ГУП РСО – А «Севосетингеоэкомониторинг», Владикавказ, 2007);
- отчет по объекту 60-4 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2005–2007 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2007);
- отчет о результатах работ по объекту 6-06/07 «Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Южного федерального округа в 2008–2010 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГУГП «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2011);
- геологический отчет по объекту «Государственный

мониторинг состояния недр территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов в 2011-2013 гг.». Книга 2 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2013);

- геологический отчет о результатах выполненных работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Северо-Кавказского ФО в 2014–2015 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2015).

Обобщение и систематизация собранного материала с единых методических позиций позволили достаточно достоверно оценить активность и опасность оползневой деятельности на территории Моздокского района РСО-Алания. Для указания местоположения, произошедших на дорогах оползневых проявлений, использовались значения километрового знака (пикета), обозначающего (согласно ГОСТ 32869-2014) нумерованную точку разметки расстояния на дороге (отрезок дороги между смежными пикетными знаками равен 100 м).

Необходимо отметить, что ведение государственного мониторинга состояния недр на территории РСО – Алания за 2002-2023 гг. осуществлял Территориальный центр государственного мониторинга геологической среды (ТЦ ГМГС) РСО – Алания в составе: ГУП РСО – А РЦ «Севосгеомониторинг» (до 2007 г.), ГУП РСО – А «Севосетингеозкомониторинг» (до 2012 г.) и АО «Севосетингеозкомониторинг» (с 2012 г.).

Результаты исследований и их обсуждение

В Моздокском районе оползневая деятельность, за изучаемый период времени, отмечалась на уступе правобережной аллювиально-аккумулятивной террасы р. Терек (Надтеречной террасы), на северном склоне Терского хребта и в районе водораздельного гребня Сунженского хребта. Чаще всего оползневые проявления фиксировались на уступе Надтеречной террасы (станция Терская, села Кизляр, Октябрьское, Раздольное, Сухотское) и на северном склоне Терского хребта (села Малый (Старый) Малгобек, Предгорное) [3,

6–12]. Наиболее значимая активизация оползневых процессов (вызывающих деформацию жилых домов и проезжих частей улиц) наблюдалась в селах Малый Малгобек, Предгорное, Сухотское [3, 12].

Активность оползневых процессов в районе, в основном, обусловлена природными факторами (обильные дожди, изменение уровня грунтовых вод, боковая эрозия рек, просадочность грунтов и др.) и интенсивной хозяйственной деятельностью (строительство и реконструкция дорог, последствия нефтепромысловых работ, орошение прилегающих территорий и др.), осуществляемой, зачастую, без должного учета инженерно-геологических условий. Оползневые деформации в населенных пунктах, расположенных на уступе правобережной аллювиально-аккумулятивной террасы р. Терек, в основном, связаны с замачиванием просадочных грунтов при интенсивном орошении сельскохозяйственных земель и с нарушением требований к строительству и эксплуатации жилых домов на площадях распространения этих грунтов. Современная естественная активизация оползневых процессов на Терском и Сунженском хребтах, вызывающая вялотекущие оползневые деформации связана, в основном, с развитием оползневых склонов, которое, благодаря уменьшению энергии рельефа способствует снижению активности оползневых проявлений [1, 6–11]. Возникновение новых оползневых форм и активизация старых, происходит, в основном, при техногенном (антропогенном) воздействии.

Анализ фондовых и литературных материалов [1, 3–11] позволил оценить условия образования, активность и опасность проявления оползневых процессов на территории района за изучаемый период.

На уступе Надтеречной террасы наиболее заметная оползневая активность наблюдалась в селах Сухотское, Кизляр и в станице Терская. Села Сухотское и Кизляр расположены на краю террасы, уступ которой имеет высоту до 40 м и крутизну до 50–80°. У большинства домов основанием являются мощные (до 70 м) лессовидные супеси и суглинки, обладающие просадочностью. Такие грунты при обводнении подвержены не только просадочным, но и суффозионным процессам, сильно снижающим их прочность, особенно в полосе террасы, примыкающей к уступу. В результате, в краевой

части террасы периодически развиваются оползни-обвалы объемом от десятков до первых сотен тыс. м³, угрожающие строениям, расположенным вблизи уступа. Активность и масштабы этих процессов на конкретных участках зависят от высоты и крутизны уступа, состава грунтов и их обводненности, техногенной нагрузки (в частности – от веса расположенных на них сооружений) и т.п.

Село Сухотское, расположенное ниже устья р. Курп, находится на древнем оползне. Основание уступа оползня размывается р. Терек. Обводнение грунтов ранее происходило в основном за счет подъема уровня грунтовых вод, связанного с орошением прилегающих территорий и, в первую очередь, на участках берега, где основание уступа подпирается и размывается р. Терек. В 1990-х гг. здесь наблюдалось развитие суффозионных оползней в правобережных уступах рек Терек и Курп (на северо-восточной и западной окраинах села), сложенных недоуплотненными глинистыми грунтами. В результате чего наблюдались оползневые подвижки, которые привели к деформациям жилых домов на северо-восточной окраине села и животноводческого комплекса – на западной. После этого оползневые процессы здесь стабилизировались и до 2011 г. они были практически не активны. В 2012 г. сильный ливень и размыв правого берега реки послужили одной из причин схода оползня-обвала (объем – до 120 тыс. м³), в результате чего была полностью перекрыта дорога к водозабору. Отседание достаточно крупных блоков и трещины откола отмечались в 50 м от домов в с. Сухотское, а край отседающего блока находился в 10 м от кладбища. В 2013 г. фиксировались признаки трещинных деформаций с отседанием крупных блоков-пластин (рис. 2), которые отмечались на протяжении 250 м, но свежих обрушений на оползне не было обнаружено. Расстояние от участка активизации до ближайших жилых домов составляло около 50 м.

В 2014 г. на восточной окраине села было отмечено постепенное смещение вниз блока объемом 600–700 м³. В этом же году на северо-восточной окраине села, где последний оползень-обвал наблюдался в 2012 году, было отмечено постепенное вялотекущее отседание пластины объемом 600–700 м³. В последующие годы в пределах этих оползневых массивов фиксировалась вялотекущая активность.



Рис. 2.

Трещинные оползневые деформации на уступе Надтеречной террасы в районе с. Сухотское (Моздокский район), 2013 г.

Fig. 2. Crack landslide deformations on the ledge of the Nadterechnaya terrace in the area of the village. Sukhotskoe (Mozdok district), 2013.

Источник:

фото ГУП РСО – А «Севосгеомониторинг» / Source: photo by SUE RSO-A "Sevosgeomonitoring".

В конце лета 2019 г. возобновилась активизация в пределах оползневой участка (длина – до 70 м, ширина – 7 м, мощность – 10–15 м), находящегося на северо-западной окраине с. Сухотское. Признаками активности явились: растрескивание крупных блоков, обрушение краевой части уступа, деформации (бугристость) поверхности. В зоне потенциального поражения находились два жилых дома и кладбище. В 2020–2023 гг. признаков явной оползневой активности в районе села не наблюдалось.

В с. Кизляр активизация оползневых процессов ранее наблюдалась в восточной и северной частях села. Характерной особенностью обоих оползневых участков является выклинивание грунтовых вод у подножья их уступов, что свидетельствует о значительном подъеме уровня грунтовых вод. При последней оползневой активизации на северной окраине села (август 2001 г.) деформации строений были отмечены в 50 м от уступа оползневой участка. В последние годы признаков оползневых деформаций на участке не наблюдается. Оползневой участок, находящийся на восточной окраине села (переулки Водоподъемный и Восточный), также в настоящее время находится в стабильном состоянии, хотя ранее здесь из-за оползневой угрозы уже было отселено 12 домов. Существующие в настоящее время деформации строений в этом селе связаны с просадочными процессами, вызывающими неравномерную осадку строений, большинство из которых возведено с нарушением требований к строительству на просадочных грунтах и правил водопользования на таких грунтах.

Оползневые деформации в районе станицы Терской, расположенной на уступе террасы р. Терек, создают угрозу домам и объектам экономики. В 2010 г. здесь была разрушена паводками временная берегозащитная дамба на участке протяженностью около 200 м, в результате чего произошло оползневое обрушение уступа террасы. За 2011 г. береговая полоса в результате активизации обвально-оползневых процессов отступила почти на 20 м, вплотную приблизившись к домам. В последующие годы значимой оползневой активности в районе станицы не отмечалось.

В районе Терского хребта наиболее значимая активизация оползневых процессов (вызывающих деформацию жилых домов

и проезжих частей улиц) наблюдалась в селах Малый Малгобек и Предгорное, расположенных в двух километрах друг от друга [12].

Село Малый Малгобек образовалось в 1926–1928 годах, когда в этом районе были обнаружены залежи нефти. Территория села находится на самой вершине Терского хребта и занимает верхнюю часть крупного древнего оползня (площадь – около 0,4 км², мощность – 12–15 м, объем – около 5 млн м³), головная стенка которого находится в 50–70 м выше южного края села и в 100 м к северу от водораздела Терского хребта. Оползень сильно обводнен, что, по-видимому, является одной из основных причин вялотекущего, но практически непрекращающегося оползневого процесса, который происходит в форме вязко-пластического течения глинистых грунтов, в основном без разрыва их сплошности. Высокая обводненность склона, возможно, связана с последствиями нефтепромысловых работ, при проведении которых в многочисленные скважины были закачаны большие объемы воды. Следует отметить, что обводнение скважин характерно для большинства нефтяных месторождений Северного Кавказа [13]. В 2003 году специальная республиканская комиссия признала территорию, где расположено село, оползневой зоной, что предполагало переселение его жителей в другое место. К этому времени пригодных для проживания домов в селе осталось немного. Проведенное (29 июля 2004 г.) республиканской комиссией обследование оставшихся 26 жилых построек, признало 15 домовладений аварийными, а 9 – разрушенными. В 2013 г. в селе опять было зафиксировано растрескивание стен оставшихся домов, оседание и разрушение некоторых частей строений, несмотря на то, что на поверхности оползневого склона трещин разрыва не наблюдалось. В 2014–2015 гг. отмечалась вялотекущая активность в пределах оползневого массива, а с 2016 г. фиксируется ее затухание. В настоящее время, в оставшихся 10 саманных домах села, практически непригодных для жилья, еще живут люди.

Село Предгорное, также как и с. Малый Малгобек, находится в зоне разгрузки древнего оползня-потока (площадь – около 1,5 км², объем – до 15–20 млн м³). Основная (северная) часть села расположена в широкой пологой ложбине, не подверженной воздействию оползневых процессов. На южной окраине, более поздняя застрой-

ка села попадает на нижнюю часть оползневого склона крутизной 10–20°, сложенного делювиальными суглинками. Деформируемый склон сильно обводнен, причем есть основания считать, что здесь значительную роль играет техногенное обводнение, так как это район старых нефтепромыслов, где в эксплуатационные скважины закачивались большие объемы воды. Значительные оползневые деформации домов и проезжих частей улиц здесь наблюдались в 1953, 1973, 1987, 1996–1997 гг. С начала XXI века активизация оползневых процессов (вязкопластического типа) в основном носит вялотекущий характер. В 2013 г. в домах фиксировалось растрескивание стен, оседание и разрушение некоторых частей строений, однако на поверхности оползневого склона трещин разрыва не было выявлено. В ноябре 2014 г., в ходе проведения полевого обследования оползневого склона специалистами АО «Севосетингеоэкомониторинг», еще отмечалась некоторая вялотекущая активность в пределах оползневого массива, в зоне поражения находилось 74 домовладения, из которых 13 уже полностью были разрушены и снесены. В остальных домах наблюдались типичные оползневые деформации: растрескивание фундаментов, стен и перекрытий, отклонение стен и опор от вертикали, перекосы дверных и оконных проемов и др. Кроме того, было отмечено искривление трубопроводов, смещение и наклон опор линий электропередачи. В последующие годы оползневая активность на территории села стала практически незаметна. В настоящее время в с Предгорное, также как и в с. Малый Малгобек, домов, пригодных для проживания практически не осталось.

В зоне Сунженского хребта (в пределах Моздокского района), в глинистых отложениях нижнего сармата, также развиты оползневые формы различной площади. В течении долгого времени, здесь, на некоторых локальных участках, после интенсивных осадков изредка наблюдались признаки слабых, вялотекущих оползневых деформаций. Достаточно резкая активизация оползневых процессов (с 2021 г.) была связана со строительством (реконструкцией) в 2019–2020 гг. в районе водораздельного гребня Сунженского хребта одного из участков а/д «Зилга – Моздок» (пикеты 22,0–25,8 км) [12]. На этом отрезке дороги, между селами Хурикау (Моздокский район) и Старый Батако (Правобережный район), находятся Батакоюртские

оползни, которые пересекаются этой автодорогой. До начала ее реконструкции эти оползни не представляли особой опасности. Однако, после ее проведения большинство этих оползневых массивов активизировалось и уже через три месяца после ввода дороги в эксплуатацию они стали представлять реальную опасность для движения автотранспорта. Триггером такой активизации, на фоне изменяющихся гидрометеорологических условий (снеготаяние, сильные осадки, нарушение естественного стока грунтовых вод и др.) и проведения строительных дорожных работ (подрезка склонов, устройство насыпи и дорожной одежды и др.), явился не достаточный учет сложных инженерно-технических условий строительства на этом участке (просадочные грунты, сильная обводненность склонов, наличие готовых к активизации крупных оползневых форм и др.). Приведем краткую характеристику оползневых массивов, которые активизировались после ввода дороги в эксплуатацию.

Оползень «Батакоюртский III» (рис. 3) развит в верховом откосе дороги (пикет 22,3 км), которая частично защищена подпорной бетонной стенкой, но при увлажнении грунтов она может быть перекрыта либо выдавлена оползневыми массами. Базисом оползания является ложбина ниже дороги (высота – 810 м н.у.м). Оползневой процесс развивается в породах неогена, представленных песчаниками, глинами, мергелями и др., захватывая старые оползневые отложения. Оползень «Батакоюртский IV» развивается в низовом откосе дороги (пикет 22,8 км) в рыхлообломочных грунтах (рис. 4). В процесс вовлечены современные оползневые отложения, а также коренные глины и известковистые песчаники неогена. Все породы сильно обводнены и легко подвергаются оползневым деформациям. Базисом оползания является балка ниже дороги (высота – 815 м н.у.м).

Оползень «Батакоюртский V» (рис. 5) развивается в низовом откосе дороги (пикет 23,1 км). Базисом оползания является площадка выполаживания ниже дороги (высота – 815 м н.у.м). В оползневой процесс вовлечены современные оползневые отложения, а также коренные глины и известковистые песчаники неогена. Оползень «Батакоюртский VI» также развит в низовом откосе дороги (пикет 24,2 км). Головная стенка, высотой до 3 м проходит по внешнему краю дорожной полки. Оползневым процессом охвачены современ-



Рис. 3.

Оползень «Батакоюртский III», 2023 г.

Fig. 3. "Batakoyurt III" landslide, 2023.

Источник:

фото АО «Севосетингеоэкомониторинг» / Source: photo by JSC
"Sevosetingeoeekomonitoring".



Рис. 4.

Оползень «Батакоюртский IV», 2023 г.

Fig. 4. "Batakoyurt IV" landslide, 2023.

Источник:

фото АО «Севосетингеоэкомониторинг» / Source: photo by JSC
"Sevosetingeoeekomonitoring".

ные оползневые отложения и породы среднего миоцена, представленные суглинками и глинами с прослоями слаболитифицированных мергелей, песчаников и конгломератов. Оползень «Батакоюртский VII» (рис. 6) расположен в низовом откосе автодороги (пикет 25,2 км). Базисом оползания является участок выполаживания склона ниже дороги (высота – 695 м н.у.м). В оползневой процесс вовлечены современные оползневые отложения, представленные суглинками со щебнем и коренные слаболитифицированные породы (глины, мергели, песчаники, конгломераты).

В 2021 г. оползневые проявления были зафиксированы на трех участках а/д «Зилга – Моздок» (пикеты 22,3; 22,8 и 23,1 км). Угроза перекрытия существовала в 7,5 км к югу от с. Хурикау, на пересечении дорогой (пикет 22,3 км) оползня «Батакоюртский III» (площадь активной части – 120,0 тыс. м², мощность до 10 м), где наблюдалась отсадка крупных блоков в верховом откосе, обрушение на головном уступе (высотой 3-4 м), разжижение грунтов за счет сильного обводнения грунтовыми водами. Ниже дороги проявление имело форму оползня потока. Оползневая активизация на втором участке (в 7 км к югу от с. Хурикау), в месте пересечения автодорогой оползня «Батакоюртский IV» (площадь активной части – 30,0 тыс. м², мощность – до 10 м) привела к деформации обочины дороги и водоотводного бетонного лотка по правому флангу оползневого массива, была угроза размыва дорожной полки. На теле оползня шла отсадка крупных блоков, образование ступеней; на фронтальной части оползня отмечено заболачивание, воронки провала, «пьяный лес». Угроза деформации дорожного полотна существовала и на третьем участке автодороги (в 6,7 км к югу от с. Хурикау), в месте ее пересечения (пикет 23,1 км) оползня «Батакоюртский V» (площадь активной части – 12,0 тыс. м², мощность – до 10 м), где на фронтальной части оползневого тела было отмечено заболачивание, бугры выпирания и воронки провала, а также «пьяный» лес с вывалом крупных деревьев.

В 2022 г. оползневые проявления наблюдались уже на пяти участках а/д «Зилга – Моздок» (пикеты 22,3; 22,8; 23,1, 24,2 и 25,2 км). На пикете 22,3 км отмечалась активность оползня «Батакоюртский III» в верховом и низовом откосах дороги (площадь активизации –



Рис. 5.

Оползень «Батакоюртский V», 2023 г.

Fig. 5. "Batakoyurt V" landslide, 2023.

Источник:

фото АО «Севосетингеоэкомониторинг» / Source: photo by JSC
"Sevosetingeoeekomonitoring"



Рис. 6.

Оползень «Батакоюртский VII», 2023 г.

Fig. 6. "Batakoyurt VII" landslide, 2023.

Источник:

фото АО «Севосетингеоэкомониторинг» / Source: photo by JSC
"Sevosetingeoeekomonitoring"

12 тыс. м², мощность – около 10 м). При этом наблюдалось растрескивание склона, свежие деформации, сильное обводнение (разжижение) грунтов и их сползание (стекание) на дорожную полку. При дальнейшем развитии процесса существовала угроза деформации полотна дороги. На пикете 22,8 км, в низовом откосе дороги, опять произошла активизация (площадь – 33,0 тыс. м²) оползня «Батакоюртский IV», в результате чего был разрушен водосбросный лоток и деформировано 15 м дорожной полки. Оползневой склон был сильно обводнен, отмечалась разгрузка грунтовых вод в районе дороги, разжиженный грунт отседал ступенями ниже дороги, захватывая насыпной контрбанкет. Угроза обрушения дорожного полотна также существовала в месте пересечения дорогой (пикет 23,1 км) оползня «Батакоюртский V», активизация которого (площадь активной части – 22,5 тыс. м²) произошла в низовом откосе. Отмечено ступенчатое отседание грунтов по трещинам, высота головной стенки достигала 6–10 м. Наблюдалось заболачивание грунтов, их разжижение, вывалы деревьев и приращение площади на левом фланге оползня. На четвертом участке, в низовом откосе дороги (пикет 24,2 км), произошла активизация (площадь – 2,5 тыс. м²) оползня «Батакоюртский VI», в результате чего был деформирован край асфальтового покрытия на интервале 20 м. Головная стенка оползня, высотой до 3 м проходила по внешнему краю дорожной полки, наблюдалось растрескивание и ступенчатое отседание блоков. Активизация (площадь активной части – около 3,0 тыс. м², мощность до 5 м) оползня «Батакоюртский VII», в месте его пересечения автодорогой (пикет 25,2 км), привела к деформированию 60 м ее полотна. При этом наблюдалось растрескивание склона с формированием ступеней отседания. Головная стенка срыва захватила нижнюю часть дорожной полки и достигла высоты 3 м, склон ниже ее был обводнен.

В мае 2023 г. возобновилась оползневая активизация на четырех участках а/д «Зилга – Моздок» (пикеты 22,3; 22,8; 23,1 и 25,2 км), а на пятом участке (пикет 25,4 км) образовалась новая активная оползневая форма. Угроза перекрытия дороги (пикет 22,3 км) оползневыми массами (площадь – 12,0 тыс. м², мощность – около 10 м) образовалась в результате активизации оползня «Батакоюртский III», на котором наблюдалось растрескивание склона, свежие

деформации, сильное обводнение (разжижение) грунтов и их сползание (стекание) в виде оползня-потока на дорожную полку. При активизации оползня «Батакоюртский IV» был разрушен водосбросный лоток и деформировано 30 м дорожной полки (пикет 22,8 км). Активность оползня (площадь активной части – 33,0 тыс. м²) проявилась в появлении бугров выпирания, вывале деревьев, сильной обводненности склона (отмечено заболачивание), его отседании ступенями ниже дороги с захватыванием насыпного контрбанкета. Также, произошла деформация 20 м дороги (пикет 23,1 км) в результате активизации (площадь – 22,5 тыс. м²) оползня «Батакоюртский V». Было отмечено ступенчатое отседание грунтов по трещинам, высота головной стенки увеличилась до 6–10 м. Наблюдалось заболачивание грунтов, их разжижение, вывалы деревьев и приращение площади оползня на его левом фланге. Активизация (площадь – около 3,0 тыс. м², мощность – до 5 м) оползня «Батакоюртский VII» привела к деформации 10 м дороги (пикет 25,2 км). На оползневом склоне наблюдалось формирование ступеней, обводнение и растрескивание. Образование нового оползня (площадь – 15,0 тыс. м²) в низовом откосе дороги (пикет 25,4 км) привело к возникновению угрозы деформации дорожного полотна. Поверхность оползневого склона была деформирована (бугры, впадины), грунты разжижены, отмечалась разгрузка грунтовых вод. Базисом развития оползня являлся тальвег балки ниже дороги (высота – 690 м н.у.м.). В процесс были вовлечены старые оползневые отложения (глинистые грунты с щебнем и обломками осадочных пород).

Заключение

Проведенные систематизация и анализ различных источников, содержащих информацию об оползневой деятельности в Моздокском районе, позволили охарактеризовать условия, причины, активность и опасность оползневых активизаций, произошедших на его территории в XXI веке. Определена роль природных условий и техногенных факторов в развитии и активизации оползневых процессов. Отмечается, что их активность в основном обусловлена природными факторами, однако, в последнее время возникновение новых оползневых форм и активизация старых, происходит

чаще всего при техногенном воздействии. Оползневая деятельность на территории района, в основном, наблюдается на уступе правобережной аллювиально-аккумулятивной террасы р. Терек, где расположена большая часть населенных пунктов района, а также северном склоне Терского хребта и в районе водораздельного гребня Сунженского хребта. Наиболее значимая активизация оползневых процессов (вызывающих деформацию жилых домов и проезжих частей улиц) наблюдалась в селах Малый Малгобек, Предгорное и Сухотское. С 2021 г., после реконструкции автодороги «Зилга – Моздок», значимые оползневые деформации и разрушения дорожного полотна наблюдаются на участке дороги между селами Хурикау (Моздокский район) и Старый Батако (Правобережный район). В статье приводятся сведения об активности оползневой деятельности и масштабах произошедших деформаций и разрушений жилой и транспортной инфраструктуры на территории района. Анализ социально-экономических последствий, произошедших оползневых активизаций, позволяет говорить о довольно значительной степени их опасности для жизнедеятельности населения на территории Моздокского района.

Список источников

1. Гакаев Р. А. Механизм и динамика проявления оползней на оползнеопасных склонах Терско-Сунженской возвышенности // Проблемы региональной экологии. 2013. № 6. С. 75–78.
2. Схема территориального планирования Моздокского муниципального района Республики Северная Осетия – Алания (внесение изменений). Моздок: ГЕОПРО. 2023. 152 с.
3. Государственные доклады о состоянии и об охране окружающей среды и природных ресурсов Республики Северная Осетия – Алания в 2002-2017 гг. Владикавказ: Министерство природных ресурсов и экологии Республики Северная Осетия – Алания. 2003–2018.
4. Разумов В. В., Аджиев А. Х., Разумова Н. В., Кондратьева Н. В., Богданова Н. Д. База данных оползневых активизаций, произошедших на территории Республики Северная Осетия – Алания за 2005–2020 гг. Заявка № 2022621563 от 29.06.2022 г. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622742 от 03.11.2022 г.

5. Разумов В. В., Богданова Н. Д., Висхаджиева К. С., Разумова Н. В. Опасность и активность проявления оползневых процессов на территории Республики Северная Осетия – Алания // Геориск. Т. XIV. 2020. № 1. С. 16–34.
6. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004–2022 гг. Вып. 28–46. М.: Геоинформмарк. 2005–2023.
7. Информационные бюллетени о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2015–2022 гг. 2016–2023. Вып. 12–19. Ессентуки: Гидроспецгеология.
8. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации (по кварталам) за 2007–2023 гг. М.: Гидроспецгеология, 2007–2023.
9. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского федерального округа (по кварталам) за 2013–2023 гг. Ессентуки: Гидроспецгеология. 2013–2023.
10. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Южного федерального округа (по кварталам) за 2006–2010 гг. Ессентуки: Гидроспецгеология. 2006–2010.
11. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов (по кварталам) за 2011–2012 гг. Ессентуки: Гидроспецгеология. 2011–2012.
12. Хацаева Ф. М., Томаев В. А. Оползневая опасность бассейнов горных рек Республики Северная Осетия – Алания // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1 (часть 1). С. 1821–1829.
13. Гасумов Р. А., Гасумов Э. Р. Геологические факторы, влияющие на обводнение нефтяных скважин малых месторождений // Наука. Инновации. Технологии. 2019. № 4. С. 7–18.

References

1. Gakaev RA. Mechanism and dynamics of landslides on landslide-prone slopes of the Terek-Sunzhenskaya Upland. *Regional environmental issues*. 2013;6:75–78. (In Russ.).
2. Spatial planning scheme for the Mozdok municipal district of

the Republic of North Ossetia – Alania (amendments). Mozdok: GEOPRO LLC. 2023. 152 p. (In Russ.).

3. State reports on the state and protection of the environment and natural resources of the Republic of North Ossetia-Alania in 2002–2017. Vladikavkaz: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of North Ossetia-Alania. 2003–2018. (In Russ.).
4. Razumov VV, Adzhiev AKh, Razumova NV, Kondratyeva NV, Bogdanova ND. Database of landslide activations that occurred on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania for 2005–2020. Application No. 2022621563 dated June 29, 2022. Certificate of state registration of the database No. 2022622742 dated November 3, 2022. (In Russ.).
5. Razumov VV, Bogdanova ND, Viskhadzhieva KS, Razumova NV. Danger and activity of landslide processes on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania. *GeoRisk World*. Volume XIV. 2020;1:16–34. (In Russ.).
6. Information bulletins on the state of subsoil on the territory of the Russian Federation in 2004–2022. Vol. 28–46. Moscow: Geoinformmark LLC. 2005–2023. (In Russ.).
7. Information bulletins on the state of the subsoil of the territory of the North Caucasus Federal District of the Russian Federation for 2015–2022. 2016–2023. Vol. 12–19. Essentuki: SRC GMSN Federal State Budgetary Institution «Gidrospeitsgeologiya». (In Russ.).
8. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the Russian Federation (by quarter) for 2007–2023. Moscow: Center GMSN FSBI «Gidrospeitsgeologiya». 2007–2023. (In Russ.).
9. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes in the territory of the North Caucasus Federal District (by quarter) for 2013–2023. Essentuki: SRC GMSN Federal State Budgetary Institution «Gidrospeitsgeologiya». 2013–2023. (In Russ.).
10. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the Southern Federal District (by quarter) for 2006–2010. Essentuki: SRC GMSN Federal State Budgetary Institution «Gidrospeitsgeologiya». 2006–2010. (In Russ.).
11. Information reports on the manifestations of exogenous geological processes in the territory of the Southern and North Caucasus Federal Districts (by quarter) for 2011–2012. Es-

- sentuki: SRC GMSN Federal State Budgetary Institution «Gidropetsgeologiya». 2011–2012. (In Russ.).
12. Khatsaeva FM, Tomaev VA. Landslide hazard in mountain river basins of the Republic of North Ossetia-Alania. *Modern problems of science and education*. 2015;1:1821–1829. (In Russ.).
 13. Gasumov RA, Gasumov ER. Geological factors influencing water flow in oil wells of small fields. *Science. Innovations. Technologies*. 2019;4:7–18. (In Russ.).

Информация об авторах

Виктор Владимирович Разумов – доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела стихийных явлений Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57191515724.

Наталья Дмитриевна Богданова – инженер Института геотехники и инженерных изысканий в строительстве, Scopus ID: 57216611239.

Наталья Викторовна Разумова – кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Российских космических систем, Scopus ID: 57192099770.

Виктор Александрович Шальнев – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и кадастра Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57196120913.

Вклад авторов

Виктор Владимирович Разумов. Определение идеи статьи и логики исследования. Сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Наталья Дмитриевна Богданова. Сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка текста и оформление статьи.

Наталья Викторовна Разумова. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта.

Виктор Александрович Шальнев. Сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи.

Information about the authors

- Viktor V. Razumov** – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Leading Researcher at the Department of Natural Phenomena of the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57191515724.
- Natalia D. Bogdanova** – Engineer of the Institute of Geotechnics and Engineering Surveys in Construction, Scopus ID: 57216611239.
- Natalia V. Razumova** – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Leading Researcher of Russian Space Systems, Scopus ID: 57192099770.
- Viktor A. Shalnev** – Dr. Sci. (Geogr.), Professor of the Department of Physical Geography and Cadastre, North-Caucasus Federal University. Scopus ID: 57196120913.

Contribution of the authors

- Viktor V. Razumov.** Definition of the idea of the article and the logic of the study. Collection, interpretation and analysis of the received data. The approval of the final version is the acceptance of responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.
- Natalia D. Bogdanova.** Collection, interpretation and analysis of the received data. Preparation of the text and design of the article.
- Natalia V. Razumova.** Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version.
- Viktor A. Shalnev.** Collection, interpretation and analysis of the received data. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
(технические науки)

Научная статья
УДК 622.276.4
<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.7>

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГЛУШЕНИЯ СКВАЖИН НА ИСТОЩЕННЫХ
ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
С СВЕРХ АНОМАЛЬНО НИЗКИМИ
ПЛАСТОВЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ**

**Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов^{1*},
Эльдар Рамизович Гасумов²**

- ¹ Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)
² Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Азербайджанский технический университет (д. 20, пр. Азадлыг, Баку, Азербайджанская Республика)
¹ R.Gasumov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>
² e.gasumov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2704-0523>
* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Исследование данной проблемы приводилось на примере газоконденсатных месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки, где эксплуатационные скважины имеют сверх аномально низкие пластовые давления (АНПД). И их глушение для проведения ремонтных работ является серьёзной проблемой, требующей поиска новых решений. Работа обусловлена необходимостью создания способа управления гидродинамическими процессами в предварительно заблокированной призабойной зоне пласта (ПЗП) для проведения ремонтных работ в скважинах, предотвращающих разрушение пласта-коллектора и обеспечивающих сохранение его фитльтрационно-емкостных свойств. Рассмотрены возможности комплексного подхода при глушении скважин в условиях сверх АНПД, предусматривающие управление гидродинамическими процессами в системе «скважина – пласт», предварительно заблокированной ПЗП специальными технологическими жидкостями. Установлено, что применение блокирующих жидкостей (с наполнителем) способствует выравниванию профиля приёмистости и образованию изолирующего экрана в ПЗП, создавая необходимые условия для глушения скважин с целью проведения в них ремонтных работ. Для управления гидродинамическими процессами предложена математическая модель процесса блокирования ПЗП, имеющая трёхэтапную схему, обеспечивающую выравнивание профиля приёмистости в условиях сверх АНПД. Исследованы возможно-

сти использования гелеобразующих блокирующих жидкостей с наполнителем для создания временного экрана, удерживающего проникновение жидкости глушения в высокопроницаемые пласты с АНПД. По итогам проведённого исследования можно сделать вывод о том, что управление гидродинамическими процессами в ПЗП при АНПД создаёт необходимое условие для эффективного блокирования продуктивного горизонта в газовых и газоконденсатных скважинах, и за счёт последовательной обработки пласта специальной жидкостью для выравнивания профиля приёмистости и гелеобразующим блокирующим составом позволяет глушить скважину и предотвращает проникновение в глубины пласта рабочей жидкости при проведении работ.

Ключевые слова: месторождение, скважина, аномально-низкое пластовое давление, жидкость, блокирования, глушения, пласт

Для цитирования: Гасумов Р. А., Гасумов Э. Р. Повышение эффективности глушения скважин на истощенных газоконденсатных месторождениях с сверх аномально низкими пластовыми давлениями // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 165-186. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.7>

Конфликт интересов: один из авторов статьи — доктор технических наук, профессор Гасумов Рамиз Алиджавад-оглы является членом редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию 02.04.2024;
одобрена после рецензирования 06.05.2024;
принята к публикации 20.05.2024.

2.8.4. **Development and Operation of Oil and Gas Fields
(Technical Sciences)**
Research article

**Increasing the efficiency of well killing in depleted
gas condensate fields with extremely low reservoir
pressures**

Ramiz A. Gasumov^{1*}, Eldar R. Gasumov²

¹ North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

² Azerbaijan State University of Oil and Industry, Azerbaijan Technical University (20, Azadlig Ave., Baku, Azerbaijan Republic)

¹ R.Gasumov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

² e.gasumov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2704-0523>

* Corresponding author

Abstract. The problem is studied by the example of gas condensate fields at the

final stage of development, where production wells have abnormally low reservoir pressures and their killing for repair work is a serious challenge requiring a search for new solutions. The work is motivated by the need to create a method for controlling hydrodynamic processes in a pre-blocked bottom-hole zone of the formation, for carrying out repair work in wells, preventing destruction of the reservoir formation and ensuring the preservation of its fluid-capacitance properties. The possibilities of an integrated approach to killing wells under conditions of extremely low formation pressures are considered, which includes controlling hydrodynamic processes in the "well-reservoir" system, previously blocked in the near-wellbore zone by special process fluids. It has been specified that the use of blocking fluids (with filler) helps to level the injectivity profile and form an insulating screen in the bottomhole zone of the formation, creating the necessary conditions for killing wells in order to carry out repair work in them. To control hydrodynamic processes, a mathematical model of the blocking process in the near-wellbore formation zone is proposed. It has a three-stage scheme that ensures equalization of the injectivity profile under conditions of extremely low formation pressures. The possibilities of using gel-forming blocking fluids with filler to create a temporary screen that prevents the penetration of killing fluid into highly permeable formations from abnormally low formation pressures have been explored. Based on the results of the study, we can conclude that the control of hydrodynamic processes in the near-wellbore zone of the formation at abnormally low formation pressures creates the necessary condition for effective blocking of the productive horizon in gas and gas-condensate wells, and due to the sequential treatment of the formation with a special liquid to level the injectivity profile and gel-forming blocking composition, allows one to kill the well and prevents the working fluid from penetrating into the depths of the formation during work.

Keywords: field, well, abnormally low reservoir pressure, liquid, blocking, killing, formation

For citation: Gasumov RA, Gasumov ER. Increasing the efficiency of well killing in depleted gas condensate fields with extremely low reservoir pressures. *Science. Innovations. Technologies*. 2024;(2):165-186. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.7>

Conflict of interest: one of the authors of article — Ramiz A. Gasumov, Dr. Sci. (Tech.), Professor, is a member of editorial board of journal "Science. Innovations. Technologies". The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

The article was submitted 02.04.2024;
approved after reviewing 06.05.2024;
accepted for publication 20.05.2024.

Введение

Газоконденсатные месторождения (ГКМ) на завершающей стадии разработки характеризуются сверх аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД), падением дебита скважин, изменением состояния пласта-коллектора и их разрушением, что провоцирует серьёзные осложнения и сокращение сроков её эксплуатации. Проведение капитального ремонта в рамках геолого-технологических мероприятий (ГТМ) является необходимым для поддержания действующего фонда скважин на ГКМ. При проведении ремонтных работ в скважинах их глушение относится к важнейшему этапу технологического процесса.

Для повышения эффективности глушения газовых скважин в условиях сверх АНПД требуется предварительное блокирование призабойной зоны пласта с применением специальных технологических жидкостей (ТЖ) с низкой плотностью и определёнными реологическими свойствами. Однако выбор таких ТЖ с необходимыми параметрами, отвечающими этим требованиям, является сложной задачей, так как не представляется возможным иметь жидкости сверх низкой плотности ($< 400 \text{ кг/м}^3$) для работы в скважинных условиях. В связи с этим возникает необходимость поиска более инновационных подходов – комплексного решения, где определённая плотность ТЖ позволяет создать достаточное противодействие на пласт и одновременно предотвратить проникновение рабочей жидкости в глубь продуктивного горизонта, изолируя продуктивный пласт от основного ствола скважины. Проведённые исследования показали, что одним из таких путей является управление гидродинамическими процессами в системе «скважина – пласт», предварительно заблокированной призабойной зоны пласта специальными жидкостями.

Управление гидродинамическими процессами в системе «скважина – пласт» предусматривает предварительное блокирование призабойной зоны пласта (ПЗП), выбор оптимальных реологических свойств блокирующей жидкости (БЖ) и жидкости глушения (ЖГ), регулирование параметров технологического режима их закачки (давление, расход, продолжительность) в лифтовую колонну (ЛК) скважин [1–3].

Блокирование ПЗП предусматривает закачку в интервал высокопроницаемого пласта специальных блокирующих жидкостей для создания временного экрана, удерживающего проникновение ЖГ в глубь продуктивного горизонта, что в основном состоит из нескольких основных этапов, позволяющих достичь поставленной цели (рис. 1).

Многолетние проведённые нами исследования и результаты промысловых испытаний показали, что при выборе технологических жидкостей (ТЖ) для глушения скважин в условиях сверх АНПД более предпочтительным является пенные системы (ПС) и гелеобразующие жидкости (ГОЖ) [1, 2, 4].

Применение пенных систем (трёхфазных пен) с наполнителем в качестве ТЖ (ЖГ и БЖ) в условиях сверх АНПД способствует выравниванию профиля приемистости и образованию изолирующего экрана в ПЗП (системе «скважина-пласт»), создавая необходимые условия для глушения скважин, с целью проведения в них ремонтных работ [5–7]. Для управления гидродинамическими процессами в системе «скважина – пласт» (УГДП) необходимо создание математической модели процесса блокирования ПЗП, имеющей трёхэтап-

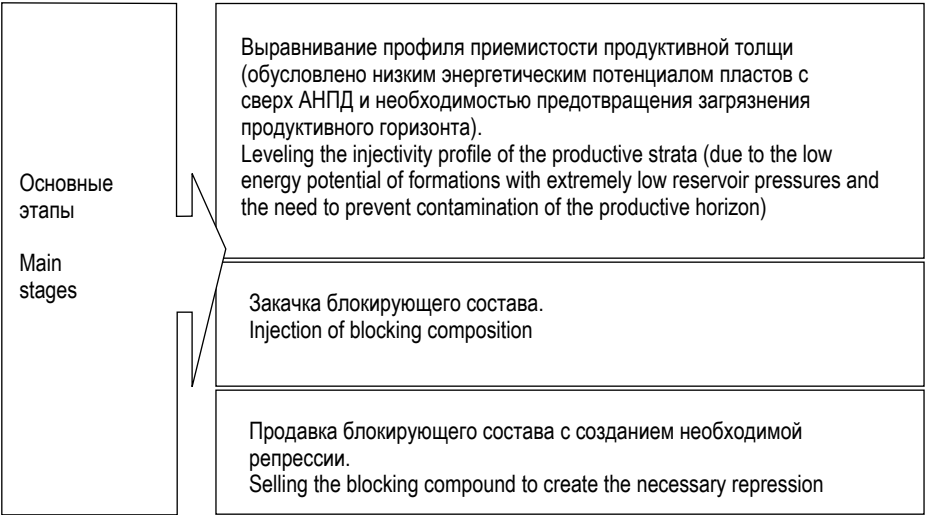


Рис. 1. Основные этапы блокирования ПЗП в условиях сверх АНПД.

Fig. 1. The main stages of blocking the near-wellbore formation zone under conditions of extremely low formation pressures.

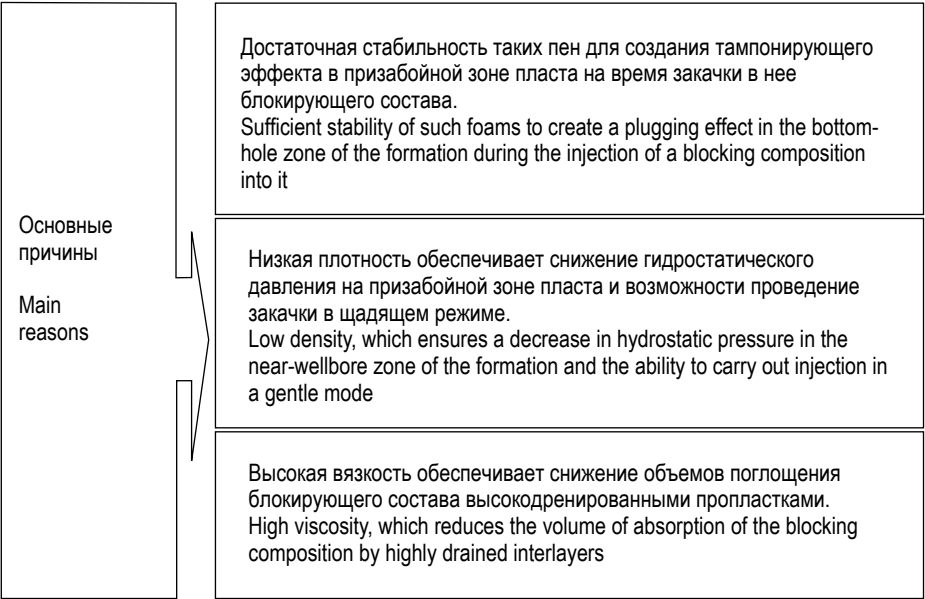


Рис. 2. Основные причины применения пенных систем в качестве жидкости для выравнивания профиля приёмистости в условиях сверх АНПД.

Fig. 2. The main reasons for using foam systems as a fluid to level out the injectivity profile under conditions of abnormally low reservoir pressures.

ную схему, обеспечивающую выравнивание профиля приёмистости в условиях сверх АНПД (рис. 2).

Пенные системы, как известно, обладают значительной сжимаемостью, что накладывает определённые ограничение на их использование на всём протяжении проведения ремонтных работ. Поэтому пена осуществляет функцию управления гидродинамическим воздействием на ПЗП на начальном этапе глушения скважины, демпфируя репрессии, возникающие в результате закачки БЖ, предотвращая его попадание в продуктивный горизонт в жидком состоянии. Дальнейшее проведение работ связано с более интенсивным репресссионным воздействием на пласт, что требует более высоких прочностных параметров от тампонирующей структуры, предотвращающей поступление ТЖ в пласт [8–11]. Управление давлениями на забое скважины осуществляется за счёт блокирующего

экрана, имеющего единую полимерную структуру, армированную органоминеральным наполнителем, обладающим пластичностью и способным деформироваться в порах пласта, компенсируя скачки забойного давления, возникающие в процессе ремонтных работ в скважине (рис. 3).

Адекватность репресссионного воздействия на ПЗП условиям проведения работ обеспечивает сохранение ФЕС пластов как за счёт снижения поглощений, так и благодаря предотвращению необратимых изменений проницаемости проводящих каналов пласта. Реализация указанного подхода осуществляется путём «компенса-



Рис. 3. Временное блокирования продуктивного пласта в условиях сверх АНПД.
Fig. 3. Temporary blocking of a productive formation under conditions of abnormally low formation pressures.

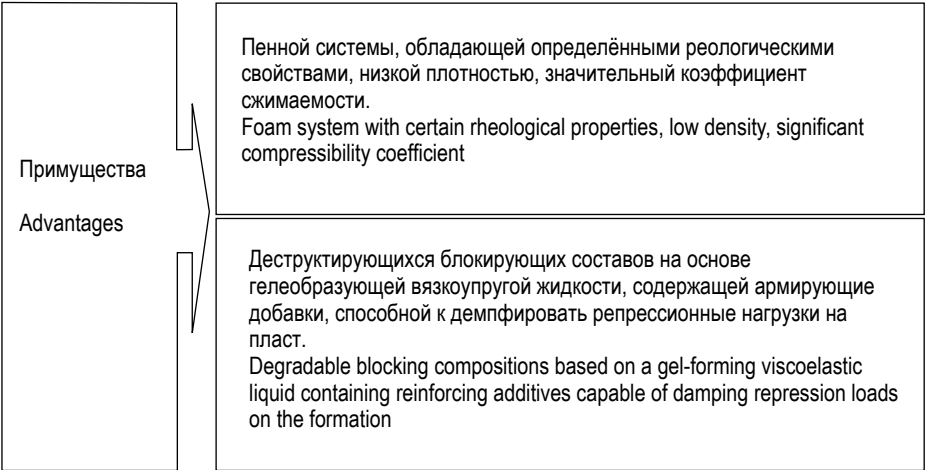


Рис. 4. Управление гидродинамическими процессами при блокировании.
Fig. 4. Control of hydrodynamic processes during blocking.

ции» репрессии на продуктивный горизонт за счёт регулирования реологических параметров, специализированных ТЖ, отвечающих представленным требованиям к ним в условиях сверх АНПД, а также проведения закачки жидкости (БЖ и ЖГ с определённым давлением) для выравнивания профиля приёмистости, рассчитанным на основе предложенной математической модели блокирования пласта для УГДП [5, 8, 12–14] (рис. 4).

Реализация данного способа даёт максимальной эффективности при работе в колтюбинговой установка (рис. 5).

Материалы и методы исследований

Методы исследований основаны на анализе и обобщении промысловых данных по изучаемым проблемам, а также на результатах собственных аналитических и теоретических исследований с использованием результатов лабораторных исследований и математического аппарата с помощью современных технических и программных средств. Использована математическая модель временного блокирования призабойной зоны пласта в газовой скважине состоящая из трёх этапов; рассмотрен алгоритм для расчёта ра-

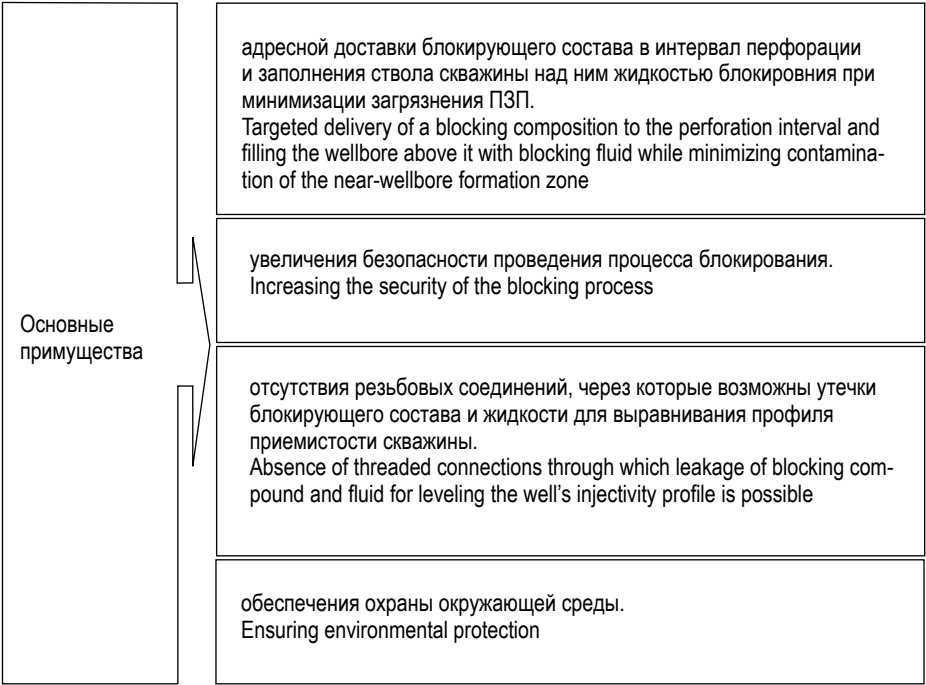


Рис. 5. Преимущества колтюбинговых установок при блокировании ПЗП скважин
Fig. 5. Advantages of coiled tubing units when blocking the bottom-hole zone of well formations

диусов зон кольтатации призабойной зоны в скважинах под воздействием рабочих жидкостей. При исследованиях блокирования ПЗП использовали различные рабочие жидкости определённых компонентных составов с наполнителями, позволяющими за счёт регулирования ее реологических свойств управлять гидродинамическими процессами в системе «скважина – пласт». При моделировании и для проведения необходимых расчётов в скважине, позволяющих управлять параметрами закачки жидкости, рассматривали более сложную газовую скважину, оборудованную забойным пакером.

Результаты исследований и их обсуждение

Как известно, значение гидростатического давления столба жидкости в скважине не зависит от её площади или формы

сечения ствола, а в основном от высоты столба жидкости и ее плотности. При проведении ремонтных работ в скважине, работающей в условиях сверх АНПД для глушения газовых скважин с временным блокированием ПЗП, предлагается технологическое решение, состоящее из трёх этапов. Рассмотрим пример проведения данной технологической операции в скважине, оборудованной пакером состоящих из трёх этапов (рис. 6) [1, 2, 15, 16].

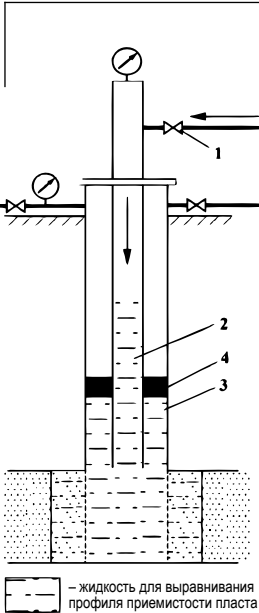
Для УГДП в ПЗП проведём необходимые расчёты давлений и связанных с ними параметров закачки жидкости, моделируем данный процесс на примере более сложной газовой скважины, оборудованной забойным пакером, т. е. в случае, когда скважина эксплуатирует однородный пласт с определённой толщиной (h), проницаемостью (k), пористостью (m) и остаточной водонасыщенностью ($S_{в.ост}$).

На *первом этапе* после привязки оборудования к устью скважины открывается трубное пространство и закачивается БЖ через ЛК, для выравнивания профиля приёмистости в объёме, необходимом для заполнения интервал ПЗП, зоны ниже пакера. На *втором этапе* БЖ закачивается через ЛК, с последующей продувкой на забой скважины в объёме, необходимом для создания расчётного гидростатического давления на пласт. На *третьем этапе* после продавки БЖ с ЖГ скважину закрывают на технологический отстой, с периодическим стравливанием газовой шапки из устья в факельную линию, а окончание операции блокирования ПЗП определяют по давлению на устье скважины. На каждом этапе выбирается соответствующий состав ЖГ с заданной динамической вязкостью и плотностью, и подбирается необходимое давление закачки, для чего необходимо рассчитать скорость подачи жидкости в скважину через ЛК [1, 2, 17, 18] (рис. 7).

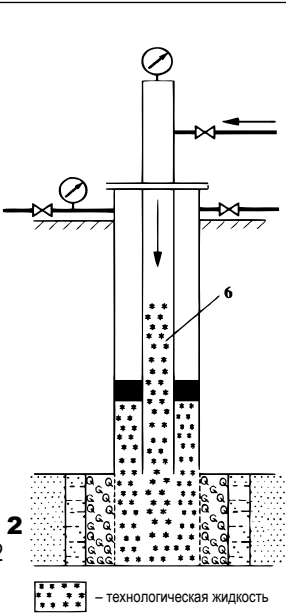
Обеспечение минимальной радиусы кольматации ПЗП за время глушения скважины достигается за счёт правильно выбранного уравнения скорости подачи ЖГ в ЛК на каждом этапе выполнения технологической операции. Рассмотрим алгоритм для расчёта радиусов зон кольматации ПЗП в скважинах под воздействием рабочих жидкостей (рис. 5) [1, 5, 19].

Математическая модель временного блокирования ПЗП в газовой скважине состоит из трёх этапов.

Этап 1
Stage 1



Этап 2
Stage 2



Этап 3
Stage 3

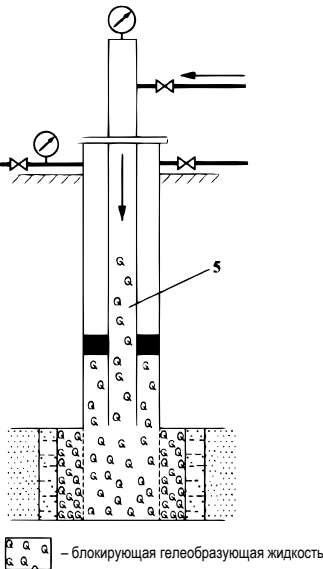


Рис. 6.

Этапы процесса временного блокирования ПЗП газовой скважины.

Fig. 6. Stages of the process of temporarily blocking the bottomhole zone of a gas well

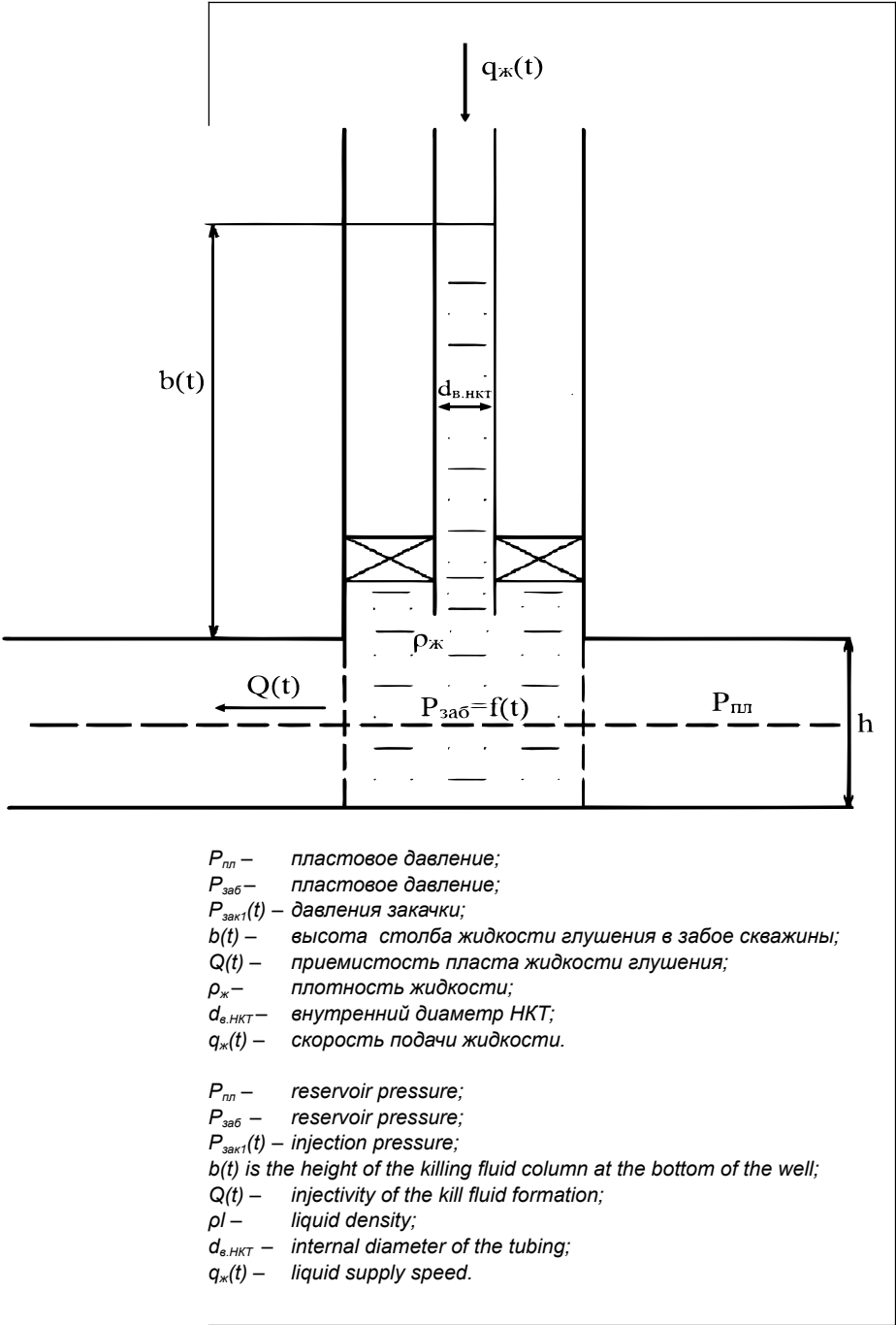


Рис. 7. Связь давления закачки с высотой столба жидкости глушения в лифтовой колонне и забое скважины.
Fig. 7. Relationship between injection pressure and the height of the killing fluid column in the lift string and the bottom of the well.

На первом этапе определяем приёмистость в момент блокирования ПЗП. Поступающая в прискважинную зону ЖГ приводит к увеличению радиуса кольматации ПЗП. Скорость подачи жидкости для глушения в ЛК позволяет определить скорость подачи БЖ в ЛК скважины при заданном пробном законе изменения давления закачки, имеющей большое значение для практики, так как по известной скорости закачки жидкости можно определить необходимое на первом этапе рабочее давление насоса, подающего ЖГ в ЛК в технологическом процессе блокирования ПЗП при глушении скважин. При этом важной задачей является: из реализуемых законов изменения давления закачки выбрать тот, при котором радиус зоны загрязнения (кольматации), в рассматриваемое время закачки, получился минимальным [1, 5, 9].

Далее определяем соответствующее управление режимом подачи жидкости, изменение давления закачки жидкости, при котором радиус зоны загрязнения имеет приемлемое по техническим условиям значение. Наконец по выбранному давлению закачки определяется скорость подачи жидкости блокирования в ЛК скважины. Определение радиуса границы раздела фаз «газ – жидкость» при проведении первого этапа блокирования ПЗП позволяет вычислить радиусы образующихся за время проведения первого этапа зон кольматации для допустимого множества технически реализуемых изменений давлений закачки [2, 8, 20].

На втором этапе определяем безразмерные радиусы закольматированных зон (рис. 3) и определяем приёмистость пласта, скорости подачи ГОЖ для глушения в ЛК, радиус границы раздела при выбранном конкретном давлении закачки.

На третьем этапе определяем безразмерные радиусы закольматированных зон после окончания второго этапа. На третьем этапе нужно, главным образом, вычислить время, необходимое для закачки заданного объёма ГОЖ и радиусы зоны загрязнения, где скорость перемещения границы «газ – пенная жидкость» обусловлена поступлением в расширяющуюся первую зону пенной жидкости. Эти расчёты позволят по известной скорости закачки определить необходимое на втором этапе рабочее давление насоса для подачи ЖГ в ЛК.

Уравнение при постоянном давлении закачки в виде, разрешённом относительно времени

$$t = \frac{\mu_1 \cdot m \cdot (1 - S_{в.ост.}) \cdot R_{скв}^2}{2 \cdot k \cdot (P_0 - P_{пл})} \cdot \left[\frac{r^2 \cdot \lambda n \left(\frac{r}{R_{скв} \cdot \sqrt{e}} \right)}{R_{скв}^2} + \frac{1}{2} \right]. \quad (1)$$

где $P_{пл}$ — пластовое давление, МПа;
 P_0 — постоянном давление закачки, МПа;
 r — текущий радиус границы раздела фаз жидкости глушения, м;
 μ_1 — вязкость жидкости, сП;
 $R_{скв}$ — радиус забоя скважины, м;
 m — пористость;
 k — проницаемость, мД;
 $S_{в.ост.}$ — остаточная водонасыщенность, %.

Приведённый расчёт примера времён закачки в ПЗП заданного объёма пенной жидкости в газовой скважине показал зависимость радиусов зон кольматации от длительности времени глушения скважины на первом этапе и вязкостей закачиваемых жидкостей при постоянном давлении закачки и пластовом давлении [1, 5, 21] (рис. 8).

Радиусы зон кольматации за рассматриваемое время ЖГ могут быть вычислены не только по аппроксимационным уравнениям, но и по вычисленным объёмам закачанной ЖГ по формуле

$$R_{загр}(M) = \sqrt{\frac{V(M^3, жс.зл.)}{\pi \cdot h(M) \cdot m \cdot (1 - S_{в.ост.})}} + R_{скв}^2(M). \quad (2)$$

где V — объём жидкости глушения, м³; — толщина пласта-коллектора, м.

Результаты расчётов (рис. 8) показывают зависимость радиусов зон кольматации от длительности времени глушения скважины и вязкостей закачиваемых жидкостей при постоянном давлении закачки и пластовом давлении.

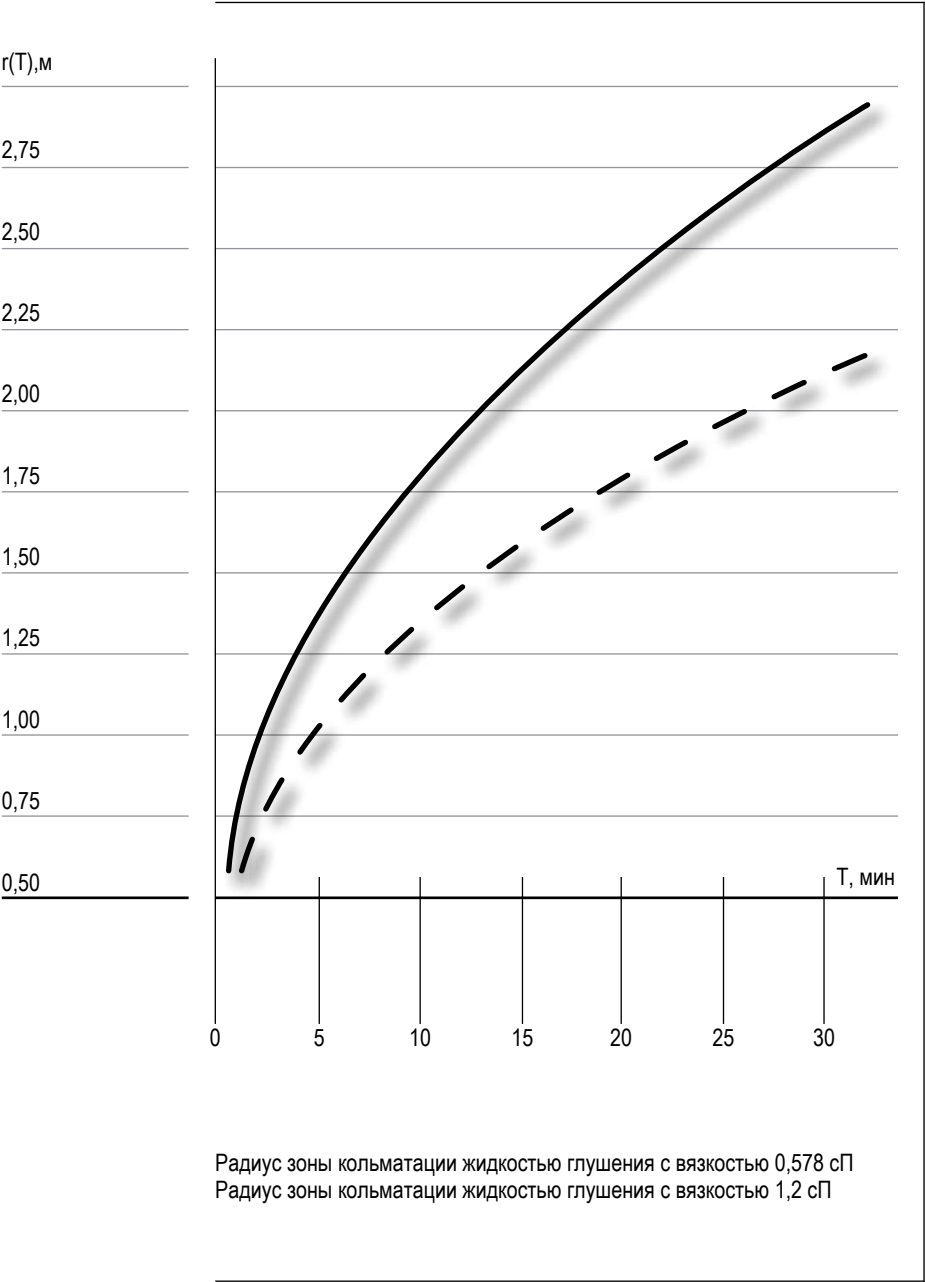


Рис. 8. Зависимость радиусов зон колюматации от длительности времени глушения скважины и вязкостей закачиваемых жидкостей при постоянном давлении закачки и пластовом давлении.

Fig. 8. Dependence of the radii of clogging zones on the duration of well killing time and the viscosities of injected fluids at constant injection pressure and reservoir pressure.

Заключение

Способ управления гидродинамическими процессами в ПЗП при проведении ремонтных работ в скважинах в условиях сверх АНПД предотвращает разрушение пласта-коллектора и обеспечивает сохранение его фитильрационно-емкостных свойств.

Установлена зависимость радиусов зон кольматации от длительности времени глушения скважины и вязкостей закачиваемых жидкостей при постоянном давлении закачки и пластовом давлении.

Управление гидродинамическими процессами в ПЗП при блокировании газовых скважин имеет большое значение для эффективности проведения ремонтных работ в условиях сверх АНПД на истощённых ГКМ, а расчёт режима закачки блокирующей жидкости определяется с учётом характеристики конкретного пропластка с учётом реологических и иных ее свойств.

Способ обеспечивает возможность поинтервальной закачки блокирующей жидкости в многопластовую залежь с целью обеспечения адресного воздействия на конкретный интервал пласта.

Список источников

1. Gasumov R. A., Gasumov E. R. Mathematical model for injection of viscoelastic compositions into the productive formation // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. Vol. 334. No. 03. P. 218–228.
2. Gasumov R. A., Minchenko Y. S., Gasumov E. R. Development of technological solutions for reliable well killing by temporarily blocking the productive formation under ANPD conditions (using the example of Cenomanian gas deposits) // Proceedings of the Mining Institute. 2022. Vol. 258. P. 895–905.
3. Blinov P. A., Dvoynikov M. V. Rheological and Filtration Parameters of the Polymer Salt Drilling Fluids Based on Xanthan Gum // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. Vol. 15. Iss. 2. P. 694–697.
4. Jouenne S., Klimenko A., Levitt D. Tradeoffs Between Emul-

- sion and Powder Polymers for EOR. Oil Recovery Conference. Tulsa. Oklahoma. USA. April 2016. SPE-179631-MS. <https://doi.org/10.2118/179631-MS>
5. Гасумов Р. А., Минченко Ю. С., Костюков С. В., Толпаев В. А. Способ временного блокирования продуктивного пласта в условиях аномально низких пластовых давлений. Патент РФ 2788935. С1. МПК E21B 43/32. C09K 8/42. 2022. Опубликовано: 2023.01.25.
 6. Бакирова А. Д., Шаляпин Д. В., Двойников М. В. Исследование вязкоупругих составов в качестве жидкости глушения скважин // Академический журнал Западной Сибири. 2018. Т. 14. № 4. С. 44–45.
 7. Shagiakhmetov A. M., Podoprighora D. G., Terleev A. V. The study of the dependence of the rheological properties of gelforming compositions on the crack opening when modeling their flow on a rotational viscometer // Periódico Tchê Química. 2020. Vol. 17. No. 34. P. 933–939.
 8. Гасумов Р. А. Гасумов Э. Р. Особенности проведения ремонтно-восстановительных работ в газовых скважинах месторождений Западной Сибири, находящихся на стадии падающей добычи // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 2. С. 177–190.
 9. Mardashov D. V., Bondarenko A. V., Raupov I. R. Technique for calculating technological parameters of non – Newtonian liquids injection into oil well during workover // Journal of Mining Institute. 2022. Vol. 258. P. 881–894.
 10. Rogov E. A. Study of the well near-bottomhole zone permeability during treatment by process fluids // Journal of Mining Institute. Vol. 242. P. 169–173.
 11. Wagle V., Al-Yami A. S., AlSafran A. Designing invert emulsion drilling fluids for HTPT conditions // SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. Dammam. Saudi Arabia. April 2018. 13 p. SPE-192192-MS. <https://doi.org/10.2118/192192-MS>
 12. Каракетов А. В. Математическое моделирование процесса блокирования продуктивного пласта при проведении капитального ремонта скважин // Газовая промышленность. 2020. № 2 (796). С. 96–102.
 13. Басниев К. С. и др. Подземная гидромеханика. М.: Институт компьютерных исследований, 2006. 488 с.

14. Raupov I. R., Shagiakhmetov A. M. The results of the complex rheological studies of the cross – linked polymer composition and the grounding of its injection volume // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. Vol. 10. No. 2. P. 493–509.
15. Егорова Е. В., Минченко Ю. С., Каверзин С. А. Гелеобразующие жидкости для эффективного глушения газовых скважин в условиях поглощений сеноманских залежей месторождений Западной Сибири // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2023. № 10(370). С. 46–53.
16. Quintero L., Ponnepati R., Felipe M. J. Cleanup of Organic and Inorganic Wellbore Deposits Using Microemulsion Formulations // *Laboratory Development and Field Applications Offshore Technology Conference*. Houston. Texas. USA. May 2017. No OTC-27653-MS. <https://doi.org/10.4043/27653-MS>
17. Крылов В. И., Крецул В. В., Меденцев С. В. Современные технологические жидкости для заканчивания и капитального ремонта скважин // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2015. № 1. С. 36–44.
18. Жариков М. Г., Ли Г. С., Копылов А. И. и др. Разработка и испытание жидкостей глушения и блокирующих составов на углеводородной основе при капитальном ремонте газовых скважин Уренгойского НГКМ // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2018. № 1. С. 20–23.
19. Mardashov D. V., Limanov M. N. Increasing the efficiency of killing oil wells in the fields of the Volga-Ural oil and gas province with abnormally low reservoir pressures // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering*. 2022. Vol. 333 (7). P. 185–194.
20. Leusheva E. L., Morenov V. A. Study on rheological properties of clayless drilling fluids influenced by fractional composition of carbonate weighting agents // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 921. 10 p. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/921/1/012013>
21. Leusheva E., Morenov V., Tabatabaee Moradi S. Effect of carbonate additives on dynamic filtration index of drilling mud // *International Journal of Engineering*. 2020. Vol. 33. No. 5. P. 934–939.

References

1. Gasumov RA, Gasumov ER. Mathematical model for injection of viscoelastic compositions into the productive formation. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2023;334(03):218-228.
2. Gasumov RA, Minchenko YS, Gasumov ER. Development of technological solutions for reliable well killing by temporarily blocking the productive formation under ANPD conditions (using the example of Cenomanian gas deposits). *Proceedings of the Mining Institute*. 2022;(258):895-905.
3. Blinov PA, Dvoynikov MV. Rheological and Filtration Parameters of the Polymer Salt Drilling Fluids Based on Xanthan Gum. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020;15(2):694-697.
4. Jouenne S, Klimenko A, Levitt D. Tradeoffs Between Emulsion and Powder Polymers for EOR. Oil Recovery Conference, Tulsa, Oklahoma, USA, April 2016, SPE-179631-MS. <https://doi.org/10.2118/179631-MS>
5. Gasumov RA, Minchenko YuS, Kostyukov SV, Tolpaev VA. Method for temporarily blocking a productive formation under conditions of abnormally low reservoir pressures. RF Patent 2788935. C1. IPC E21B 43/32, C09K 8/42, 2022. Published, 2023.01.25. (In Russ.).
6. Bakirova AD, Shaliapin DV, Dvoynikov MV. Research of viscoelastic composition as a well-killing fluid. *Academic Journal of West Siberia*. 2018;14(4):44-45. (In Russ.).
7. Shagiakhmetov AM, Podoprighora DG, Terleev AV. The study of the dependence of the rheological properties of gelforming compositions on the crack opening when modeling their flow on a rotational viscometer. *Periódico Tchê Química*. 2020;17(34):933-939.
8. Gasumov RA, Gasumov ER. Features of repair and restoration work in gas wells of fields in Western Siberia that are at the stage of declining production. *Science. Innovations. Technologies*. 2023;(2):177-190. (In Russ.).
9. Mardashov DV, Bondarenko AV, Raupov IR. Technique for calculating technological parameters of non – Newtonian liquids injection into oil well during workover. *Journal of Mining Institute*. 2022;(258):881-894.

10. Rogov EA Study of the well near-bottomhole zone permeability during treatment by process fluids. *Journal of Mining Institute*. 2020;(242):169-173.
11. Wagle V, Al-Yami AS, AlSafran A. Designing invert emulsion drilling fluids for HTPT conditions. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. Dammam. Saudi Arabia. April 2018. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. 2018. 13 p. SPE-192192-MS. <https://doi.org/10.2118/192192-MS>
12. Karaketov AV. Mathematical modeling of the process of blocking the productive formation during well overhaul. *Gas Industry Journal*. 2020;2(796):96-102. (In Russ.).
13. Basniev KS et al. Underground hydromechanics. Moscow: Institute of Computer Research, Moscow: Nedra; 2006. 488 p. (In Russ.).
14. Raupov IR, Shagiakhmetov AM. The results of the complex rheological studies of the cross-linked polymer composition and the grounding of its injection volume. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019;10(2):493-509. (In Russ.).
15. Egorova EV, Minchenko YuS, Kaverzin SA. Gel-forming liquids for effective killing of gas wells in conditions of absorption of Cenomanian deposits of fields in Western Siberia. *Onshore and offshore oil and gas well construction*. 2023;10(370):46-53. (In Russ.).
16. Quintero L, Ponnepati R, Felipe MJ. Cleanup of Organic and Inorganic Wellbore Deposits Using Microemulsion Formulations: Laboratory Development and Field Applications Offshore Technology Conference, May 2017. Houston, Texas, USA, N OTC-27653-MS. <https://doi.org/10.4043/27653-MS>
17. Krylov VI, Kretsul VV, Medentsev SV. Modern technological fluids for well completion and workover. *Onshore and offshore oil and gas well construction*. 2015;(1):36-44. (In Russ.).
18. Zharikov MG, Li GS, Kopylov AI et al. Development and testing of hydrocarbon-based killing liquids and blocking compositions for workover of gas wells at the Urengoykoye OGCF. *Onshore and offshore oil and gas well construction*. 2018;(1):20-23. (In Russ.).
19. Mardashov DV, Limanov MN. Increasing the efficiency of killing oil wells in the fields of the Volga-Ural oil and gas prov-

ince with abnormally low reservoir pressures. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering*. 2022;333(7):185-194.

20. Leusheva EL, Morenov VA. Study on rheological properties of clayless drilling fluids influenced by fractional composition of carbonate weighting agents. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020;(921):10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/921/1/012013>
21. Leusheva E, Morenov V, Tabatabaee Moradi S. Effect of carbonate additives on dynamic filtration index of drilling mud. *International Journal of Engineering*. 2020;33(5):934-939.

Информация об авторах

Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов – доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, заведующий кафедрой проектирования объектов нефтегазовой сферы Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 6507302404.

Эльдар Рамизович Гасумов – кандидат экономических наук, доцент Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, докторант Азербайджанского технического университета, Scopus ID: 57217090200.

Вклад авторов

Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов. Проведены исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Эльдар Рамизович Гасумов. Подготовка и редактирование текста, рисунки – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Information about the authors

Ramiz A. Gasumov – Dr. Sci. (Tech.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of Department of Oil and Gas Facilities Design, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 6507302404.

Eldar R. Gasumov – Cand. Sci. (Econ), Associate Professor, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Doctoral student, Azerbaijan Technical University, Scopus ID: 57217090200.

Contribution of the authors

Ramiz A. Gasumov. Research was carried out – collection, interpretation and analysis of the data obtained. Approval of the final version – acceptance of responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Eldar R. Gasumov. Preparation and editing of text, drawings – drafting the manuscript and forming its final version, participation in scientific design.

Краткое сообщение

УДК 551.515.4

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8>

АНОМАЛЬНЫЙ ГРОЗОВОЙ ПРОЦЕСС НА ТЕРРИТОРИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Залина Музариновна Керефова^{1*},
Наталья Владимировна Юрченко²,
Аида Анатольевна Аджиева³

^{1,2} Високогорный геофизический институт (д. 2, ул. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)

³ Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова (д. 1, ул. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)

¹ zknyaz-kbsu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0180-3759>

² ynatalya64@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-4891-8220>

³ aida-adzhieva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1047-8417>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

В данной работе представлен анализ динамики развития такого аномального погодного явления, как гроза. Рассмотрен грозовой процесс, прошедший на Северном Кавказе 27 июня 2023 года. Рассматриваемый грозовой процесс существенно отличался от среднестатистических, как по продолжительности, так и по параметрам молний. Анализ выполнен на примере Ставропольского края, хотя аномальные грозы 27 июня 2023 года имели место и на территории других субъектов Северного Кавказа.

В работе использована грозопеленгационная сеть ФГБУ «ВГИ» с пространственно разнесенными датчиками LS8000 и LS7002. Для определения характеристик грозовой деятельности в работе использованы многолетние данные указанной грозопеленгационной сети. Исследования грозовой активности выполнены во взаимосвязи с характеристиками конвективных облаков, определяемыми метеорадиолокаторами МРЛ-5. В ФГБУ «ВГИ» организовано получение, обработка, архивирование и передача в сеть АСПД Росгидромета радиолокационной информации со всех метеорадиолокаторов МРЛ-5 противоградовых служб Северного Кавказа.

За сутки по данной территории ГПС ФГБУ «ВГИ» зафиксировано около 30 000 молний. Из них 3713 были разряды на землю. Из зарегистрированных 3713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля отрицательных разрядов молнии от

общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78 %.
Наибольшее количество отрицательных молний (более 70 %) имели значения до 20 кА. Более 40 % положительных молниевых разрядов имели значения от 21 до 40 кА. Среднее значение токов отрицательной полярности составило – 18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

Ключевые слова: гроза, молния, грозовая активность, молниевые разряды, аномальные погодные явления, потепление климата

Для цитирования: Кереева З. М., Юрченко Н. В., Аджиева А. А. Аномальный грозовой процесс на территории Ставропольского края // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 191–203. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024;
одобрена после рецензирования 22.05.2024;
принята к публикации 20.06.2024.

1.6.18. **Atmospheric and Climate Sciences
(Physical and Mathematical Sciences)**

Brief report

**Anomalous thunderstorm process
in the Stavropol Krai**

**Zalina M. Kerefova^{1*},
Natalya V. Yurchenko²,
Aida A. Adzhieva³**

^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenina St., Nalchik, 360030, Russian Federation)
³ Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova (1, Lenina St., Nalchik, 360030, Russian Federation)
¹ zknyaz-kbsu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0180-3759>
² ynatalya64@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-4891-8220>
³ aida-adzhieva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1047-8417>
* Corresponding author

Abstract.

The paper analyzes the dynamics of such anomalous weather phenomenon as a thunderstorm. The thunderstorm process that took place in the North Caucasus on June 27, 2023 is considered. The thunderstorm process under consideration differed significantly from the statistical average, both in duration and in lightning parameters. The analysis was carried out using the example of the Stavropol Krai, although anomalous thunderstorms on June 27, 2023 also occurred in other regions of the North Caucasus.

The work used the lightning direction network of the Federal State Budgetary Institution VGI with spatially separated sensors LS8000 and LS7002. To determine the characteristics of thunderstorm activity, the work used long-term data from the specified lightning direction network. Studies of thunderstorm activity were carried out in conjunction with the characteristics of convective clouds determined by MRL-5 weather radars. The Federal State Budgetary Institution VGI has organized the uptake, processing, archiving and transmission to the ASPD network of Roshydromet of radar information from all MRL-5 weather radars of the anti-hail services of the North Caucasus.

During the day, about 30,000 lightning strikes were recorded by VGI in this territory. Of these, 3,713 were ground discharges. Of the registered 3,713 ground-based lightning discharges in the Stavropol Krai, negative lightning amounted to 2,901, and the positive one – 812. The share of negative lightning discharges from the total number of ground-based lightning discharges in the specified territory was 78%. The largest number of negative lightning (more than 70%) had values up to 20 kA. More than 40% of positive lightning discharges had values from 21 to 40 kA. The average value of currents of negative polarity was -18.6 kA, and that of positive polarity was +53.2 kA.

Keywords:

thunderstorm, lightning, thunderstorm activity, lightning discharges, anomalous weather phenomena, climate warming

For citation:

Kerefova ZM, Yurchenko NV, Adzhieva AA. Anomalous thunderstorm process in the Stavropol Krai. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):191-203. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 04.04.2024;

approved after reviewing 22.05.2024;

accepted for publication 20.06.2024.

Введение

За последние годы одной из важнейших проблем, ставшей перед мировым сообществом являются глобальные и локальные изменения климата. Наличие такого изменения является общепризнанным [1, 2]. Климат на Земле заметно меняется: одни страны страдают от аномальной жары, другие от слишком суровых и снежных зим, непривычных для этих мест. По данным ученых среднегодовая температура на Земле оказалась на 1,02 °C выше той, которую фиксировали в прошлом столетии (когда обратили внимание на изменения глобальной температуры). Порог в один градус был превышен впервые в современной истории. Нет единого мнения ученых о причинах потепления. Утверждается, что именно деятельность человека – сжигание нефти, газа и угля – приводит к парниковому эффекту, который вызывает повышение средней температуры. Эксперты отмечают, что в период с 2000 по 2020 годы наблюдался самый мощный рост выбросов парниковых газов за последние 100 лет [3].

Исследования отечественных ученых свидетельствуют, что в России также наблюдается заметное изменение климата [4]. Для России характерно увеличение количества экстремальных погодных явлений, региональными последствиями которых являются рост повторяемости опасных грозоградовых процессов, наводнений, деградации горного оледенения и др. Наблюдается положительная динамика числа случаев проявления на территории России опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды, наносящих социально-экономический ущерб [5]. В среднем ежегодный прирост составляет более 10 явлений в год.

В данной работе представлен анализ динамики развития такого аномального погодного явления, как гроза. Рассмотрен грозовой процесс, прошедший на Северном Кавказе 27 июня 2023 года. Рассматриваемый грозовой процесс существенно отличался от среднестатистических, как по продолжительности, так и по параметрам молний. Анализ выполнен на примере Ставропольского края, хотя аномальные грозы 27 июня 2023 года имели место и на территории других субъектов Северного Кавказа.

Оперативный мониторинг местоположения грозовой активности, параметров молниевых разрядов имеет большое практическое значение для хозяйственной деятельности. В последние годы параметры грозовой активности используют для наукастинга (прогнозирования) погодных явлений.

Материалы и методы исследований

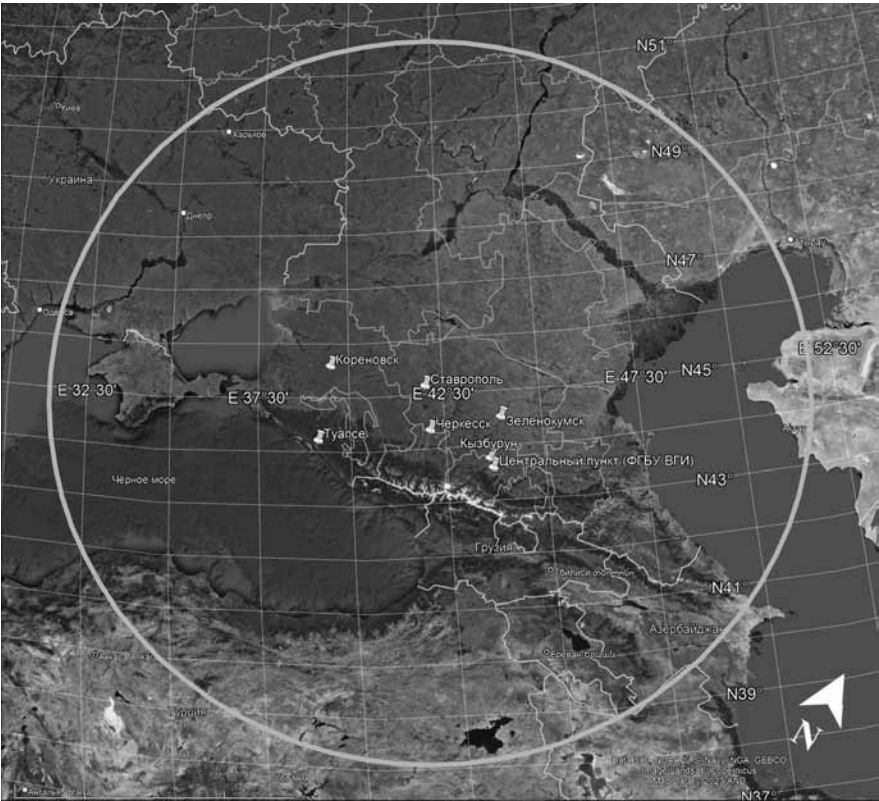
Анализ грозовой активности выполнен по данным грозопеленгационной сети (ГПС) ФГБУ «ВГИ». В настоящее время ГПС ФГБУ «ВГИ» принимает данные разрядов молний из двух грозопеленгационных сетей: ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета» [6].

В состав ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета» входят датчики двух моделей LS8000 и LS7002 производства фирмы Vaisala. Оба датчика оснащены низкочастотным LF (low frequency) сенсором. Более ранняя модель LS8000 обладает расширенным функционалом за счет дополнительного высокочастотного VHF (very high frequency) сенсора. Низкочастотный сенсор LF фиксирует, в основном, молниевые разряды типа «Облако-Земля». Высокочастотный датчик VHF фиксирует молниевые разряды только типа «Облако-Облако».

Зоны обзора для разных типов молниевых разрядов различные. Для молниевых разрядов «Облако-Земля» радиус области обзора составляет 625 км от центра сети, а разрядов «Облако-Облако» 325 км. Зона обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ» приведена на рисунке 1.

Для анализа грозовой активности в настоящей работе используются характеристики наземных молниевых разрядов. Для наземных молниевых разрядов ГПС определяет следующие основные характеристики: дату и время с точностью до 100 наносекунд, координаты разряда молнии, значения тока в канале разряда, деление разрядов молнии на типы – положительные и отрицательные, длительность нарастания волны тока в канале молнии до максимального значения и длительность его спада тока до нуля, в мкс.

Для анализа грозовой активности по Ставропольскому краю за 27 июня 2023 года отобрано количество разрядов «Облако-Земля» положительной и отрицательной полярности, а также значения токов молнии.



Условные обозначения

Обзор ГПС «ВГИ»

Пункты LS8000

Рис. 1.

Зоны обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ».

Fig. 1. Viewing areas of LF sensors of the GPS "VGI".

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Исследования грозовой активности выполнены во взаимосвязи с характеристиками конвективных облаков, определяемыми метеорадиолокаторами МРЛ-5. В ФГБУ «ВГИ» организовано получение, обработка, архивирование и передача в сеть АСПД Росгидромета радиолокационной информации со всех метеорадиолокаторов МРЛ-5 противоградовых служб Северного Кавказа.

Результаты исследований и их обсуждение

Впервые за весь период наблюдения за грозами, с 60-х годов прошлого столетия по настоящее время, на Северном Кавказе 27 июня 2023 года имел место аномальный грозовой процесс, при котором гроза продолжалась более 24 часов.

Большая интенсивность грозовой деятельности наблюдалась на территории Ставропольского края. На данной территории гроза продолжалась более суток. По информации Ставропольского гидрометцентра на территории края на этот день прогнозировался сильный дождь, в сочетании с грозой, градом и шквалистым ветром 20-23 м/с.

В Ставропольском крае 27 июня 2023 года ночью была значительная облачность, гроза без осадков, зарница, гроза с осадками, ливневые осадки, пасмурно. Температура воздуха +17...+18 °С. Ветер в переменных направлениях умеренный, 3-4 м/с, с порывами до 12 м/с. Днем характер погоды был таким: облачно, гроза с осадками или без них, ливневые осадки. Давление было ниже нормы. Температура воздуха +20...+26 °С. Ветер западный сильный, 2-7 м/с, порывами до 18 м/с.

Грозовая деятельность 27.06.2023 на территории Ставропольского края была вызвана прохождением фронтального процесса. На рисунке 2 представлено радиоэхо МРЛ-5 ночью в 00 ч 11 мин, днем в 11 ч 01 мин и вечером в 16 ч 56 мин. На рисунке представлено радиоэхо облаков на территории Ставропольского края в период максимальной грозовой активности (рисунок 2 а, в) и в период наименьшей грозовой активности (рисунок 2, б). Периоды грозовой активности характеризовались наибольшей площадью радиоэха, а период наименьшей грозовой активности соответствовал минимальной площади радиоэха облаков. По радиолокационным данным в период наибольшей грозовой активности выпадали ин-

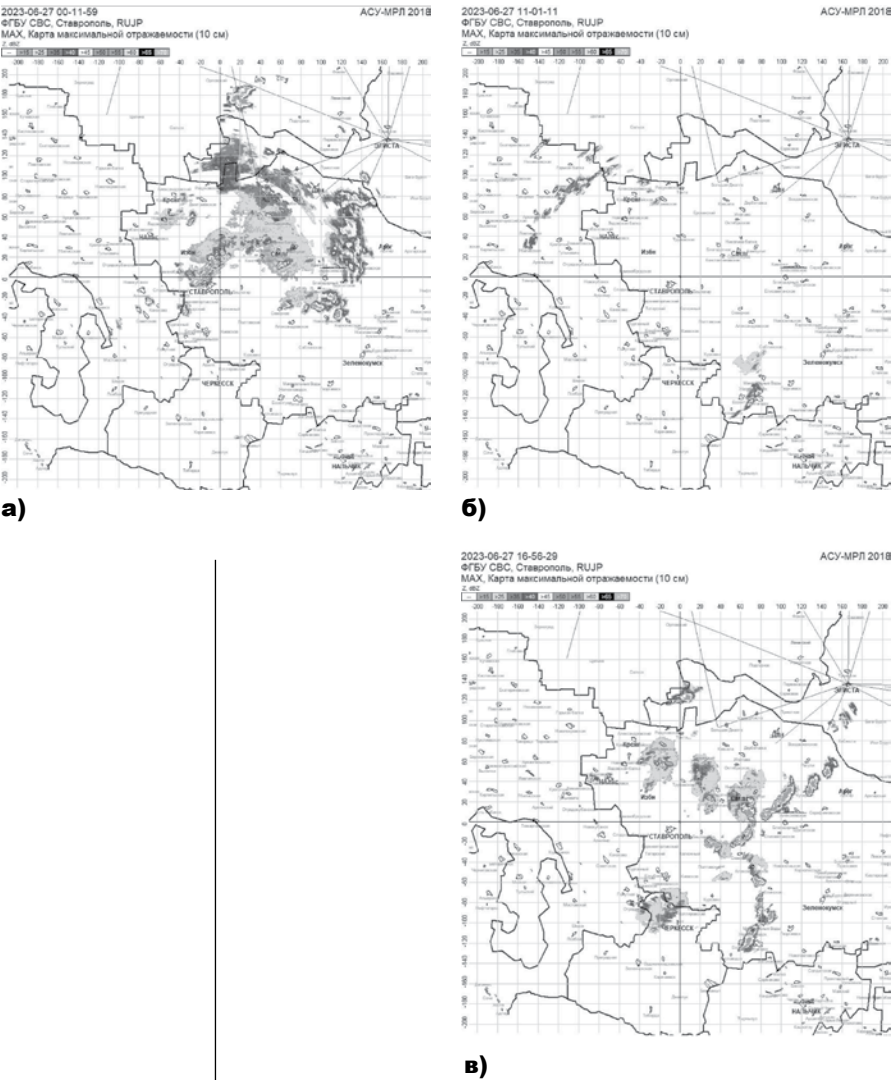


Рис. 2. Радиозэхо грозового фронта на территории Ставропольского края 27.06.2023 в различные периоды времени:
а) период времени 00 ч 11 мин;
б) 11 ч 01 мин;
в) 16 ч 56 мин

Fig. 2. Radio echo of a thunderstorm front on the territory of the Stavropol Krai on June 27, 2023 at various time periods: а) time period 00 hours 11 minutes; б) 11 hours 01 minutes; в) 16 hours 56 minutes

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

тенсивные осадки. Грозовой фронт перемещался с северо-запада на юго-восток со средней скоростью около 40 км/ч.

На рисунке 3 представлено распределение в течение суток 27.06.2023 наземных молниевых разрядов по данным ГПС ФГБУ «ВГИ». Анализируемый грозовой процесс, характеризовался циклическим развитием. Количество циклов рассматриваемого грозового процесса составило 5 циклов (рисунок 3). Продолжительность отдельных периодов грозовой активности (циклов) составляла от 3 до 5 часов. Самый продолжительный цикл был в вечернее время с 16:00 до 21:00.

Как видно из рисунка 3 грозовой процесс, сформировавшийся над Ставропольским краем 26 июня 2023 года, в ночь на 27 июня 2023 года имел максимальную активность до 250 разрядов на землю в течение получаса. За сутки территория Ставропольского края поражена молниями 3 713 раз. Учитывая, что площадь Ставропольского края составляет 66 160 км² суточная удельная поражаемость составила 0,056 кол/км², что является аномальным явлением. Ночные грозы, как правило, являются редким явлением погоды.

Также из рисунка 3 видно, что максимальная грозовая активность по данной территории имела место в ночное время с 00.00 ч. до 00.30 ч., в утреннее время с 03:30 до 05:00 и в вечернее время с 16:00 до 18:00. Минимальное значение грозовая активность имела в дневное время.

Из зарегистрированных 3713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля наземных молниевых разрядов (положительных и отрицательных) составила примерно 13% от общего числа зарегистрированных молний, что достаточно хорошо согласуется с ранее выполненными исследованиями на территории Северного Кавказа [7]. Общее количество зарегистрированных молний всех типов за сутки (27.06.2023) на территории Ставропольского края составило около 30 000.

Доля отрицательных разрядов молнии от общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78%, что также соответствует данным, полученным по многолетним наблюдениям на территории Северного Кавказа [6].

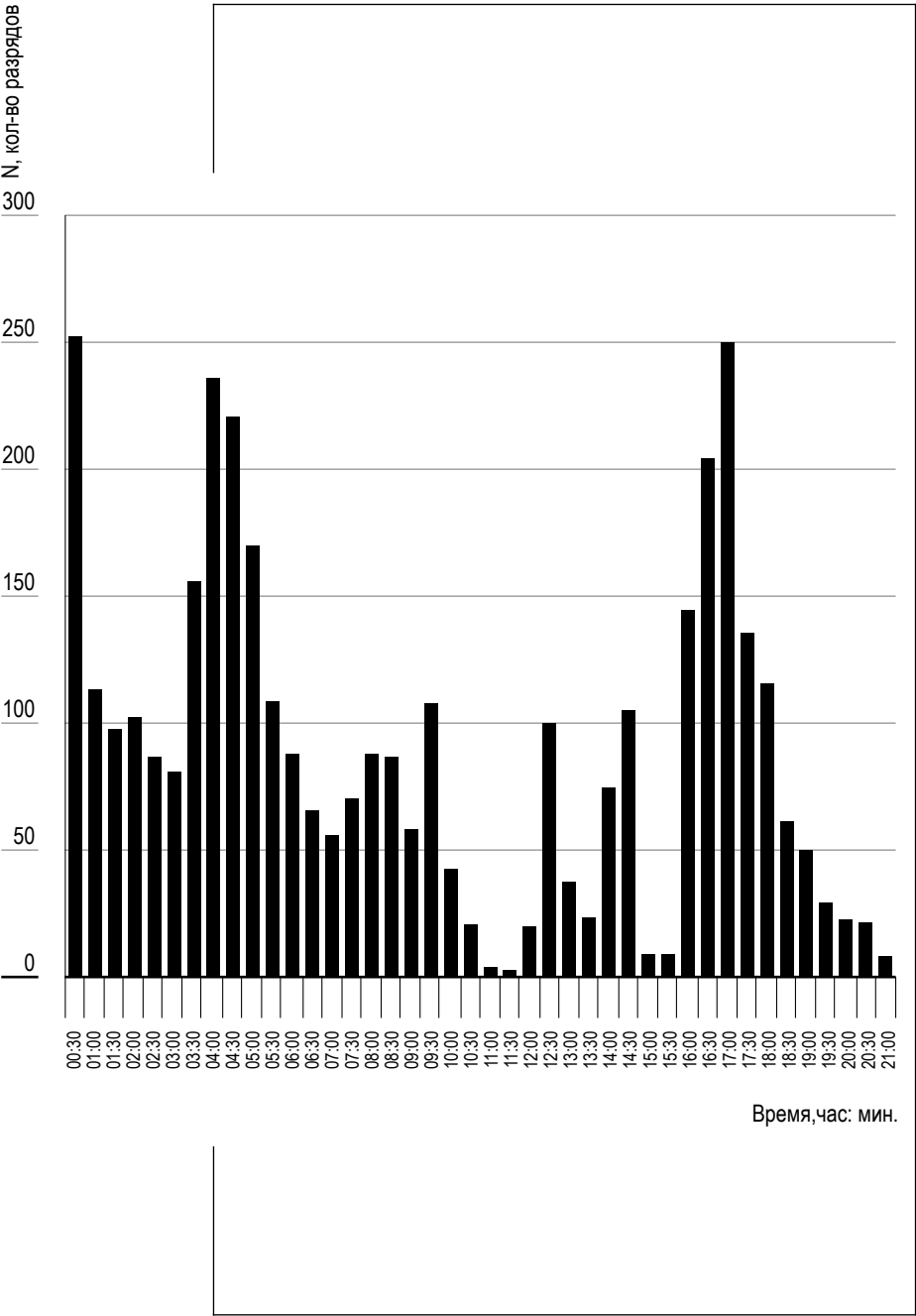


Рис. 3. Временной ход количества молниевых разрядов на землю по Ставропольскому краю за 27.06.2023 г.
Fig. 3. Time course of the number of lightning discharges to the ground in the Stavropol Krai for June 27, 2023.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

В таблице 1 и на рисунках 4, 5 приведены распределения молний токов положительной и отрицательной полярности. Как видно из таблицы 1, наибольшее количество отрицательных молний (более 70%) имеют значения до 20 кА, а наибольшее количество положительных молниевых разрядов (более 40%) имеют значения от 21 до 40 кА.

Среднее значение токов отрицательной полярности составило –18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

Таблица 1.

КОЛИЧЕСТВО И ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ МОЛНИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

Table 1. Number and values of lightning currents of positive and negative polarity

Диапазон значений токов, кА	количество токов «+», шт	количество токов «-», шт
0–20	80	2051
21–40	347	650
41–60	146	133
61–80	112	43
81–100	38	15
101–120	24	3
121–140	23	1
141–160	18	2
161–180	10	2

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Согласно исследованиям, представленным в работе [4] за более 50-летний период наблюдений среднегодовая продолжительность гроз по территории Ставропольского края составляет 55,7 часов, а среднее число дней с грозой – около 25 дней. Следовательно, средняя продолжительность одного грозового процесса составляет 2,2 часа. Таким образом, имевший место грозовой процесс 27.06.2023 года существенно превышал по продолжительности обычные грозовые процессы, проходившие на территории Ставропольского края.

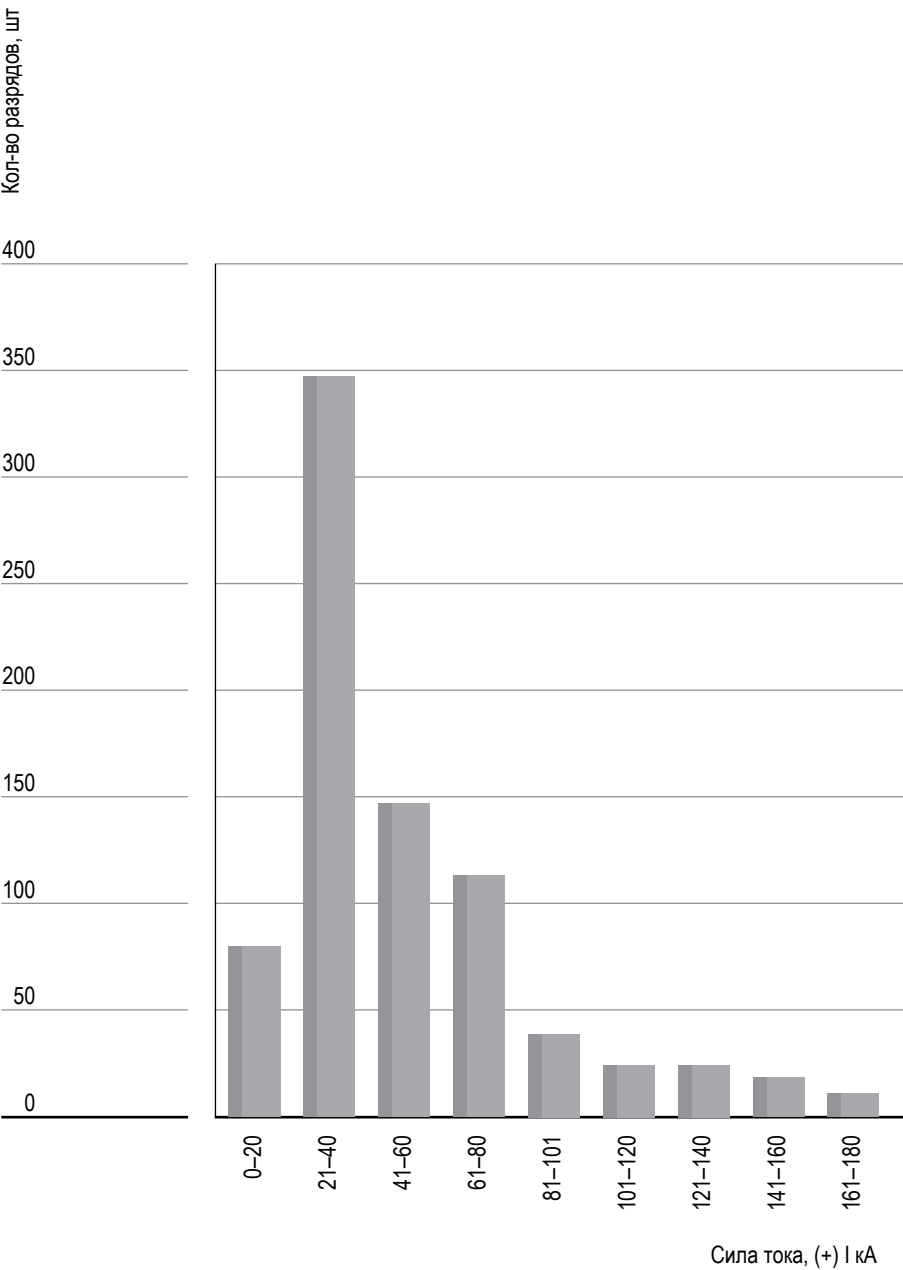


Рис. 4. Распределение значений токов положительной полярности.
Fig. 4. Distribution of current values of positive polarity.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

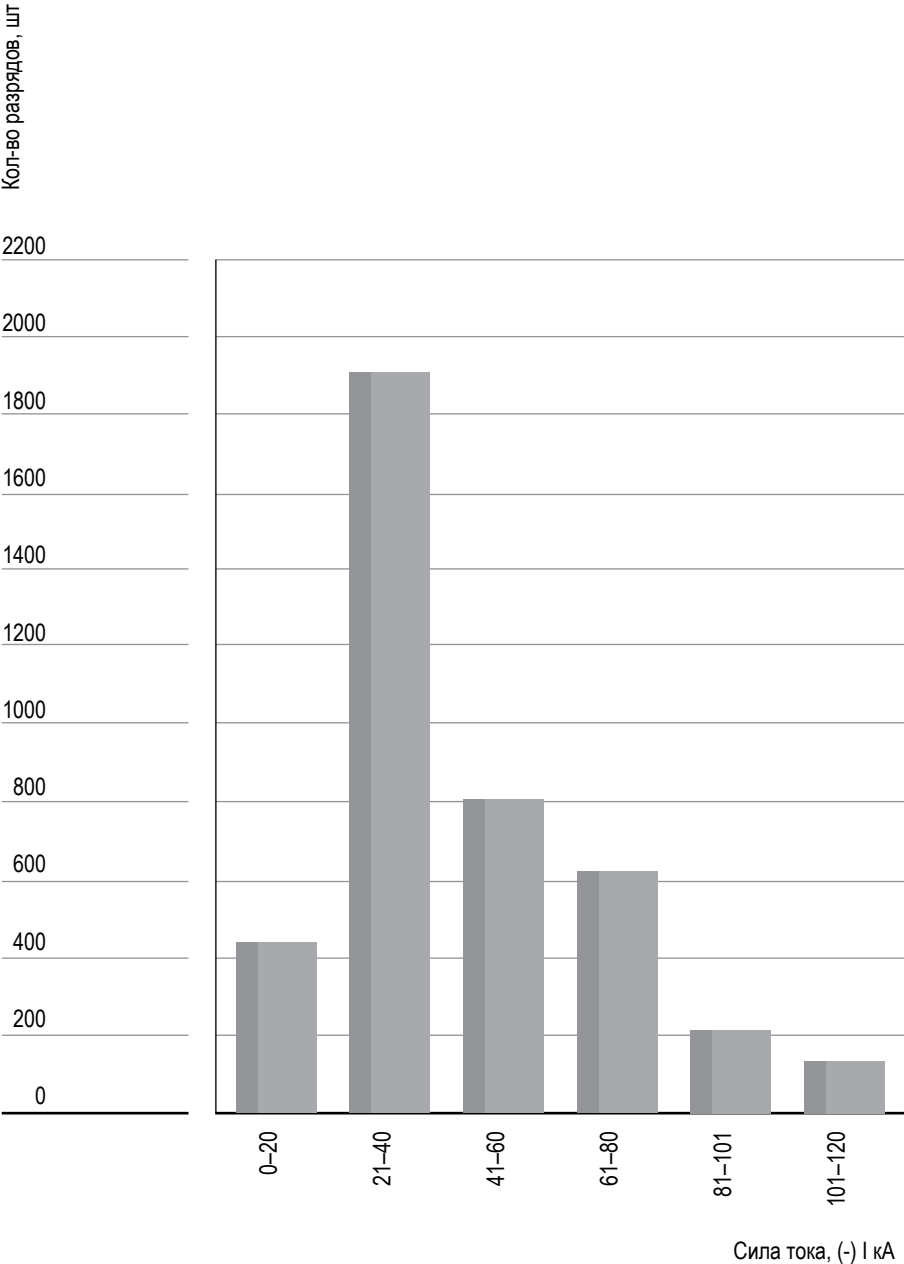


Рис. 5. Распределение значений токов отрицательной полярности.
Fig. 5. Distribution of current values of negative polarity.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Заключение

В 2023 году 27 июня на территории Ставропольского края наблюдался аномальный грозовой процесс. Наибольшая грозовая активность наблюдалась ночью 00 ч 11 мин и вечером в 16 ч 56 мин, а наименьшая днем в 11 ч 01 мин. По радиолокационным данным в период наибольшей грозовой активности выпадали интенсивные осадки. Грозовой фронт перемещался с северо-запада на юго-восток со средней скоростью около 40 км/ч.

За сутки по данной территории ГПС ФГБУ «ВГИ» зафиксировано около 30 000 молний. Из них 3 713 были разряды на землю. Из зарегистрированных 3 713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля отрицательных разрядов молнии от общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78 %.

Наибольшее количество отрицательных молний (более 70 %) имели значения до 20 кА. Более 40 % положительных молниевых разрядов имели значения от 21 до 40 кА.

Среднее значение токов отрицательной полярности составило -18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

По мнению авторов, рассмотренный грозовой процесс на территории Ставропольского края является следствием регионального изменения климата. При проведении молниезащитных мероприятий для объектов хозяйственной деятельности по территории Ставропольского края рекомендуется учесть аномальные значения грозовой активности.

Список источников

1. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
2. Аджиев А. Х., Кулиев Д. Д., Стасенко В. Н. Оценка параметров работоспособности грозопеленгационных систем LS8000 и ENTLS в регионе Северного Кавказа // Метеорология и гидрология. 2022. № 4. С. 117–126.
3. Аджиев А. Х., Кулиев Д. Д. Характеристики грозовой активности и параметры молниевых разрядов на территории юга европейской части России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 4. С. 437–445.
4. Аджиева А. А., Кереева З. М., Гятов Р. А. Поражаемость территории и объектов Северного Кавказа молниями // Наука. Инновации. Технологии. 2020. № 3. С. 107–122. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2020.3.6>
5. Кузьмин В. А., Черкесов А. А. Вариации локального электрического поля атмосферы под влиянием грозовых явлений // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 2. С. 109–124. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.2.6>
6. Синькевич А. А., Боу Б., Павар С. Д., Михайловский Ю. П., Куров А. Б., Гопалакришнан В. Исследование радиолокационных и электрических характеристик грозовых облаков при воздействии на них кристаллизующим реагентом (штат Карнатака, Индия) // Метеорология и гидрология. 2021. № 8. С. 112–122. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-8-112-122>
7. Аджиева А. А., Кереева З. М., Гятов Р. А., Тумгоева Х. А. Исследование числа дней с грозой и продолжительности гроз в году на территории Северного Кавказа // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 32–36. <https://doi.org/10.17513/use.37454>

References

1. Gruza GV, Rankova EYa. Climate change detection: climate status, variability and extremes. *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2004;(4):50-66. (In Russ.).

2. Adzhiev AKh, Kuliev DD, Stasenko VN. Assessing the performance parameters of lightning direction finding systems LS8000 and ENTLS in the North Caucasus region. *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2022;(4):117-126. (In Russ.).
3. Adzhiev AKh, Kuliev DD. Characteristics of thunderstorm activity and parameters of lightning discharges in the south of the European part of Russia. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana* = Izvestiya RAS. Physics of atmosphere and ocean. 2018;54(4):437-445. (In Russ.).
4. Adzhieva AA, Kerefova ZM, Gyatov RA. Damage to the territory and objects of the North Caucasus by lightning. *Science. Innovations. Technologies*. 2020;3:107-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2020.3.6>
5. Kuzmin VA, Cherkesov AA. Variations of the local electric field of the atmosphere under the influence of thunderstorm phenomena. *Science. Innovations. Technologies*. 2021;2:109-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.2.6>
6. Sinkevich AA, Bou B, Pawar SD, Mikhailovsky YuP, Kurov AB, Gopalakrishnan V. Study of radar and electrical characteristics of thunderclouds when exposed to a crystallizing reagent (Karnataka state, India). *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2021;(8):112-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-8-112-122>
7. Adzhieva AA, Kerefova ZM, Gyatov RA, Tumgoeva KhA. Study of the number of days with thunderstorms and the duration of thunderstorms per year in the North Caucasus. *Advances in modern natural science*. 2020;(8):32-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37454>

Информация об авторах

Залина Музариновна Кереева – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57219271959.

Наталья Владимировна Юрченко – младший научный сотрудник Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57214144970.

Аида Анатольевна Аджиева – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета, Scopus ID: 36130004800.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Zalina M. Kerefova – Cand. Sci. (Phys. - Math.), Researcher at the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57219271959.

Natalya V. Yurchenko – Junior Researcher at the High Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57214144970.

Aida A. Adzhieva – Dr. Sci. (Phys. - Math.), Professor of the Department of Higher Mathematics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Scopus ID: 36130004800.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.



НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758

Выпуск №2, 2024 г.



Издательство Северо-Кавказского федерального
университета. г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1.

Корректор – М.И. Толмачев.
Компьютерная вёрстка – О.Г. Полевич.

Подписано в печать 20.06.2024 г. Выход в свет 27.06.2024 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 17,85. Тираж 1 000 экз. Цена 534 руб.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».
355029, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, 2.