

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 № 3, 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)
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 государственный 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 государственный 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 государственный 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); Закиян А. Р., д-р физ.-мат. наук, доцент (СКФУ, г. Ставрополь, Россия); Закиян 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: 02.10.2024
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	(8652) 33-07-32
Сайт	https://scienceit.elpub.ru/jour
E-mail	nit_ncfu@mail.ru

	“Science. Innovations. Technologies” North-Caucasus Federal University
Founder	Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education “North-Caucasus Federal University”
Editor-in-Chief:	Vitaliy S. Belozеров, Dr. Sci. (Geogr.), Prof. (North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia)
Vice Editor-in-Chief:	Natalia A. Shchitova, Dr. Sci. (Geogr.), Prof. (North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia)
Editorial Council:	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); Andrey 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)
Executive 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 Board:	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:	10/02/2024
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», № 3, 2024

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

1.6.11.	ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	А.А. Залятдинов, Е.А. Егорова, Л.Р. Тимергалиева, Т.М. Фаздалова	
	Тампонажный раствор с добавлением углекислого газа (CO ₂)	9
	А.А. Zalyatdinov, E.A. Egorova, L.R. Timergalieva, T.M. Fazdalova	
	Grouting solution with carbon dioxide (CO ₂)	10
	В.М. Харченко, А.А.-Хасрачи, Т.В. Ибрагимова, А.Е. Неркаряян	
	Нефтегазogeологическое и сейсмическое районирование территории Ирака на базе инновационных технологий использования космической съемки	25
	V.M. Kharchenko, A.AI.-Hasrachi, T.V. Ibragimova, A.E. Nerkararyan	
	Oil, gas, geological and seismic zoning of the territory of Iraq based on innovative technologies of space photography	26
1.6.13.	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ, СОЦИАЛЬНАЯ, ПОЛИТИЧЕСКАЯ И РЕКРЕАЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ (ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ)	
	Ю.Ф. Зольникова, И.А. Соловьев, Н.А. Щитова, П.М. Полян	
	Миграционные намерения студентов средних профессиональных образовательных учреждений в Ставропольском крае и Дагестане	49

	Ju.F. Zolnikova, I.A. Soloviev, N.A. Shchitova, P.M. Polyan	
	Migration intentions of secondary vocational education students in Stavropol Krai and Dagestan	50
1.6.18.	НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИ- МАТЕ (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕС- КИЕ НАУКИ)	
	Б.А. Ашабоков, А.А. Ташилова, Л.А. Кешева, Н.В. Теунова	
	Модель синусоидальной регрессии для оценки ди- намики селевых сходов	71
	B.A. Ashabokov, A.A. Tashilova, L.A. Kesheva, N.V. Teunova	
	Sinusoidal regression model for assessment of mud- flows dynamics	72
	Л.Т. Созаева, А.Х. Кагермазов	
	Задача оптимизации структуры сельскохозяйствен- ного производства с учетом прогноза градобитий	95
	L.T. Sozaeva, A.Kh. Kagermazov	
	Optimizing the structure of agricultural production with account of hail forecasts.	96
1.6.21.	ГЕОЭКОЛОГИЯ	
	В.В. Разумов, Н.Д. Богданова, Н.В. Разумова, А.А. Лиховид, В.А. Шальнев	
	Автомобильные дороги Чеченской Республики под воздействием обвально-осыпных процессов.	111
	V.V. Razumov, N.D. Bogdanova, N.V. Razumova, A.A. Likhovid, V.A. Shalnev	
	Highways of the Chechen Republic under the Influence of rockslides and screes processes	112

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**2.8.4. РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТО-
РОЖДЕНИЙ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НА-
УКИ)****Д.В. Балин,
О.В. Балина,
Е.И. Мамчистова**

Подход к получению вероятностной оценки прогноз-
ных профилей добычи, конденсатогазового факто-
ра и обводнения 139

**D.V. Balin,
O.V. Balina,
E.I. Mamchistova**

An approach to forecast production profiles, oil-gas
ratio and Water contamination probabilistic assess-
ment 140

Д.А. Иванов

Анализ причин низкой наработки на отказ насосного
оборудования объекта с высоковязкой нефтью пер-
мо-карбоновой залежи 157

D.A. Ivanov

Analysis of the reasons for low mean time between
failures of pumping equipment at a high-viscosity
permo-carbon oil deposit 158

Обзорная статья
УДК 622.257.12
<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.1>

ТАМПОНАЖНЫЙ РАСТВОР С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА (CO₂)

Альберт Айратович Залятдинов^{1*},
Екатерина Алексеевна Егорова²,
Лейсан Ринасовна Тимергалиева³,
Танзиля Мунировна Фаздалова⁴

- 1, 2, 3, 4 Альметьевский государственный технологический университет
(д. 186а, ул. Советская, Альметьевск, 423450, Российская Федерация)
¹ zalyatdinovaa@agnti-rt.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8466-9013>
² katusha.egorova.04@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-9324-7089>
³ t1mleysan1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4549-530X>
⁴ fazdalovat@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-2158-5218>
* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Изменение климата наблюдается во всех регионах планеты, причем этот процесс становится все более интенсивным, а некоторые из возникших тенденций уже необратимы, во всяком случае, на данном этапе. Однако в силах человечества ограничить масштабы изменения климата, существенно сократив выбросы в атмосферу вредных веществ, в том числе парниковых газов, можно в короткие сроки значительно улучшить качество воздуха и стабилизировать глобальную температуру. Объектом исследования является процесс закачки углекислого газа в цемент, применяемый для тампонажа нефтяных и газовых скважин. Исследование построено на анализе актуальности проекта декарбонизации в нефтегазовой отрасли, существующих технологий цементирования скважин, а также методов производства бетона с использованием углекислого газа. В ходе работы определены две гипотезы закачки углекислого газа в цемент, основанные на базовом методе цементирования: смешивание CO₂, воды и цемента по отдельности и цемента с водой сразу с CO₂. По итогам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что разработка и внедрение данных технологий имеет потенциал для существенного снижения выбросов парниковых газов, что способствует достижению целей устойчивого развития.

Ключевые слова:

цементирование скважин, тампонажный раствор, углеродные технологии, CO₂, устойчивое развитие, зеленые технологии, бетон, изменение климата, чистые технологии, цемент, экологичное строительство
Залятдинов А. А., Егорова Е. А., Тимергалиева Л. Р., Фаздалова Т. М. Тампонажный раствор с добавлением углекислого газа (CO₂) // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 9–24. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.1>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.07.2024;
одобрена после рецензирования 15.09.2024;
принята к публикации 20.09.2024.

1.6.11. Geology, Prospecting and Exploration of Oil and Gas Fields (Geological and Mineralogical Sciences)

Review article

Grouting solution with carbon dioxide (CO₂)

**Albert A. Zalyatdinov^{1*},
Ekaterina A. Egorova²,
Leysan R. Timergalieva³,
Tanzilya M. Fazdalova⁴**

^{1, 2, 3, 4} Almet'yevsk State Technological University (186a, Sovetskaya St., Almet'yevsk, 423450, Russian Federation)

¹ zalyatdinovaa@agni-rt.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8466-9013>

² katusha.egorova.04@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-9324-7089>

³ t1mleysan1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4549-530X>

⁴ fazdalovat@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-2158-5218>

* Corresponding author

Abstract.

Climate change is observed in all regions of the planet. This process is becoming more intense, and some of the emerging trends are already irreversible, at least at this stage. However, it is within the power of humanity to limit the scale of climate change, significantly reducing emissions of harmful substances into the atmosphere, including greenhouse gases, it is possible to considerably improve air quality and stabilize global temperatures in a short time. The object of the study is the process of pumping carbon dioxide into cement used for grouting oil and gas wells. The study is based on the analysis of the relevance of the decarbonization project in the oil and gas industry, existing well cementing technologies, as well as methods of concrete production with carbon dioxide. In the course of the work, two hypotheses for injecting carbon dioxide into cement were identified. They use the basic method of cementing: mixing CO₂, water and cement separately and cement with water immediately with CO₂. Based on the results of the study, it can be concluded that the development and implementation of these technologies has the potential to significantly reduce greenhouse gas emissions, which contributes to the achievement of sustainable development goals.

Keywords: well cementing, grouting solution, carbontech, CO₂, sustainability, Greentech, concrete, climate change, cleantech, cement, greenbuildings

For citation: Zalyatdinov AA, Egorova EA, Timergalieva LR, Fazdalova TM. Grouting solution with carbon dioxide (CO₂). Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):9-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.1>

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

The article was submitted 09.07.2024;
approved after reviewing 15.09.2024;
accepted for publication 20.09.2024.

Введение

Цемент – вяжущее вещество, которое выступает в качестве основного компонента бетона, строительной стяжки и раствора, подходящее для широкого применения. Это вещество является одним из наиболее распространенных строительных материалов во всём мире. Ежегодно в мире выпускают более 4 млрд тонн цемента, только на его производство приходится 8 % мирового объема выбросов углекислого газа (CO₂). [3] Загрязнение атмосферы при производстве цемента происходит при обжиге известняка, т. е. сырьё нагревают в печах с температурой выше 1400°C, в результате чего углерод, который содержится в породе, соединяется с кислородом, образуя CO₂ [4].

Топливные источники используются для обогрева цементных печей, приводя к выбросам диоксида углерода. Для транспортировки сырья и готовой продукции используются автотранспортные средства, работающие на топливе, что дополнительно способствует выбросам CO₂ в атмосферу. Увеличение содержания углекислого газа в глобальном масштабе ведёт к повышению газоизоляции во всем мире, вызывая глобальное потепление. Это приводит к изменению среднего уровня океанов, изменению климатических условий и режима осадков.

Ученые всего мира работают над способами сокращения выбросов этого газа и замедления процесса изменения климата. Например, в процессе изготовления строительного бетона, в который добавляется углекислый газ, тем самым увеличивая прочность.

Материалы и методы исследований

В качестве информационных источников использованы данные из научных публикаций и патентов, информации от ведущих компаний (CarbonCure Technologies, Solidia Technologies и др.), занимающихся разработкой технологий улавливания и хранения CO₂, применяемые в производстве бетона, а также результаты исследований, проводимых в лабораторно-исследовательском комплексе АГТУ-ВШН.

Результаты исследований и их обсуждение

Технология цементирования скважин. Цементирование скважины – это важный этап, который проводится после завершения бурения нефтяных и газовых скважин. Эта технология позволяет создать прочную и надежную защиту стенок скважины, предотвращая проникновение нефти, газа или воды из соседних пластов. Кроме того, цементирование также служит основой для установки обсадных колонн и обеспечивает стабильность и надежность работы скважины на протяжении всего ее срока эксплуатации.

Одной из ключевых задач цементирования является создание герметичного затвердевшего цементного кольца между стенками скважины и обсадной колонной. Для достижения этой цели используется тампонажный раствор.

Тампонажный раствор – это смесь, приготовленная на основе порошка цемента, воды и различных добавок. С течением времени смесь затвердевает и образует тампонажный камень или загустевает, упрочняется, оставаясь вязкой или вязко-пластичной системой. Правильное составление раствора, а также правильная техника его закачки играют решающую роль в успешном выполнении операции по цементированию скважины.

Процесс цементирования скважин состоит из последовательных этапов: для начала в смесительных машинах готовится тампонажная цементная смесь с необходимым водоцементным соотношением и количеством добавок. После этого готовый к заливке раствор подается в скважину, и запускается процедура его вытеснения в пространство между трубами и стенами скважины. Схема представлена по рисунку 1. По окончанию ожидается период полного застывания. Затем производится контроль качества.

Цементирование скважины имеет несколько целей. Прежде всего, оно обеспечивает герметичность скважины, предотвращает проникновение жидкости и газа из одного пласта в другой, а также обеспечивает защиту оборудования от коррозии и сохранение целостности скважины на протяжении всего периода эксплуатации.

Технология производства бетона с углекислым газом. Улавливание и хранение CO_2 – это новая и перспективная технология, пока ещё не внедренная в промышленном масштабе производства бетона, но имеющая большой потенциал, например:

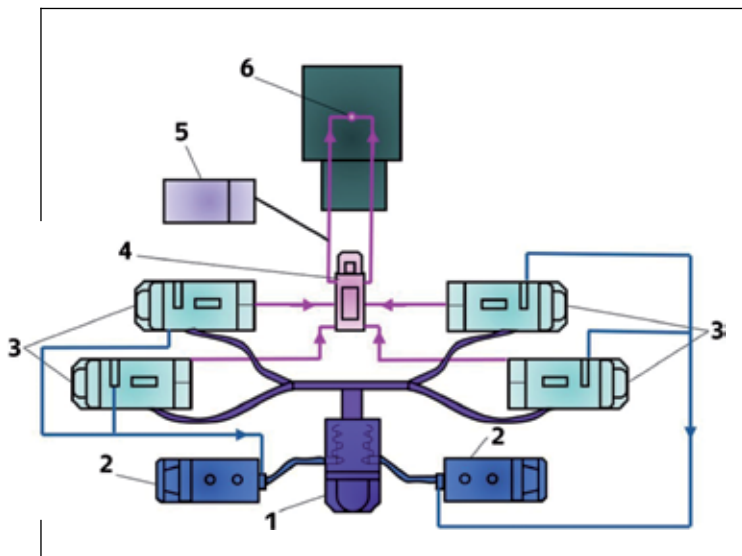


Рис. 1.

Схема цементирования скважин. 1 – установка осреднительная; 2 – смесительная машина; 3 – цементировочный агрегат (емкости с водой и цементом); 4 – блок манифольда; 5 – станция контроля цементирования; 6 – цементировочная головка.

Fig. 1. The scheme of cementing wells. 1 – averaging unit; 2 – mixing machine; 3 – cementing unit (containers with water and cement); 4 – manifold block; 5 – cementing control station; 6 – cementing head.

Источник:

составлено авторами.

Source:

compiled by the authors.

- Канадская компания CarbonCure Technologies разработала инновационную технологию, позволяющую выпускать бетон из диоксида углерода. За счет связывания углекислого газа, применение данной технологии делает возможным снизить вредные выбросы и в то же время производить новейшие и более качественные строительные материалы [5];
- Команда междисциплинарных исследователей из Лос-Анджелеса (США) работает над уникальным решением. В их планах – создание замкнутого процесса, включающего захват углерода на трубах электростанций.

тростанций и его использование при создании нового строительного материала – углекислбетона CO₂NCRETE (англ. «concrete» – бетон) – с использованием технологий 3D-печати [6];

- Оригинальную технологию предложили инженеры из Solidia Technologies (США) – использование CO₂ при производстве материалов с новыми свойствами, например, быстросхватывающихся бетонов. Этот метод позволяет использовать те же производственные линии, что и при приготовлении бетона из портландцемента, а уменьшение выбросов диоксида углерода снижается на 30 % [7, 8];
- Сотрудники американского Университета Пердью сумели увеличить способность бетона поглощать углекислый газ из атмосферы. Они предложили смешивать диоксид титана с цементным раствором. Диоксид титана уменьшает размер молекул гидроксида кальция, что позволяет увеличить объем поглощаемого углекислого газа. Оказалось, что добавление диоксида титана увеличило абсорбцию бетона почти в два раза [9];
- В новом исследовании ученые из Токийского университета (Япония) и сотрудники других исследовательских институтов разработали процесс, который снижает воздействие бетона на окружающую среду. Процесс начинается с приготовления раствора бикарбоната кальция, состоящего из известнякового порошка, а также деионизированной воды и углекислого газа. В итоге получается блок для строительства из нового материала, который команда назвала карбонатным кальциевым бетоном [10].

На данный момент в лабораторно-исследовательском комплексе АГТУ-ВШН проводятся эксперименты по закачке углекислого газа в бетон [1, 2]. Исследования выявили, что при перемешивании бетона с CO₂ под давлением в 10 атмосфер обеспечи-

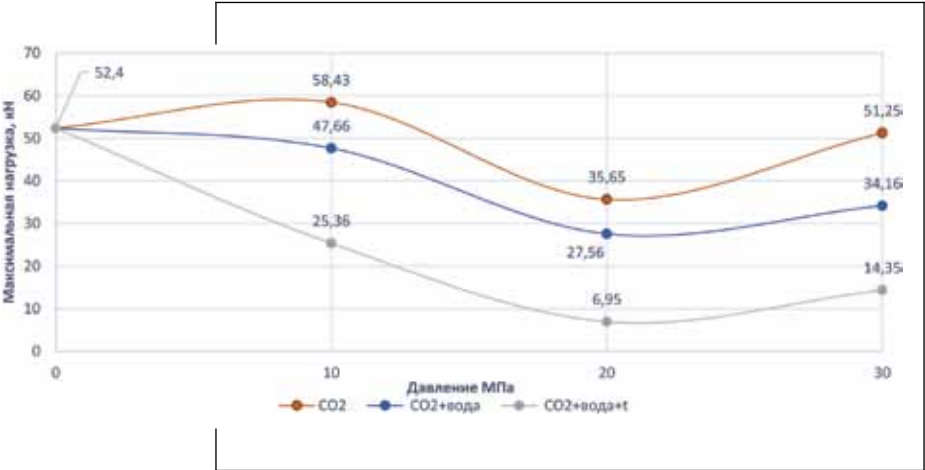


Рис. 2. Результаты испытаний образцов на сжатие.

Источник:
Source:

Fig. 2. Results of compression testing of samples.
составлено по данным [1, 2].
compiled according to data [1, 2].

вает максимальное улучшение прочности. Однако при более высоких давлениях, 20 атмосфер и выше, прочностные показатели бетона начинают ухудшаться. Результаты экспериментов по влиянию давления CO₂ на прочность бетона представлены на рисунках 2 и 3. Предлагаемый метод обработки бетонных изделий с использованием углекислого газа позволяет повысить их прочностные характеристики по сравнению с традиционными технологиями. Дальнейшее изучение оптимальных параметров давления CO₂ позволит наиболее эффективно реализовать данный метод в производстве.

Новый процесс считается значимым на пути к снижению воздействия бетона на окружающую среду, но требует дальнейшей работы над повышением прочности. Улавливание и использование CO₂ в производстве бетона демонстрирует потенциал для сокращения выбросов парниковых газов и создания экологически чистых строительных материалов.

Предлагаемая гипотеза. На основе ранее рассмотренных технологий, предлагается 2 варианта использования углекислого газа в тампонажном растворе для внедрения на производстве.

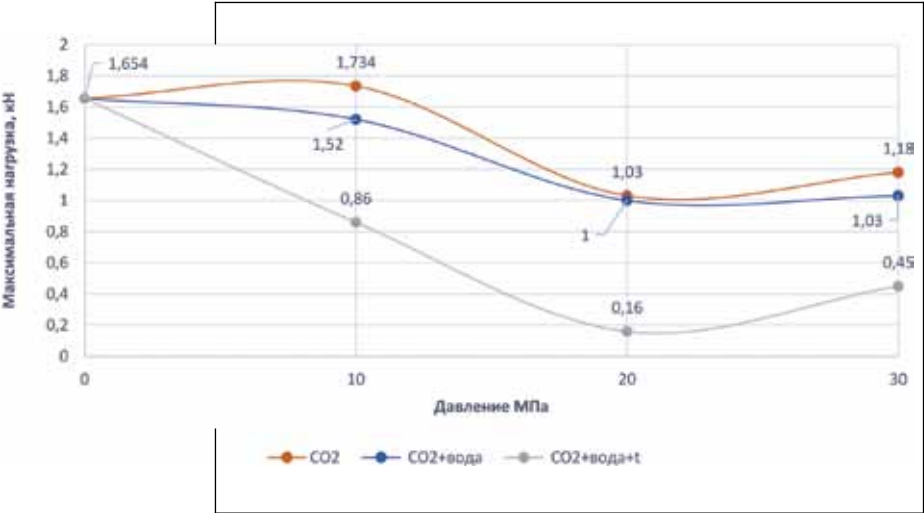


Рис. 3. Результаты испытаний образцов на изгиб.
Fig. 3. Results of bending tests of samples.
Источник: составлено по данным [1, 2].
Source: compiled according to data [1, 2].

Первый вариант предполагает смешивание трех основных компонентов – углекислого газа, воды и цемента – непосредственно на производственной площадке. Схема данного процесса представлена на рисунке 4.

Преимущество этого подхода заключается в том, что приготовление раствора непосредственно на месте работ позволяет более точно контролировать пропорции компонентов и обеспечивает надлежащее качество смеси. Доставка ингредиентов по отдельности дает большую гибкость в управлении процессом и возможность оперативно реагировать на изменяющиеся условия на объекте. Это повышает надежность и эффективность всей операции по креплению скважины.

Второй вариант технологии основывается на базовом варианте цементирования скважины. Отличается тем, что емкость с водой заменяется на воду, изначально насыщенную углекислым газом. Смешивание воды и углекислого газа является химическим процессом, в ходе которого CO₂ растворяется в воде. Это позволяет ис-

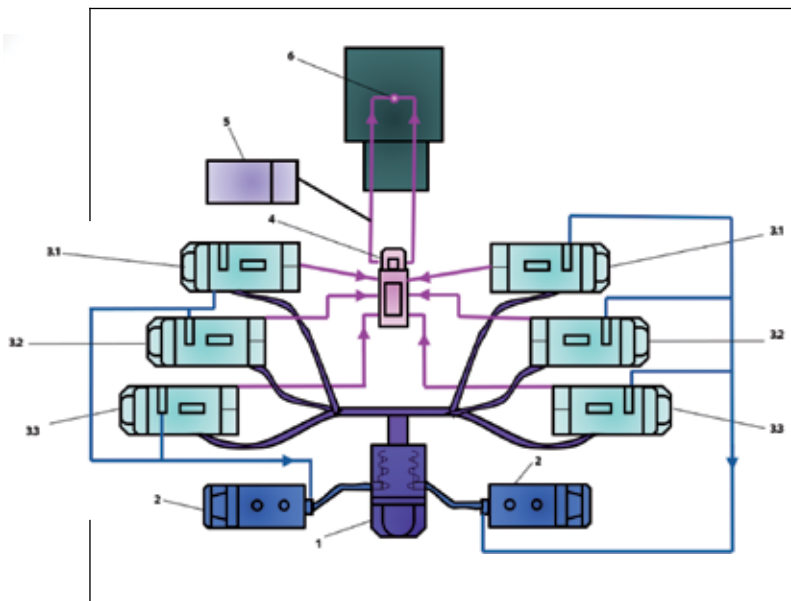


Рис. 4.

Схема приготовления тампонажного раствора с углекислым газом, воды и цемента. 1 – установка осреднительная; 2 – смесительная машина; 3.1 – емкость с углекислым газом; 3.2 – емкость с водой; 3.3 – емкость с цементом; 4 – блок манифольда; 5 – станция контроля цементирования; 6 – цементирующая головка.

Fig. 4. The scheme of preparation of a grouting solution with carbon dioxide, water and cement. 1 – averaging unit; 2 – mixing machine; 3.1 – container with carbon dioxide; 3.2 – container with water; 3.3 – container with cement; 4 – manifold block; 5 – cementing control station; 6 – cementing head.

Источник:
Source:

составлено авторами.
compiled by the authors.

пользовать данную технологию более эффективно по сравнению с первым вариантом, когда вода и CO_2 закачивались по отдельности. Преимущество второго варианта заключается в том, что мы полностью растворяем углекислый газ в воде и минимизируем риск образования пустот в скважине [11].

Предложенные гипотезы хоть и имеют ряд преимуществ, но также обладают недостатком, который необходимо учитывать при

внедрении в производство. Этим основным минусом является коррозия труб. Суть процесса заключается в следующем: при смешивании воды и углекислого газа происходит химическая реакция, в ходе которой углекислый газ не только растворяется в воде, но и образует карбоновую кислоту. Данная кислота в свою очередь оказывает агрессивное воздействие на традиционные железные трубы, вызывая их ускоренную коррозию и разрушение.

Для решения этой проблемы предлагается использование в качестве альтернативы не стандартные железные трубы, а стеклопластиковые. Стеклопластик является более устойчивым к воздействию агрессивной карбоновой кислоты и будет лучше противостоять процессам коррозии. Это позволит значительно продлить срок службы обсадной колонны и снизить затраты на их ремонт в процессе эксплуатации [12].

Заключение

Процесс внедрения углекислого газа в изготовление тампонажного раствора представляет собой технологию, где углекислый газ добавляется к обычному раствору, что может привести к повышению прочности и улучшению других характеристик продукта.

В ходе изучения зарубежных исследований, в частности, экспериментов, проведенных группы ученых в Канаде, США и Японии, было выявлено, что закачка углекислого газа положительно влияет на параметры цемента. Эти результаты подтверждаются и экспериментами, проведенными в лабораторно-исследовательском комплексе Альметьевского государственного технологического университета, а именно показатели предела прочности образцов цемента с добавлением углекислого газа на сжатие и изгиб.

Два рассмотренных варианта – добавление углекислого газа и воды напрямую в цемент и смешивание углекислого газа с водой для последующего добавления – имеют свои плюсы и минусы. Однако в ходе сравнения можно увидеть, что второй вариант, смешивание углекислого газа с водой, может быть более эффективным. Это может быть связано с лучшим равномерным распределением газа в растворе и, как следствие, более высокой прочностью.

Для получения более точных результатов и ответа на вопрос об эффективности данного процесса необходимо провести дополнительные лабораторные исследования и дальнейшие опытно-промышленные работы.

Осознавая актуальность экологических проблем, важно подчеркнуть, что внедрение технологии добавления углекислого газа в цемент, хотя и не получило широкого распространения в России, обладает огромным потенциалом для снижения выбросов CO₂ и уменьшения парниковых эффектов.

Мы считаем, что популяризация этой технологии в России станет важным шагом на пути к более экологичному и устойчивому производству. Дальнейшие исследования и разработка новых, более эффективных методов внедрения углекислого газа в производство тампонажных растворов, безусловно, будут способствовать развитию экологически чистых технологий в нефтегазовой отрасли.

Список источников

1. Залятдинов А. А., Садреева Р. Х., Закирова Р. Ф. Утилизация углекислого газа при эксплуатации бетоноперемешивающего устройства под давлением // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 3 (143). С. 164–172.
2. Залятдинов А. А., Садреева Р. Х., Закирова Р. Ф. Исследование альтернативных методов применения диоксида углерода при производстве бетона // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 165–173.
3. Lehne J., Preston F. Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. 2018. 122 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston.pdf> (дата обращения: 14.05.2024).
4. Ахметова В. Р., Смирнов О. В. Улавливание и хранение диоксида углерода – проблемы и перспективы // Башкирский химический журнал. 2020. № 3. С. 103–115. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ulavlivanie-i-hranenie-dioksida-ugleroda-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 14.05.2024).

5. Вакуров А. Е., Абросимов И. П. Описание и преимущества технологии производства бетона из диоксида углерода в строительстве // Бюллетень науки и практики. 2018. № 8. С. 148–153. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-i-preimuschestva-tehnologii-proizvodstva-betona-iz-dioksida-ugleroda-v-stroitelstve> (дата обращения: 14.05.2024).
6. Global Construction Review (GCR). Carbon Upcycling: Turning CO₂ into a New, Sustainable CO₂NCRETE, Interdisciplinary research team at UCLA discovers a game-changing technology to capture and repurpose carbon dioxide. [Electronic resource]. URL: <https://www.globalconstructionreview.com> (accessed: 14.05.2024).
7. α-БЕТОН, группа компаний «АЛЬФА». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.a-beton.com/> (дата обращения: 18.05.2024).
8. Дмитриева Е. А., Кузнецов А. В., Потапова Е. Н. Влияние термоактивированных сульфатом алюминия глин на прочность портландцемента // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXV, Y78 №4 (239). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2021. С. 30–33.
9. UCLA Luskin School of Public Affairs. Carbon Upcycling: Turning CO₂ into a New, Sustainable CO₂NCRETE. [Electronic resource]. URL: <https://luskin.ucla.edu/> (accessed: 18.05.2024).
10. Science Direct. Construction and Building Materials. Modification of CO₂ capture and pore structure of hardened cement paste made with nano-TiO₂ addition: Influence of water-to-cement ratio and CO₂ exposure age. [Electronic resource]. URL: <https://luskin.ucla.edu/> (accessed: 18.05.2024).
11. Любомирский Н. В., Бахтин А. С., Бахтина Т. А., Николаенко Е. Ю., Николаенко В. В. Влияние гидрокарбоната кальция на структурообразование и свойства материалов на основе извести карбонизационного твердения // МНИЖ. 2016. № 11–4 (53). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gidrokarbonata-kaltsiya-na-struktureobrazovanie-i-svoystva-materialov-na-osnove-izvesti-karbonizatsionnogo-tverdeniya> (дата обращения: 29.05.2024).
12. National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information. Investigation of Erosion/Corrosion Behavior

of GRP under Harsh Operating Conditions. [Electronic resource]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (accessed: 29.05.2024).

References

1. Zalyatdinov AA, Sadreeva RH, Zakirova RF. Carbon dioxide utilization of by pressurized concrete mixer. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023;3(143):164-172. (In Russ.).
2. Zalyatdinov AA, Sadreeva RH, Zakirova RF. Investigation of alternative methods of using carbon dioxide in the production of concrete. Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023;2(142):165-173. (In Russ.).
3. Lene J, Preston F. Introduction of innovations in the production of low-carbon cement and concrete. 2018. 122 p. Available from: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/research/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston.pdf> [Accessed 14 May 2024].
4. Akhmetova VR, Smirnov OV. Carbon dioxide capture and storage – problems and perspectives. Bashkir chemical journal. 2020;(3):103-115. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/ulavlivanie-i-hranenie-dioksida-ugleroda-problemy-i-perspektivy> [Accessed 14 May 2024]. (In Russ.).
5. Vak AE, Abrosimov IP. Description and use of technologies for the production of concrete from carbon dioxide in the state. Bulletin of Science and Practice. 2018;8:148-153. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/opisanie-i-preimuschestva-tehnologii-proizvodstva-betona-iz-dioksida-ugleroda-v-stroitelstve> [Accessed 14 May 2024]. (In Russ.).
6. Global Construction Review (GCR). Carbon Dioxide Recycling: Converting CO₂ into new, environmentally friendly CO₂ CONCRETE An interdisciplinary research group at the University of California, Los Angeles has discovered a fundamentally new technology for carbon dioxide capture and reuse. Available from: <https://www.globalconstructionreview.com> [Accessed 14 May 2024].
7. α-CONCRETE, ALFA group of companies. Available from: <https://www.a-beton.com/> [Accessed 18 May 2024]. (In Russ.).
8. Dmitrieva EA, Kuznetsov V, Potapova EN. Influence of thermally activated clays with aluminum sulfate on the strength of

- Portland cement. Successes in chemistry and chemical technology: collection of scientific tr. Vol. XXXV, Y78 No. 4 (239). Moscow: D. I. Mendeleev Russian Technical University; 2021. P. 30-33. (In Russ.).
9. Luskin School of Public Relations at the University of California at Los Angeles. Carbon Upcycling: Turning CO₂ into a New, Sustainable CO₂NCRETE. Available from: <https://luskin.ucla.edu/> [Accessed 18 May 2024].
 10. Science Direct. Construction and building materials. Modification of CO₂ capture and pore structure of hardened cement paste made with the addition of nano-TiO₂: the effect of the ratio of water and cement and the duration of exposure to CO₂. Available from: <https://luskin.ucla.edu/> [Accessed 18 May 2024].
 11. Lyubomirsky NV, Bakhtin AS, Bakhtina TA, Nikolaenko EYu, Nikolaenko VV. The effect of calcium bicarbonate on structure and properties of materials based on lime carbonizing hardening. MNIZH. 2016. No. 11-4 (53). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-gidrokarbonata-kaltsiya-na-strukturoobrazovanie-i-svoystva-materialov-na-osnove-izvesti-karbonizatsionnogo-tverdeniya> [Accessed 29 May 2024]. (In Russ.).
 12. National Medical Library. National Center for Biotechnological Information. Investigation of Erosion/Corrosion Behavior of GRP under Harsh Operating Conditions. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> [Accessed 29 May 2024].

Информация об авторах

Альберт Айратович Залятдинов — кандидат технических наук, начальник Центра научно-технических исследований, доцент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Альметьевского государственного технологического университета, Researcher ID: JYQ-3937-2024.

Екатерина Алексеевна Егорова — студент Альметьевского государственного технологического университета, Researcher ID: KVB-1993-2024.

Лейсан Ринасовна Тимергалиева — студент Альметьевского государственного технологического университета, Researcher ID: KVB-1934-2024.

Танзиля Мунировна Фаздалова — студент Альметьевского государственного технологического университета, Researcher ID: KVB-1979-2024.

Вклад авторов

Альберт Айратович Залятдинов. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Екатерина Алексеевна Егорова. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне. Проведение сравнительного анализа результатов эксперимента с данными зарубежных ученых.

Лейсан Ринасовна Тимергалиева. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне. Составление списка литературы и подготовка иллюстраций.

Танзиля Мунировна Фаздалова. Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне. Сбор информации по теме исследования, включая поиск и анализ научных публикаций, обзоры рынка и данные о существующих технологиях.

Information about the authors

Albert A. Zalyatdinov — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Center for Scientific and Technical Research, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Drilling, Almet'yevsk State Technological University, Researcher ID: KVB-1993-2024.

Ekaterina A. Egorova — student, Almet'yevsk State Technological University, Researcher ID: KVB-1993-2024.

Leysan R. Timergaliev — student, Almet'yevsk State Technological University, Researcher ID: KVB-1934-2024.

Tanzilya M. Fazdalova — student, Almet'yevsk State Technological University, Researcher ID: KVB-1979-2024.

Contribution of the authors

Albert A. Zalyatdinov. Conducting a study is the collection, interpretation and analysis of the data obtained. 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.

Ekaterina A. Egorova. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design. Conducting a comparative analysis of the results of the experiment with the data of foreign scientists.

Leysan R. Timergalieva. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design. Compiling a list of references and preparing illustrations.

Tanzilya M. Fazdalova. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design. Collecting information on the research topic, including the search and analysis of scientific publications, market reviews and data on existing technologies.

Научная статья

УДК 336.76

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.2>

НЕФТЕГАЗОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ И СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИРАКА НА БАЗЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Владимир Михайлович Харченко¹,
Али Аль-Хасрачи²,
Татьяна Витальевна Ибрагимова^{3*},
Алина Евгеньевна Неркаряян⁴

^{1, 2, 3, 4} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 16/1, пр. Кулакова, Ставрополь, 355035, Российская Федерация)

¹ vkharchenko@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4913-3448>

² engineer.ali.jabbar1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-8993-9599>

³ tlogvinova@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5159-5767>

⁴ adomareva@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3813-8286>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Для повышения эффективности разработки месторождений углеводородов (УВ) и проектирования геолого-технологических мероприятий на основе доступных данных, целесообразно изучение не только геологических условий залежей и месторождений нефти и газа, но и геодинамических условий. Стоит отметить, что при поисках и разведке месторождений УВ на территории исследования, геодинамические условия ранее практически не учитывались, ввиду отсутствия как теоретической базы, так и надежной методологии. Объектом исследования служат геодинамические условия территории Ирака и прилегающих государств. Исследование было проведено на предмет выявления наиболее перспективных участков для разработки месторождений УВ на основе нефтегазogeологического районирования. Методология исследования основана на известных методах групповой геологической съемки, системно-аэрокосмических методах в комплексе с геофизическими методами и практически неизвестных методах геодинамического анализа, рудонефтегазogeологического районирования, структурно-метрического метода и метода интерпретации структур центрального типа и линейных элементов с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения (разряжения), зон интерференции и субвертикальных зон деструкции. Исходными материалами для проведе-

ния научных исследований в первую очередь являются космические снимки различных масштабов, физико-географические карты, топографические карты, структурные карты и карты сейсмической активности, а также карты дебитов эксплуатационных скважин или накопленной добычи нефти и газа. В работе приведены краткие комментарии к составленным разномасштабным картам-схемам, к которой приурочена территория Ирака и выявленным перспективным площадям на предмет поисков, разведки и даже разработки месторождений полезных ископаемых (особенно нефти и газа) и конкретным местам возможных катастрофических землетрясений.

Ключевые слова:

тектогенез, плюмтекtonика, блоктектоника, геосолитоны, структуры центрального типа, очаг землетрясения, зоны сжатия, зоны разряжения, суперрезонансные зоны, Ирак

Для цитирования:

Харченко В. М., Аль-Хасрахи А., Ибрагимова Т. В., Неркаряна А. Е. Нефтегазogeологическое и сейсмическое районирование территории Ирака на базе инновационных технологий использования космической съемки // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 25–48. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.2>

Конфликт интересов: один из авторов статьи — доктор геолого-минералогических наук, профессор Харченко Владимир Михайлович является членом редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.06.2024;
одобрена после рецензирования 10.09.2024;
принята к публикации 17.09.2024.

1.6.11. **Geology, Prospecting and Exploration of Oil and Gas Fields
(Geological and Mineralogical Sciences)**
Research article

Oil, gas, geological and seismic zoning of the territory of Iraq based on innovative technologies of space photography

**Vladimir M. Kharchenko¹,
Ali Al-Hasrachi²,
Tatiana V. Ibragimova^{3*},
Alina E. Nerkarayan⁴**

^{1, 2, 3, 4} North-Caucasus Federal University (16/1, Kulakova Ave., Stavropol, 355035, Russian Federation)

¹ vkharchenko@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4913-3448>

² engineer.ali.jabbar1@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-8993-9599>

³ tlogvinova@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5159-5767>

⁴ adomareva@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3813-8286>

* Corresponding author

Abstract.

In order to increase the efficiency of hydrocarbon (HC) field development and design of geological and technological activities based on available data, it is advisable to study not only the geological conditions of oil and gas deposits and fields, but also the geodynamic conditions. It is worth noting that during the search and exploration of HC fields in the study area, geodynamic conditions were previously practically not taken into account, due to the lack of both a theoretical basis and a reliable methodology. The research studies the geodynamic conditions of the territory of Iraq and the adjacent states. The study was conducted to identify the most promising areas for the development of HC fields based on oil and gas geological zoning. The research methodology is based on well-established methods of group geological survey, system-aerospace methods in combination with geophysical methods and virtually unknown methods of geodynamic analysis, ore-oil-and-gas-geological zoning, structural-metric method and method of interpretation of central-type structures and lineaments with allocation of geodynamic centers, compression and extension (vacuum) zones, interference zones and subvertical destruction zones. The initial materials for conducting scientific research are primarily space images of various scales, physical-geographical maps, topographic maps, structural maps and seismic activity maps, as well as flow rate maps of production wells or cumulative oil and gas production. The work provides brief comments on the compiled multi-scale maps-schemes, to which the territory of Iraq is confined and the identified promising areas for prospecting, exploration and even development of mineral deposits (especially oil and gas) and specific locations of possible catastrophic earthquakes.

Keywords:

tectogenesis, plume tectonics, block tectonics, geosolitons, central type structures, earthquake source, compression zones, rarefaction zones, super-resonant zones, Iraq

For citation:

Kharchenko VM, Al-Hasrachi A, Ibragimova TV, Nerkararyan AE. Oil, gas, geological and seismic zoning of the territory of Iraq based on innovative technologies of space photography. *Science. Innovations. Technologies.* 2024;(3):25-48. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.2>

Conflict of interest:

one of the authors of article — Vladimir M. Kharchenko, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), 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 28.06.2024;

approved after reviewing 10.09.2024;

accepted for publication 17.09.2024.

Введение

Нефтегазовая отрасль в Ираке и многих странах мира является основной для развития экономики и благосостояния страны. На многочисленных месторождениях нефти и газа неизбежное истощение запасов очевидно, поэтому выявление перспектив новых месторождений и доразведки старых является актуальной задачей. Не менее важным вопросом является и выявление территорий с риском катастрофических землетрясений, которые в последнее время проявились на территории соседних государств (Турция, Сирия, Иран), поэтому составление карт нефтегазogeологического и сейсмического районирования является наиболее актуальной задачей. Территория Ирака не только известна богатством нефти и газа, но и находится в зоне риска катастрофических землетрясений, которых она избежала, по нашему мнению, благодаря массовой добычи нефти и газа.

Материалы и методы исследований

В настоящее время, несмотря на значительные успехи в развитии геологических наук и получении практических результатов по открытию многочисленных месторождений УВ и других полезных ископаемых, реальной научной теории, в которой бы не было противоречий (по критерию В.В. Белоусова) практически не существует. В конце 20-го века на роль ведущей теории или даже парадигмы стала претендовать известная концепция или даже теория тектоники плит, которая основывалась на идее преобладания горизонтальных движений в геологических процессах и ряде других постулатов (жесткости литосферных плит, круговых мантийных движений и т.д.), которые в последнее время подвергаются серьезной критике не только геологами, но даже географами и геодезистами. Несмотря на некоторые успехи этой теории, особенно в объяснении некоторых тектонических процессов в океанах, эта концепция или вернее гипотеза имеет целый ряд серьезных противоречий и не выдерживает никакой критики, поэтому актуальной задачей является не только критика неудавшейся теории-парадигмы, но и разработка новой концепции или даже теории, которая бы отвечала всем критериям и, самое главное, позволяла не только объяснять основные причины тектогенеза и прогноза залежей полезных ископаемых, но и даже нахо-

дить пути по предотвращению негативных геологических процессов, в частности катастрофических землетрясений.

О рождении новой, именно ротационной теории, свидетельствуют многочисленные публикации в конце 20-го, начале 21-го века известных и малоизвестных ученых (Харченко В.М. и др.) где особую роль в тектогенезе отводится режиму вращения Земли [1]. В этом отношении нужно отдать должное известному ученому Л. Эйлеру, современнику М.В. Ломоносова, который впервые высказал утверждение, что глобальная рифтовая система на поверхности Земли образовалась в результате изменения ее скорости вращения. Как известно, сторонники популярной тектоники плит положили в основу своей теории теорему Эйлера и систему рифтов для выделения на земной поверхности основных литосферных плит на планете в том числе и полюс Эйлера в Гренландии, относительно которого якобы раздвигались части бывшего суперконтинента Пангеи с образованием впоследствии Африканского и Южноамериканского континентов. Надо признать, что выделение литосферных плит вполне реально, а вот их горизонтальное перемещение на сотни и тысячи километров вызывает большое сомнение и явно противоречит известным законам физики.

Предлагаемая теория базируется на известных фундаментальных особенностях Вселенной, Солнечной системы и, в частности, планеты Земля, законах физики и философии, математических расчетах и геометрических построениях.

Фундаментальными особенностями во Вселенной и на Земле в частности в форме процессов и структур в земной коре являются: 1) вращение, 2) колебательные движения, 3) цикличность, 4) нелинейность, 5) линеаменты (блоктектоника), 6) структуры центрального типа (СЦТ) и их разновидность — структуры растяжения (СР) — рингтектоника, 7) фрактальность (подобие структур и процессов) [2].

Известные и малоизвестные законы физики являются базовыми для понимания и подтверждения различных природных процессов и явлений как во Вселенной, так и на Земле в частности. Приводится целый ряд законов, которые в той или иной мере используются в излагаемой ротационной теории тектогенеза.

- 1) Закон турбулентности $T = v\alpha/\eta$, где T — турбулентность, v — скорость движения вещества, α — расстояние до смены сред, η — вязкость. Таким образом,

чем меньше вязкость, тем сильнее турбулентность, что наглядно видно на космических снимках Земли и других планет солнечной системы в виде вихревых структур в атмосфере, гидросфере и даже литосфере. Важно отметить, что Галактика в целом представляет собой спиралевидную или вихревую структуру, образованную согласно закону турбулентности.

- 2) Закон Эйнштейна: $E = mc^2$ (закон превращения массы в энергию) используется для конкретного расчета энергии для реализации ее в процессе тектогенеза (А.Ф. Лопатин).
- 3) Закон изостазии.
- 4) Закон цикличности и понятие цикла, как законченного процесса. Закон цикличности гласит: ритмы в циклах, а циклы — ритмичны. Он позволит прогнозировать законченные процессы (циклы), в частности — катастрофические землетрясения, составляя графики-циклограммы (распределение катастрофических землетрясений во времени). Наглядным примером является 28-дневный цикл, 11-летние солнечные циклы, 170 млн лет — циклы Бертрана и т.д.
- 5) Закон скалывающих напряжений в разделе сопромата физики. Наглядным примером структуры центрального типа являются вулканы. Очаг землетрясения нами трактуется как гидроразрыв пласта, подобно известному методу ГРП при добыче нефти, за исключением того, что в природе флюиды действуют на пласты снизу-вверх. Этот закон позволяет по размеру радиусов структур центрального типа определить глубины до геолого-геофизических неоднородностей [3].
- 6) Законы термодинамики, которые имеют такой же статус, как и закон превращения массы в энергии.
- 7) Закон инерции масс.

Планета Земля, как основной объект исследования, по представлениям В.В Белоусова и впоследствии В.Е. Хаина является своеобразной тепловой машиной, а нами дополняется еще как

атомный реактор, природный электрофильтр-пылеуловитель, природный сепаратор, полигональный кристалл, информационная система и даже живой организм.

Что же является источником энергии для работы этой своеобразной «машины»? В порядке приоритетности перечисляются уже известные и признанные источники энергии: энергия радиоактивного распада, остаточное тепло, энергия при дифференциации вещества по плотности, превращение кинетической энергии в потенциальную при падении метеоритов и других космических тел и, наконец, энергия приливов в первую очередь Луны, Солнца и других планет. Из перечисленных источников энергии ни один не объясняет цикличность процессов, в том числе и энергия радиоактивного распада, которая является наиболее приоритетной в объяснении тектогенеза. Этот «пробел» нами восполняется практически неизвестной релятивистской энергией (по А. Ф. Лопатину), которая, согласно известному закону Эйнштейна $E = mc^2$, высвобождается при изменении скорости вращения Земли и Солнечной системы вокруг центра галактики от 438 км/сек до нуля. А.Ф. Лопатин приводит математические расчеты и показывает реальные цифры этой энергии, которые свидетельствуют о приоритете этого источника энергии в тектогенезе Земли (на порядок выше, признанной как фикситами так и мобилистами, энергии радиоактивного распада), тем более, он объясняет и цикличность данного процесса тектогенеза, исходя из данных об изменении скорости вращения Земли и Солнечной системы вокруг центра Галактики [4].

Исходя из этих представлений об идее изменения скорости вращения, нами представляется более наглядная версия образования энергии путем проворота или проскальзывания различных по плотности оболочек Земли. В первую очередь — это границы внутреннего и внешнего ядра (5 100 км), граница ядра и мантии (2 900 км), границы верхней и нижней мантии (670 км) и, наконец, граница мантии и земной коры (~70–100 км). В результате трения этих оболочек (вспомним опыты по физике с эбонитовой палочкой), естественно образуются электрические заряды и теплота, накапливаются электрические и тектонические напряжения, которые, опять же, при изменении скорости вращения, неизбежно разряжаются (подобно молнии на границе атмосферы с земной поверхностью),

образуя глобальные пробои-разрывы в мантии и земной коре, по которым устремляется сверхгорячее разуплотненное вещество (плюмы), сопровождаясь вулканоплутонической деятельностью и катастрофическими землетрясениями [5].

На земной поверхности и поверхности других планет солнечной системы об этих процессах свидетельствуют различного размера структуры центрального типа, которые объясняются авторами, как следы древних, молодых, новейших, современных и будущих землетрясений и вулканоплутонической деятельности. Кроме того, следом максимального проявления тектогенеза в истории Земли являются известные различные по возрасту складчатости (байкальская, герцинская, мезозойская, кайнозойская и т.д.), которые четко вписываются в известные циклы Бертрана (170–250 млн лет), а также циклы Штилле, которые вписываются в периодизацию истории Земли (40–70 млн лет) от кембрия, ордовика, до четвертичного периода.

Остается закономерный вопрос, что же является причиной изменения скорости вращения Земли и Солнечной системы вокруг центра Галактики? На этот вопрос, согласно методу подобия и аналогии, может быть получен простой ответ, что на нашу Галактику влияют соседние Галактики (подобно влиянию Луны на Землю), а изменение скорости вращения можно объяснить закономерным взаимодействием Галактик: замедление скорости вероятно связано с противофазой вращения, а ускорение с наложением или интерференцией скоростей вращения. Эту версию можно подтвердить конкретными астрофизическими наблюдениями, поставив такую задачу астрофизикам. Влияние Звезд на жизнь на Земле в какой-то мере объясняется с позиции астрологии, которую, как известно, используют положение звезд при прогнозе катастрофических явлений, войн и даже судьбы человека и его состояния здоровья.

На основе разработанной теории закономерно вытекает и методология научных исследований, которая состоит из традиционных и нетрадиционных, совершенно новых методов научных исследований [6].

Таким образом, предложенная теория и методология научных исследований, лишенная явных противоречий, с большой долей вероятности может служить реальной альтернативой известной теории тектоники плит и может служить теоретической базой для проведения научно-исследовательских работ в области геологии.

В процессе использования разработанной ротационной теории и методологии научных исследований получены на первый взгляд невероятные, даже впечатляющие результаты.

Во-первых, впервые составлен на основе дешифрирования космических снимков и физико-географических карт различного масштаба, своеобразный Атлас, где показаны различные карты-схемы рудонефтегазгеологического и сейсмического районирования (РНГГиСР) всего земного шара, отдельных континентов, регионов, многочисленных стран и известных месторождений нефти и газа и особых народнохозяйственных объектов: Астраханское серогазоконденсатное месторождение, Чернобыльская АЭС, г. Москва и др. [7].

Во-вторых, независимо подтверждается вывод Р. М. Бембеля, что все месторождения нефти и газа, а также рудные месторождения практически недоразведаны, что подтверждается наглядно по результатам составления карт рудонефтегазгеологического и сейсмического районирования локального плана (для отдельных месторождений) [8].

В-третьих, выясняется, что формирование месторождений (особенно нефти и газа) в первую очередь зависит от геодинамических условий, а не от структурных, как это считалось и считается до сих пор. Это наглядно подтверждается при наложении карт или схем рудонефтегазгеологического и сейсмического районирования на структурные карты с данными результатов бурения и эксплуатации скважин. Ярким примером является известное Лукьяновское месторождение в Западной Сибири.

В-четвертых, используя разработанную теорию тектогенеза и методологию научных исследований, на основе анализа разномасштабных карт рудонефтегазгеологического и сейсмического районирования возможно объяснение известных и малоизвестных феноменов на Земле:

1. Восполнение запасов месторождений нефти и газа (Ромашкинского месторождения и др.).
2. Объяснить известные катастрофические события (Чернобыльской АЭС, Тунгусские события, аварийный выброс нефти в Мексиканском заливе). Перечислять известные феномены можно и дальше, мы ограничились лишь наиболее яркими и важными.

В-пятых, при сопоставлении карт по приуроченности месторождений полезных ископаемых с позиций теории тектоники плит с картами глобального и регионального планов с позиции ротационной тектоники, отмечается очевидная большая разница в том, что распространение месторождений полезных ископаемых с позиции теории тектоники плит практически необъяснимо, а землетрясения и вулканизм приурочиваются практически только к границам плит, не объясняя их наличие во внутренних частях этих плит. С позиций новой ротационной теории тектогенеза и плюмтектоники выявляются не только закономерности приуроченности, но и перспективы распространения месторождений полезных ископаемых и катастрофических землетрясений, которые наглядно представляются на составленных разномасштабных картах рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования [9].

К теоретической базе научных исследований логически дополняются известные традиционные и малоизвестные теоретические представления о тектогенезе и происхождении нефти и газа и сейсмической активности территорий. Из традиционных, известных теорий в первую очередь используется флюидогеохимическая модель (модель «дерева») Б. А. Соколова, полигенетическая теория образования нефти и газа Гаврилова и др., тектонофизика М. В. Гзовского; из нетрадиционных, новых теорий: теория «геосолитонов» Р. М. Бембеля, ротационная концепция тектогенеза и концепция природы структур центрального типа (СЦТ) В. М. Харченко [10].

Методология научных исследований также представлена традиционными и нетрадиционными методами: метод групповой геологической съемки, системно-аэро-космический метод, метод подобия и аналогии; особо новым методом рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования, который в основном и использовался для проведения исследований территорий в глобальном, региональном и локальном планах, в частности территории Ирака.

Общая характеристика территории исследования (Ирака)

Общие сведения об исследованной территории Ирака довольно подробно изложены в работах российских и зарубеж-

ных исследователей. Особенно многочисленны месторождения УВ, а также региональные геолого-тектонические разрезы и целый ряд сейсмических профилей при интерпретации которых выявляется, что антиклинальные структуры с большими амплитудами довольно редкие, наглядно показаны рифогенные структуры и довольно редкие разрывные нарушения. Трудно представить, что только на их базе были открыты многочисленные крупные месторождения нефти и газа без наличия на поверхности своеобразных их признаков, которые и были использованы при их поисках. Надо полагать, что они были известны еще представителям древней цивилизации — Шумеров. С другой стороны, территория Ирака, также, как и территория Саудовской Аравии четко приурочиваются к геодинамическим центрам и суперрезонансным зонам различного ранга, что и объясняет их феномен [11].

В представленной работе излагаются общие особенности геолого-тектонического строения Ирака, Западной Сибири, Северного Кавказа и Предкавказья, а также феномены Ирака — Манджунское месторождение нефти и вихревая структура в районе столицы Ирака — г. Багдад.

Геолого-тектонические и геодинамические условия Ирака, Западной Сибири, Северного Кавказа и Предкавказья в целом имеют некоторое сходство, являясь молодыми платформами с герцинским складчатым фундаментом и мезо-кайнозойским осадочным чехлом значительной мощности (до 12 км) [12]. При тектоническом районировании на этих территориях выделяются сводовые поднятия, вали, впадины, выделяемые, как правило, на основании сейсмических данных, эффективность бурения которых как известно составляет не более 30 %. При использовании геодинамического анализа эффективность бурения значительно повысится, что подтверждается при наложении результатов разведки с геодинамическими условиями на указанных выше месторождениях.

Геолого-тектонические особенности месторождений Западной Сибири, Северного Кавказа, Предкавказья и Ирака характеризуются следующими общими особенностями и некоторыми закономерностями:

1. Все эти территории относятся к молодым платформам: Западно-Сибирской, Скифской и Шумерской (названия послед-

- них согласно древним этносам, населяющие эти территории). Скифская и Шумерская плиты приурочены к передовым прогибам древних платформ и альпийской складчатой областью соответственно с севера и с юга, образуя своеобразную симметрию. Так в Северокавказском передовом прогибе выделяется в центральной части Ставропольский свод, к востоку Терско-Каспийский прогиб, к западу Азово-Кубанская впадина. В Южнопредкавказской нефтегазоносной провинции, подобно Северной, также должны выделяться Центральное сводовое поднятие, юго-восточный Персидский прогиб и северо-западный Присредиземноморский прогиб [13].
2. Приуроченностью месторождений к сводам и валообразным поднятиям, реже к впадинам, ограниченными глубинными разломами.
 3. Наличием герцинского фундамента, осложненного серией грабенов и горстов с амплитудами сбросов сотни и первые тысячи метров, с характерной приразломной складчатостью.
 4. Приуроченностью к глубинным разломам вулканических центров триасового возраста, вулканизм которого имел широкое распространение как в Восточной Сибири, так и на территории Восточного Предкавказья и естественно по соседству в Западной Сибири. В западной Сибири они несомненно имеют место, но только на значительных глубинах, куда скважины пока не достигали. На территории Ирака триасовый вулканизм особо не проявлялся или вернее всего не изучался, его следы выявлены частично в скважинах по местам распространения терригенно-вулканогенных пород, а вот в соседней Сирии известен супервулкан с многочисленными сателлитами, который находится примерно в 100 км к ЮВ от Дамаска (по данным космической съемки).
 5. Отмечается закономерная приуроченность к вулканическим центрам Восточного Предкавказья рифогенных построек, которые, как известно, являются благоприятными коллекторами и емкостями УВ и образуют целые карбонатные платформы, подобные Астраханской и Тенгизской в Прикаспийской впадине [14]. Вулканические постройки с бывшими и, возможно настоящими магматическими очагами являются не только своеобразными кор-

- ниями, очагами для образования УВ, но и поставщиками различных флюидов со значительных глубин, не исключая и мантию.
6. Выделяемые на сейсмо-геологических профилях выраженные впадины с аномально высокими мощностями отложений, по результатам палеоструктурногеоморфологического метода, по существу, представляют собой в целом структуры растяжения, которые имеют особое значение в плане нефтегазоносности и сейсмичности территорий.
 7. В Западной Сибири, на Северном Кавказе, Предкавказье и Ираке в сводном геологическом разрезе выделяются следующие сходные структурно-тектонические этажи: комплекс терригенно-карбонатных слабометаморфизованных отложений складчатого герцинского фундамента, переходный пермо-триасовый терригено-вулканогенный комплекс пород, выполняющие как правило глубокие грабены (авлакогены), мощностью до 3–5 км и мезо-кайнозойский в основном терригенный комплекс, мощностью до 5–6 км.
 8. Практически все комплексы пород в той или иной мере нефтегазоносные: в Западной Сибири особо выделяются юрские и нижнемеловые нефтегазоносные отложения баженовской и ачимовских свит, в Предкавказье и на Северном Кавказе также меловые и юрские отложения, особое значение имеют вышележащие отложения майкопской серии олигоцен-миоценового возраста и нижележащие отложения нефтекумской свиты нижнего триаса. В Ираке особое значение имеет палеозойский карбонатно-терригенный комплекс и юрский соленосный комплекс в его северо-восточной части, где он имеет повсеместное распространение и естественно служит надежной крышкой для нижележащих отложений.
 9. До настоящего времени, как в Западной Сибири, так и в Предкавказье и Ираке в научных исследованиях должного внимания связи вулканизма и нефтегазоносности не уделяли, вернее эту связь практически отрицали, исповедуя известную и широко распространенную органическую теорию происхождения УВ [15].
 10. Надо особо отметить, что при поисках и разведке месторождений УВ на исследованных территориях геодинамические ус-

ловия ранее тоже практически не учитывались, ввиду отсутствия как теоретической базы, так и надежной методологии. В этой работе излагаются результаты геодинамического анализа и очевидная практическая значимость его применения на отдельных месторождениях исследуемых территорий.

Более того, при геодинамическом анализе известной территории Чернобыльской АЭС, выявлена своеобразная суперрезонансная зона (зона наложения геодинамических центров трех порядков с различными глубинами гипоцентров), что и объясняет реальную картину катастрофы, связанной с катастрофическим землетрясением. Важно отметить, что при предварительном проведении сейсмического районирования территорий ряда АЭС России, Белоруссии и США, отмечается подобная геодинамическая ситуация [16].

Известная экологическая катастрофа в Мексиканском заливе, где при бурении скважины на платформе произошел аварийный выброс нефти в море, также приурочена к суперрезонансной зоне.

Из позитивной информации следует привести пример территории Саудовской Аравии, где средний дебит эксплуатационных скважин на нефть составляет в среднем 500 кубических метров нефти в сутки, тогда как в России всего пять, а в США и того меньше. При рудонефтегазогеологическом и сейсмическом районировании территории Саудовской Аравии и некоторых прилегающих государств (Ирака, Сирии) выявлена также удачная приуроченность их к особым геодинамическим условиям, а именно: к геодинамическим центрам, резонансным зонам растяжения и суперрезонансным зонам, что и объясняет такую высокую эффективность бурения скважин на нефть и газ.

Исходными материалами для научных исследований использовались, в первую очередь, космические снимки различных масштабов, физико-географические карты, тектонические и геологические карты и карты полезных ископаемых и сейсмичности исследуемой территории.

В результате дешифрирования разномасштабных космических снимков и тематических карт проведено нефтегазогеологическое и сейсмическое районирование (вернее картирование) территории Ирака с выявлением структур центрального типа и линеаментов

с последующей их интерпретацией (выделением геодинамических центров, резонансных зон сжатий и растяжений (разряжений), суперрезонансных зон и субвертикальных зон деструкций) перспективные как на предмет поиска, разведки и доразведки полезных ископаемых, так и выявление будущих очагов катастрофических землетрясений) [17].

На картах-схемах глобального плана (1 см — 1,48 тыс. км), где выделенные структуры центрального типа максимального радиуса $R = 6,660$ км, данная территории Ирака находятся в непосредственной близости от геодинамического центра (на севере Ирака), глубина гипоцентра соответственно 6300 км, что соответствует вероятно зоне разуплотнения ядра Земли.

В этой зоне известны несколько месторождений-гигантов, а также столица Ирака — г. Багдад. К этим центрам на Земле приурочивается гора Эверест в Гималаях, известный Калифорнийский плум в Северной Америке, Испания, Карское море (известная Карская структура центрального типа, которую считают астроблемой, в Тихом океане известные супервулканы и т.д.)

На карте-схеме М 1:83000000, с тектоносферой на глубине 3320 км, что соответствует примерно границе внешнего и внутреннего ядра. Территория Ирака в северо-западной части приурочивается к суперрезонансным зонам и находится на значительном расстоянии от геодинамического центра, к которому довольно точно приурочены известные в Турции катастрофические землетрясения в последнее время.

На карте-схеме масштаба 1:8300000, где выделяются структуры центрального типа радиусом 2805 км, что соответствует границе ядра и мантии (2900 км), территория северной части Ирака приурочивается к суперрезонансной зоне субширотного простирания, где и располагаются основные месторождения нефти и газа с максимальными запасами, а также наиболее перспективные площади рудных полезных ископаемых и мест катастрофических землетрясений. Геодинамический центр этой структуры выделяется далеко на северо-западе, в месте эпицентра известных катастрофических землетрясений в Турции и Сирии.

На карте-схеме М 1:43000000 территории Евразии, где тектоносфера находится в средней мантии на глубинах 2150 км., тер-

ритория Ирака приурочивается своей северной частью частично к южной части суперрезонансной зоне субмеридионального простиранья, которая практически совпадает с известным Транскавказским субмеридиональным поднятием, известным своей сейсмичностью.

На картах-схемах регионального плана приводится целый ряд вариантов их составления в близких масштабах, где тектоносферы находятся в пределах верхней мантии, до глубины не более 700 км.

На всех картах выделяются геодинамические центры, зоны интерференции (наложения) сжатий и растяжений и суперрезонансные зоны [18]. Приведена привязка известных месторождений нефти и газа, показана на карте их позиция, проведен геодинамический анализ с выявлением закономерностей их размещения, выявлены перспективы их распространения на территории исследования и прилегающих государств.

Отдельно составлена схема тектонического районирования всего региона, Северного и Южного Предкавказья с выделением Скифской и Шумерской плит и их отдельных тектонических блоков по подобию и аналогии тектонического районирования Северного Кавказа и Предкавказья.

Особо проведен анализ сейсмической обстановки на территории Ирака и прилегающих государств, наложение ее на карты-схемы нефтегазогеологического и сейсмического районирования. Сделан вывод, что территория Ирака избежала участи Турции и Сирии, благодаря интенсивной разработке месторождений нефти и газа, следствием которых является снижение тектонических напряжений недр.

В локальном плане особый интерес, из рассмотренных 43 месторождений, представляет известное месторождение Маджнун, которое является аналогом типичного «геосолитона» по Р.М. Бембелю, т.е. субвертикальной зоной деструкции, где многоэтажные залежи (9 залежей) приурочиваются к единому геодинамическому центру, а гипоцентр находится на глубине самого нижнего этажа нефтегазоносности, вероятней всего, имеет глубинное мантийное заложение на глубине равной радиусу структуры центрального типа более высокого ранга, центр которой расположен также в непосредственной близости от месторождения. С меньшим количеством залежей-«этажей» наблюдается еще на 9 месторождениях: Суфайл,

Айн Заям, Хабаз, Киркук, Насирии и Недт, Бузурган, Абу Гирей, Западная Курна, Нижний Фарс.

Подобные геосолитоны, по нашему мнению, приурочиваются к геодинамическим центрам структур центрального типа различного ранга на картах рудонефтегазogeологического и сейсмического районирования и представляют максимальный интерес для открытия новых подобных залежей в этом регионе.

На карте блоктектоники выделены тектонические блоки различного ранга, где особое значение имеют узловые точки (пересечение тектонических нарушений различного ранга), где возможны максимальные накопленные добычи и дебиты нефти и газа, а также концентрация рудных полезных ископаемых.

Особое значение на этой карте в плане сейсмичности имеет Транскавказское субмеридиональное поднятие, которое выделяется на основе дешифрирования космических снимков на территории Ирака, так и в пределах Кавказа и юга России [19].

В результате анализа многочисленных материалов космической съемки был обнаружен уникальный случай наличия вихревой структуры в районе столицы Ирака — г. Багдад, которая приурочивается в свою очередь к суперрезонансной зоне, выделенной при интерпретации структур центрального типа.

Наличие вихревой структуры свидетельствует об особых геодинамических условиях данной территории, связанных с турбулентностью в литосфере, которая зависит от скорости движения вещества, расстояния со смены сред и вязкостью. Исходя из этого можно предполагать о пониженной вязкости или наличие зоны разуплотнения в литосфере.

В свою очередь, это может свидетельствовать о возможной тектономагматической активизации и даже катастрофическом землетрясении. Последнее не произошло, и вероятно не произойдет, благодаря интенсивному отбору нефти и газа из известного в районе г. Багдада месторождения нефти и газа, снижая таким образом тектоническое напряжение недр.

Особое значение, в плане экологии, имеет присутствие в непосредственной близости АЭС на территории соседнего Ирана на побережье Персидского залива, где избежать участи Чернобыльской АЭС можно только бурением скважин на нефть и газ в геоди-

намических центрах и суперрезонансных зонах [20]. Кстати будет сказано, что на острове Тайвань, который в целом приурочен к суперрезонансной зоне, по соседству с АЭС разрабатывается месторождение УВ, которое естественно снижает риски катастрофических землетрясений, которые характерны для этих территорий.

Результаты исследований и их обсуждение

1. В результате анализа многочисленных материалов нефтегазоносности территории Ирака, месторождение Манджнун представляется как многоэтажная залежь, приуроченная к геодинамическому центру, яркий аналог известных своей нефтегазоносностью — геосолитонов Р.М. Бембеля. Таким образом, основные перспективы нефтегазоносности связываются с геодинамическими центрами различного ранга и в меньшей мере с суперрезонансными зонами.
2. Исследуемая территория Ирака по известным данным является практически асейсмичной, что связывается вероятней всего с интенсивной разработкой месторождений нефти и газа, позволяющих значительно снизить тектоническое напряжение недр и как следствие риски катастрофических землетрясений. Этот наглядный факт позволяет рекомендовать бурение скважин на нефть и газ в сейсмических районах других стран мира.
3. При составлении карт-схем рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования отмечается карта-схема, где выделяется вихревая структура в районе столицы Ирака — г. Багдад, которая свидетельствует об особых геодинамических условиях этой территории, связанных вероятней всего с особой зоной разуплотнения в земной коре и мантии.
4. Представленные многочисленные карты схемы различных масштабов представляют по существу срезы различных глубин, т.е. тектоносфер различного уровня, где выделяются на земной поверхности гео-

- динамические центры, зоны сжатия и растяжения, суперрезонансные зоны, которые имеют разные значения в плане нефтегазоносности и сейсмичности.
5. В работе отдельно приводится карта или схема тектонического районирования, основанная на выделении линеаментов различного ранга. Особое значение здесь придается узловым участкам, местам пересечения линеаментов, которые также могут трактоваться, как субвертикальные зоны деструкции, т.е. такие своеобразные геосолитоны, которые перспективны не только на предмет нефти и газа, но и особенно на предмет рудных полезных ископаемых гидротермального происхождения.
 6. Особое значение имеет составленная карта рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования северного побережья Персидского залива на территории соседнего Ирана, которая позволяет сделать геодинамический анализ и оценить степень экологического риска как в районе АЭС, так и на территории близлежащего Ирака.
 7. Практически все составленные карты носят конфиденциальный характер, практически не имеют аналогов в России и тем более в мире, поэтому могут быть предоставлены заинтересованным сторонам только при составлении соответствующих договоров.

Заключение

В работе кратко излагается теоретическая основа и методология научных исследований, на основе которых и получены впечатляющие результаты с очевидной научной новизной и практической значимостью. На основе новой тектонической базы и методологии научных исследований составлены разномасштабные карты-схемы рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования, позволяющие сделать геодинамический анализ, оценку и перспективы нефтегазоносности и сейсмичности территории Ирака и сопредельных государств.

Список источников

1. Неркарян А. Е., Харченко В. М., Самусев Д. Д., Стасенко А. А. Влияние геодинамических условий на формирования залежей нефти и газа (на примере территории Западной Сибири и Восточного Предкавказья) // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 3. С. 147–154. <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.45.74.011>
2. Wayne N., Schechter D. S., Laird B. Thompson. Naturally fractured reservoir characterization // SPE. 2006. 121 p. ISBN: 978-1-55563-112.
3. Борисенко З. Г. Новая теория и практика пространственного размещения залежей нефти и газа в трещинных коллекторах. ПГЛУ, 2010. 168 с. ISBN 5422000498, 9785422000494.
4. Попков В. И., Попков И. В. Складчато-надвиговые дислокации в триасовых отложениях Скифско-Туранской платформы // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 1. С. 34–46. <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.42.57.003>
5. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 327 с.
6. Милосердова Л. В. Аэрокосмические методы в нефтегазовой геологии: учебник / под ред. П. В. Флоренского. М.: Издательский дом Недра, 2022. 502 с.
7. Жигалин А. Д. Особенности сейсмичности Московского региона // Вестник Российской Академии естественных наук. 2014. Вып. 2. С. 109–111.
8. Бембель Р. М., Бембель С. Р., Мегеря В. М. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. Тюмень: Вектор Бук, 2003. 224 с.
9. Харченко В. М., Лапта Д. В., Неркарян А. Е. Комплексные дистанционные и геофизические методы поисков залежей углеводородов (территория Центрального Предкавказья) // Наука. Инновации. Технологии. 2019. № 4. С. 33–48.
10. Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р. Поиски и разведка месторождений углеводородов на базе геосолитонной концепции дегазации Земли // Геология нефти и газа. 2006. № 2. С. 2–7.
11. Hennings P., Allwardt P., Paul P., Zahm Ch., Reid R., Alley H., Kirschner R., Lee B., Hough E. Relationship between fractures, fault zones, stress, and reservoir productivity in the

- Suban gas field, Sumatra, Indonesia // AAPG Bulletin. 2012. Vol. 96. P. 753-772. <https://doi.org/10.1306/08161109084>
12. Нелепов М. В. Линейные структуры в накопленной добыче нефти Величаевско-Колодезного месторождения Ставропольского края // Нефтяное хозяйство. 2015. № 9 (1104). С. 96–97.
 13. Guliyev I., Huseynov D. Fluid dynamics and seismicity of the Caspian sea // Conference: 11th International Conference on Gas in Marine Sediments. 2012.
 14. Горный В. И. и др. Модель мантийно-литосферного взаимодействия по данным комплексирования на геотраверсе Уралсейс сейсморазведки и дистанционного геотермического метода. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала. Тверь, 2001. С. 227–238.
 15. Харитонов А. Л. Нефтегазоносность морфоструктур центрального типа на территории Восточной Сибири // Neftegaz.RU. 2019. № 10 (94). С. 106–110.
 16. Jie Liao, Lun Li, Rui Gao, Yongqiang Shen, Jiarong Qing, Yangming Wu. Geodynamic modeling on subduction-spreading interaction and implications for the South China Sea and surrounding regions // Geosystems and Geoenvironment. 2022. Vol. 2. Issue 2. 100143. <https://doi.org/10.1016/j.geo-geo.2022.100143>
 17. Соколов Б. А., Абля Э. А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. М.: ГЕОС, 1999. 76 с.
 18. Корчуганова Н. И., Корсаков А. К. Дистанционные методы геологического картирования: учебник. М.: КДУ, 2009. 288 с.
 19. Пятахин М. В., Пятахина Ю. М., Степин Ю. П. Принятие решения о бурении скважины в условиях неопределенности: традиционный и 3D-палеогеомеханический подходы // Газовая промышленность. 2018. № 10 (775). С. 42–47.
 20. Zavyalova A. P. Chupakhina V. V., Stoupakova A. V., Gato-vsky Y. A., Kalmykov G. A., Korobova N. I., Suslova A. A., Bol-shakova M. A., Sannikova I. A., Kalmykov A. G. Comparison of the domanic outcrops in the Volga-Ural and Timan-Pechora basins. Moscow University Bulletin. Series 4. Geology. 2018. No. 6. P. 57–73.

References

1. Nerkararyan AE, Kharchenko VM, Samusev DD, Stasenko AA. The influence of geodynamic conditions on the formation

- of oil and gas deposits (on the example of the territory of Western Siberia and Eastern Ciscaucasia). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023;13(3):147-154. (In Russ.). <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.45.74.011>
2. Wayne N, Schechter DS, Thompson LB. Naturally fractured reservoir characterization. SPE. 2006. 121 p. ISBN 978-1-55563-112.
 3. Borisenko ZG. New theory and practice of spatial distribution of oil and gas deposits in fractured reservoirs. Pyatigorsk State Linguistic University; 2010. 168 p. ISBN 5422000498, 9785422000494. (In Russ.).
 4. Popkov VI, Popkov IV. Fold-thrust dislocations in the Triassic sediments The Scythian-Turanian platform. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023;13(1):34-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.46698/VNC.2023.42.57.003>
 5. Gzovsky MV. Fundamentals of tectonophysics. Moscow: Nauka; 1975. 327 p. (In Russ.).
 6. Miloserdova LV. Aerospace methods in oil and gas geology: Textbook. Ed. PV Florensky. Moscow: Nedra Publishing House LLC; 2022. 502 p. (In Russ.).
 7. Zhigalin AD. Features of Moscow region seismicity. *Vestnik Rossiiskoi Akademii estestvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2014;(2):109-111. (In Russ.).
 8. Bembel RM, Bembel SR, Megerya VM. Geosolitons: functional system of the Earth, concept of exploration and development of hydrocarbon fields. Tyumen: Vector Buk; 2003. 224 p. (In Russ.).
 9. Kharchenko VM, Lapta DV, Nerkararyan AE. Integrated Remote and Geophysical Methods for Searching Deposits of Hydrocarbons (Territory of the Central Caucasus Caucasus). *Science. Innovations. Technologies*. 2019;(4):33-48. (In Russ.).
 10. Bembel RM, Megerya VM, Bembel SR. Search and exploration of hydrocarbon deposits based on the geosoliton concept of Earth degassing. *Oil and gas geology*. 2006;(2):2-7.
 11. Hennings P, Allwardt P, Paul P, Zahm Ch, Reid R, Alley H, Kirschner R, Lee B, Hough E. Relationship between fractures, fault zones, stress, and reservoir productivity in the Suban gas field, Sumatra, Indonesia. *AAPG Bulletin*. 2012;96:753-772. <https://doi.org/10.1306/08161109084>
 12. Nelepov MV. Linear structures in the accumulated oil production of the Velichaevsko-Kolodeznoye field in the Stavropol Ter-

- ritory. Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry. 2015;9(1104):96-97. (In Russ.).
13. Guliyev I, Huseynov D. Fluid dynamics and seismicity of the Caspian sea. In Conference: 11th International Conference on Gas in Marine Sediments. 2012. (In Russ.).
 14. Gorny VI et al. Model of mantle-lithosphere interaction based on integration data on the Uralseis geotraverse seismic survey and remote geothermal method. Deep structure and geodynamics of the Southern Urals. Tver; 2001. P. 227-238. (In Russ.).
 15. Kharitonov AL. Oil and gas potential of central type morpho-structures in Eastern Siberia. Neftgaz.RU. 2019;10(94):106-110. (In Russ.).
 16. Jie Liao, Lun Li, Rui Gao, Yongqiang Shen, Jiarong Qing, Yangming Wu. Geodynamic modeling on subduction-spreading interaction and implications for the South China Sea and surrounding regions. Geosystems and Geoenvironment. Vol. 2. Issue 2. 100143. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.100143>
 17. Sokolov BA, Ablya EA. Fluid dynamic model of oil and gas formation. Moscow: GEOS; 1999. 76 p. (In Russ.).
 18. Korchuganova NI, Korsakov AK. Remote methods of geological mapping: textbook. Moscow: KDU; 2009. 288 p. (In Russ.).
 19. Pyatakhin MV, Pyatakhina YuM, Stepin YuP. The decision on well's drilling under uncertainty: traditional and 3D paleogeomechanical approaches. Gazovaya promyshlennost' = Gas industry. 2018;10(775):42-47. (In Russ.).
 20. Zavyalova AP, Chupakhina VV, Stoupakova AV, Gatovsky YA, Kalmykov GA, Korobova NI, Suslova AA, Bolshakova MA, Sannikova IA, Kalmykov AG. Comparison of the domanic outcrops in the Volga-Ural and Timan-Pechora basins. Moscow University Bulletin. Series 4. Geology. 2018;(6):57-73. (In Russ.).

Информация об авторах

Владимир Михайлович Харченко — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии нефти и газа факультета нефтегазовой инженерии Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57915718000.

Али Аль-Хасрачи — аспирант кафедры геологии нефти и газа факультета нефтегазовой инженерии Северо-Кавказского федерального университета.

Татьяна Витальевна Ибрагимова — старший преподаватель кафедры геологии нефти и газа факультета нефтегазовой инженерии Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID 57223667358.

Алина Евгеньевна Неркарарян — аспирант кафедры геологии нефти и газа факультета нефтегазовой инженерии Северо-Кавказского федерального университета.

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

Information about the authors

Vladimir M. Kharchenko — Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor, Department of Oil and Gas Geology, Faculty of Petroleum Engineering, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57915718000.

Ali Al-Hasrachi — Postgraduate student, Department of Oil and Gas Geology, Faculty of Petroleum Engineering, North-Caucasus Federal University.

Tatiana V. Ibragimova — Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Geology, Faculty of Petroleum Engineering, North-Caucasus Federal University, Scopus ID 57223667358.

Alina E. Nerkararyan — Postgraduate student, Department of Oil and Gas Geology, Faculty of Petroleum Engineering, North-Caucasus Federal University.

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

Научная статья

УДК 336.76

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.3>

МИГРАЦИОННЫЕ НАМЕРЕНИЯ СТУДЕНТОВ СРЕДНИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ И ДАГЕСТАНЕ

Юлия Федоровна Зольникова^{1*},
Иван Алексеевич Соловьев²,
Наталья Александровна Щитова³,
Павел Маркович Полян⁴

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

⁴ Институт географии РАН (д. 29/4, пер. Старомонетный, Москва, 119017, Российская Федерация)

¹ zolnst@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-8216-225X>

² soloivan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2150-7284>

³ stavgeo@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1662-6898>

⁴ pavel.polian@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2520-7932>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Исследование посвящено рассмотрению территориальных особенностей миграции и миграционных намерений студенческой молодежи Ставропольского края и Республики Дагестан, актуальность которого обусловлена повышенной миграционной мобильностью молодежи, определяющейся жизненными планами после окончания учебы. Исследование построено на анализе статистических данных массового онлайн-опроса студентов средних профессиональных учебных заведений. Выборка респондентов составила более 2100 человек. Для проведения социологического исследования была разработана авторская анкета, включающая вопросы «открытого» и «закрытого» типов. В рамки исследования вошло рассмотрение выталкивающих и притягивающих факторов миграции, а также качественного состава респондентов. Исследование показало схожие черты миграции и миграционных намерений студенческой молодежи Ставропольского края и Республики Дагестан, которые прежде всего зависят от «центр-периферийного» позиционирования территорий. В пределах России наибольшей привлекательностью для потенциальных мигрантов являются Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону и Краснодарский край. Внутри исследуемых регионов максимальная направленность миграционных намерений связана с административными центрами – Ставрополем и Махачкалой. Важным отличием Ставропольского края является большая аттрактивность для образовательных мигрантов из-за пределов региона, что связано с особенностями его географичес-

кого положения, этническими, этнодемографическими процессами и уровнем социально-экономического развития. В свою очередь, специфической чертой миграционных намерений студенческой молодежи Республики Дагестан является более высокая аттрактивность малой родины респондентов, что обусловлено, по нашему мнению, сохранением традиционных устоев общества в регионе. Для сдерживания оттока молодежи из исследуемых регионов прежде всего необходимо комплексное социально-экономическое развитие данных территорий.

Ключевые слова: миграционные намерения, студенты СПО, Ставропольский край, Республика Дагестан

Для цитирования: Зольникова Ю.Ф., Соловьев И.А., Щитова Н.А., Полян П.М. Миграционные намерения студентов средних профессиональных образовательных учреждений в Ставропольском крае и Дагестане // Наука. Инновации. Технологии. 2024. №3. С. 49–70. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.3>

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-27-00056.

Конфликт интересов: один из авторов статьи — кандидат географических наук, доцент Соловьев Иван Алексеевич является ответственным секретарем и членом редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Доктор географических наук, профессор Щитова Наталия Александровна является заместителем главного редактора и членом редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». 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 01.06.2024;
одобрена после рецензирования 01.09.2024;
принята к публикации 19.09.2024.

1.6.13. **Economic, social, political and recreational geography
(Geographical Sciences)**
Research article

**Migration Intentions of Secondary Vocational
education students in Stavropol Krai
and Dagestan**

**Julia F. Zolnikova^{1*}, Ivan A. Soloviev²,
Natalia A. Shchitova³, Pavel M. Polyan⁴**

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

⁴ Institute of Geography of Russian Academy of Sciences (29/4, Staromon-etny Lane, Moscow, 119017, Russian Federation)

¹ zolnst@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0009-8216-225X>

² soloivan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2150-7284>

³ stavgeo@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1662-6898>

⁴ pavel.polian@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2520-7932>

* Corresponding author

Abstract.

The study considers territorial features of migration and migration intentions of student youth of Stavropol Krai and the Republic of Dagestan, the relevance of which is due to the increased migration mobility of young people, which is determined by life plans after graduation. The study is based on the analysis of statistical data of a mass online survey of students of secondary vocational educational institutions. The sample of respondents was more than 2,100 people. To conduct a sociological study, a special questionnaire was developed with "open" and "closed" types of questions. The study included consideration of push and pull factors of migration, as well as the qualitative composition of respondents. The study showed similar features of migration and migration intentions of student youth of Stavropol Krai and the Republic of Dagestan, which, first of all, depend on the "center-periphery" positioning of territories. Within Russia, the greatest attractiveness for potential migrants pose Moscow, St. Petersburg, Rostov-on-Don and Krasnodar Krai. Within the regions under study, the maximum direction of migration intentions is associated with the administrative centers – Stavropol and Makhachkala. An important difference of Stavropol Krai is its greater attractiveness for educational migrants from outside the region, which is associated with the peculiarities of its geographical location, ethnic and ethnodemographic processes and the level of socio-economic development. In turn, a specific feature of the migration intentions of student youth in the Republic of Dagestan is the higher attractiveness of the respondents' small homeland, which is associated, in our opinion, with the traditional foundations of society in the region. To curb the outflow of youth from the regions under study, first of all, comprehensive socio-economic development of the territories is necessary.

Keywords:

migration intentions, students of secondary vocational education, Stavropol Krai, Republic of Dagestan

For citation:

Zolnikova JuF, Soloviev IA, Shchitova NA, Polyan PM. Migration intentions of secondary vocational education students in Stavropol Krai and Dagestan. *Science. Innovations. Technologies*. 2024;(3):49-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.3>

Funding:

the study was carried out with financial support from the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 23-27-00056.

Conflict of interest:

one of the authors of article — Ivan A. Soloviev, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, is the executive secretary and member of Editorial Board of journal "Science. Innovations. Technologies". Natalia A. Shchitova, is the Vice Editor-in-Chief and member of Editorial Board of journal "Science. Innovations. Technologies". 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 01.06.2024;
approved after reviewing 01.09.2024;
accepted for publication 19.09.2024.

Введение

Актуальность исследования определяется высокой миграционной мобильностью молодежи, а также региональными и внутрирегиональными особенностями социально-экономического и демографического развития Ставропольского края и Дагестана, что оказывает влияние на трудовые ресурсы и демографический потенциал территорий.

Изучением проблем молодежной миграции занимаются многие ученые разных областей наук: географы, социологи, психологи, экономисты, демографы и др.

В работах Замятиной Н.Ю. (2012), Кашницкого И.С., Мкртчян Н.В., Лешукова О.В. (2016), Щитовой Н.А. и др. (2023) [1, 2, 3] рассматриваются теоретико-методологические вопросы молодежной миграции, исследуются подходы к изучению факторов и мотивации молодежной миграции.

Изучение различных аспектов молодежной миграции на разных территориальных уровнях проводятся зарубежными исследователями: Смитом Д. и др. (2014), Бейне М. и др. (2012), Кингом Р. и др. (2016), Рагурам П. (2013) [4, 5, 6, 7].

Большое количество статей посвящено исследованию образовательной межрегиональной молодежной миграции (Габдрахманов Н.К. и др. (2022), Габдрахманов Н.К. и др. (2019), Карачурина Л.Б., Флоринская Ю.Ф. (2019)) [8, 9, 10].

Наряду с изучением образовательной миграции молодежи довольно актуальной является проблема, связанная с исследованием выявления миграционных намерений молодежи, в том числе школьников старших классов, студентов средних и высших учебных заведений. Эти проблемы изучаются в работах Флоринской Ю.Ф. (2017), Зыкиной О.А. (2020) [11, 12]. В настоящее время значительная часть исследований по выявлению факторов и причин миграционного поведения и миграционных установок молодежи проводится в отдельных регионах России. Такие исследования особенно актуальны для периферийных и северных территорий (Абросимова Е.Е., Ягафарова Э.У. (2022), Кузнецова С.А., Орехова А.О. (2015), Морозова Е.А., Кочнева О.П. (2021), Потапова Ю. В. и др. (2023), Симакова А.В. (2019), Шадриков А.В., Ильдараханова Ч.И. (2018), Шарова Е.Н. (2015), Шмакова, Котова (2018), [13, 14, 15, 16,

17, 18, 19, 20]. Большинство подобных исследований проводится с использованием социологических методов – анкетного опроса молодежи, экспертных опросов, проведения фокус-групп и др., которые в отдельных работах дополняются официальной статистикой. Социологические методы позволяют выявить факторы и причины миграционных намерений молодежи, изучить географию миграций, рассмотреть планы на будущее.

Имеются ряд работ по исследованию миграции молодежи в Ставропольском крае и Дагестане. Так, в исследовании Соловьева И.А. и др. (2024) [21] рассматривается внутрирегиональная дифференциация молодежной миграции в Ставропольском крае. В работе Мезиной Е.В. (2011) исследуется влияние сельской миграции в города на уровень социально-экономического развития Ставропольского края [22]. Алексеева Е.А. (2011) выявляет влияние миграции молодежи на социально-демографические последствия для Ставропольского края [23].

В статье И.А. Соловьева и др. (2024) выявлены особенности молодежной миграции в горных поселениях Дагестана, свидетельствующие о состоянии социально-экономической среды в контексте устойчивого развития [24]. Мирзабалаева Ф.И. (2013), отмечает, что одним из условий сокращения негативных последствий трудоизбыточности в Дагестане является стимулирование миграционной мобильности молодежи [25].

Несмотря на накопленный багаж знаний, сохраняется актуальность рассмотрения территориальных особенностей миграционных намерений студентов регионов Юга России. Цель исследования – выявить факторы и территориальные особенности образовательной миграции и миграционных намерений студенческой молодежи СПО Ставропольского края и Дагестана.

Материалы и методы исследований

Результаты исследования основываются на данных массового социологического опроса студентов СПО Ставропольского края и Республики Дагестан, который проводился кафедрой социально-экономической географии Северо-Кавказского федерального университета осенью 2023 года.

Авторская анкета включала несколько блоков вопросов:

- планы на будущее;
- прошлый опыт;
- жизненная траектория;
- сведения об анкетироваемых.

Анкетный опрос проводился онлайн посредством программного продукта «Yandex Forms» (<https://forms.yandex.ru/643173fd43f74f102978e33c/edit>).

Выборка опроса составила 2106 респондентов, в т.ч. 409 студентов из 9 учебных заведений Ставропольского края и 1697 учащихся из 14 учебных заведений Республики Дагестан в возрасте от 14 до 22 лет. Ошибка выборки составила 0,07 %.

В Ставропольском крае опрос проводился среди учащихся СПО в городах Ставрополь (56,5 %), Невинномысск (13,7 %), Пятигорск (7,8 %), станице Григоропольской (22,0 %), в т.ч. Ставропольском региональном многопрофильном колледже (11,2 %), Ставропольском строительном техникуме (19,5 %), Ставропольском колледже сервисных технологий и коммерции (6,6 %), Ставропольском базовом медицинском колледже (7,3 %), колледже Ставропольского государственного аграрного университета (8,1 %), колледже Северо-Кавказского федерального университета (3,7 %), Невинномысском индустриальном колледже (13,7 %), колледже при Пятигорском государственном университете (7,8 %), Григоропольском сельскохозяйственном техникуме имени атамана М.И. Платова (22,0 %).

В Республике Дагестан опрос учащихся СПО проводился в городах Махачкала (29,2 %), Каспийск (6,2 %), Дербент (15,1 %), Хасавюрт (5,3 %), Дагестанские Огни (1,2 %), Избербаш (9,9 %), Кизляр (28,8 %), Буйнакс (4,1 %), в т.ч. Дербентском профессиональном педагогическом колледже имени Г.Б. Казиахмедова (5,6 %), профессионально-педагогическом колледже имени М.М. Меджидова (5,1 %), профессионально-педагогическом колледже (25,2 %), Кизлярском профессионально-педагогическом колледже (31,2 %), профессионально-педагогическом колледже имени Расула Гамзатова (4,1 %), аграрном колледже (1,2 %), колледже экономики и права

(4,9%), колледже народных промыслов и туризма (4,5%), колледже инновационных технологий (5,3%), индустриально-промышленном колледже (4,9%), техническом колледже им Р.Н. Ашуралиева (1,9%), промышленно-экономическом колледже (2,2%), колледже машиностроения и сервиса имени Серго Орджоникидзе (3,9%).

Результаты исследований и их обсуждение

1. Ставропольский край.

Респонденты Ставропольского края получают образование по следующим специальностям: Туризм (7,8%), Информационные системы и программирование (9,8%), Строительство и эксплуатация зданий и сооружений (13,7%), Право и организация социально обеспечения (7,8%), Гостиничное дело (7,6%), Лечебное дело (6,6%), Конструирование, моделирование и технология швейных изделий (3,9%), Юриспруденция (3,2%), Поварское и кондитерское дело (7,8%), Экономика, бухгалтерский учет (5,1%), Механик (3,9%), Технология продукции общественного питания (2,7%), Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции (2,9%), Тракторист-машинист (2,7%).

Большая часть опрошенных выбрали данное учебное заведение из-за возможности получения желаемой специальности – 41,8%, престижности образовательного учреждения – 23,9%, близости к месту проживания – 15,4%. 12,2% опрошенных ответили, что других вариантов не было.

В СПО Ставропольского края в основном обучаются студенты из разных муниципалитетов Ставрополья – 82,6%. Из других регионов выделяются Краснодарский край – 7,3%, Карачаево-Черкесская Республика – 3,9%, Дагестан – 1,9%, Кабардино-Балкарская Республика – 0,7%. При этом высокая доля обучающихся из Краснодарского края отмечается в СПО ст. Григорополисской и г. Невинномыска, из КЧР – г. Пятигорска, а из Дагестана – г. Пятигорска и г. Ставрополя.

В опросе приняло участие 57,0% девушек и 43,0% юношей в основном в возрасте 16–19 лет, большая часть которых обучается на «хорошо» и «удовлетворительно» – 24,0%, «отлично» и «хорошо» – 23,5%, «отлично» – 23,2%, «хорошо» – 20,3%.

По национальному составу среди опрошенных преобладали русские – 74,1 %, армяне – 3,4 %, даргинцы – 2,4 %, ногайцы – 2,4 %. Высокая доля армян обучается в г. Пятигорске, ногайцев – в Невинномысске, самый полиэтнический состав среди обучающихся наблюдается в г. Ставрополе, моноэтнический – ст. Григорополисская.

После окончания обучения выпускники СПО – большинство студентов СПО – хотели бы работать по специальности (в основном учащиеся ст. Григорополисской и г. Невинномысска), совмещать работу и обучение в вузе и продолжить обучение в вузе (преобладали обучающиеся г. Ставрополя и г. Пятигорска). Треть студентов планируют работать не по специальности или затруднились ответить.

Из тех студентов, кто планирует работать, большая часть хотят самостоятельно зарабатывать, помогать родителям, а также считают, что полученное образование позволяет заняться профессиональной деятельностью. Для обучающихся, которые желают продолжить обучение в вузе, привлекательными являются учебные заведения городов Ставрополя – 60,6 %, Пятигорска – 9,6 %, Невинномысска – 6,7 %, Краснодара – 5,3 %, Москвы – 4,3 %, Санкт-Петербурга – 2,4 %, Ростова-на-Дону – 2,4 %, в т. ч. в Северо-Кавказском федеральном университете хотели бы продолжить обучение 34,7 % опрошенных, в Ставропольском государственном аграрном университете – 25,6 %, в Пятигорском государственном университете – 14,0 %, в Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации – 3,3 %, Московском государственном университете – 2,5 %, Ставропольском медицинском университете – 1,7 %.

На обучение в Москве ориентированы студенты СПО Ставрополя и Невинномысска, а на Краснодар – в основном студенты из Пятигорска и ст. Григорополисской.

На вопрос о возможности трудоустроиться в своем населенном пункте по профессии, которую они получают, большая часть опрошенных дала утвердительный ответ – 35,9 %, скорее да, чем нет посчитало 28,1 % респондентов (утвердительные ответы значительно преобладают у обучающихся в ст. Григорополисской), а треть считают, что невозможно трудоустроиться или скорее нет, чем да (лидирует Пятигорск).

В населенном пункте, в котором обучаются респонденты, им нравится природа и климат, возможность учиться в вузе или колледже и получить специальность, благоустройство, большое количество мест для отдыха и досуга, возможность заработать, возможность трудоустройства, возможность посещать культурные мероприятия. Не нравится опрошенным в населенном пункте, где обучаются, низкая заработная плата у работающих, трудности в трудоустройстве по специальности, недостаточное разнообразие культурных мероприятий, большое количество неблагоустроенных мест.

81,9% опрошенных не имели опыта переезда на другое место жительства, кроме переезда, связанного с учебой и лишь 18,1% обучающихся имеет такой опыт. При этом у 44,0% опрошенных родственники в настоящее время проживают за пределами их населенного пункта, в т. ч. брат и сестра – у 24,4%, бабушка или дедушка – у 22,5%, папа – у 16,4%.

Проживают родственники кроме населенных пунктов Ставропольского края в Москве – у 11,4%, Дагестане – у 2,3%, Краснодарском крае – у 2,3%, Ростовской области – у 2,3%.

После окончания обучения в СПО большая часть обучающихся планирует остаться в месте, где учится – 21,8% (в основном студенты из Ставрополя), уехать в другой населенный пункт – 20,3% (студенты из Пятигорска и Невинномысска), меньшая часть планирует вернуться домой в свой населенный пункт – 13,4% (студенты из Григорополисской) или уехать в другую страну – 6,1% (Пятигорск и Невинномысск). При этом 31,1% затруднились ответить на этот вопрос.

Из других населенных пунктов обучающихся привлекают Москва – 26,2%, Краснодарский край – 19,3% (в т. ч. г. Краснодар – 17,8%), Санкт-Петербург – 2,2%, Ростов-на-Дону – 2% (рис. 1). Из других стран привлекательными являются Турция, ОАЭ, Испания.

Для того чтобы респонденты вернулись жить в свой населенный пункт, в нем необходимо увеличить зарплату, создать рабочие места, обустроить места для отдыха, досуга, улучшить дороги. При этом 36,4% опрошенных все устраивает и, по их мнению, ничего изменять не нужно.

Домой после окончания обучения обучающиеся хотят вернуться в основном из-за родных и семьи.

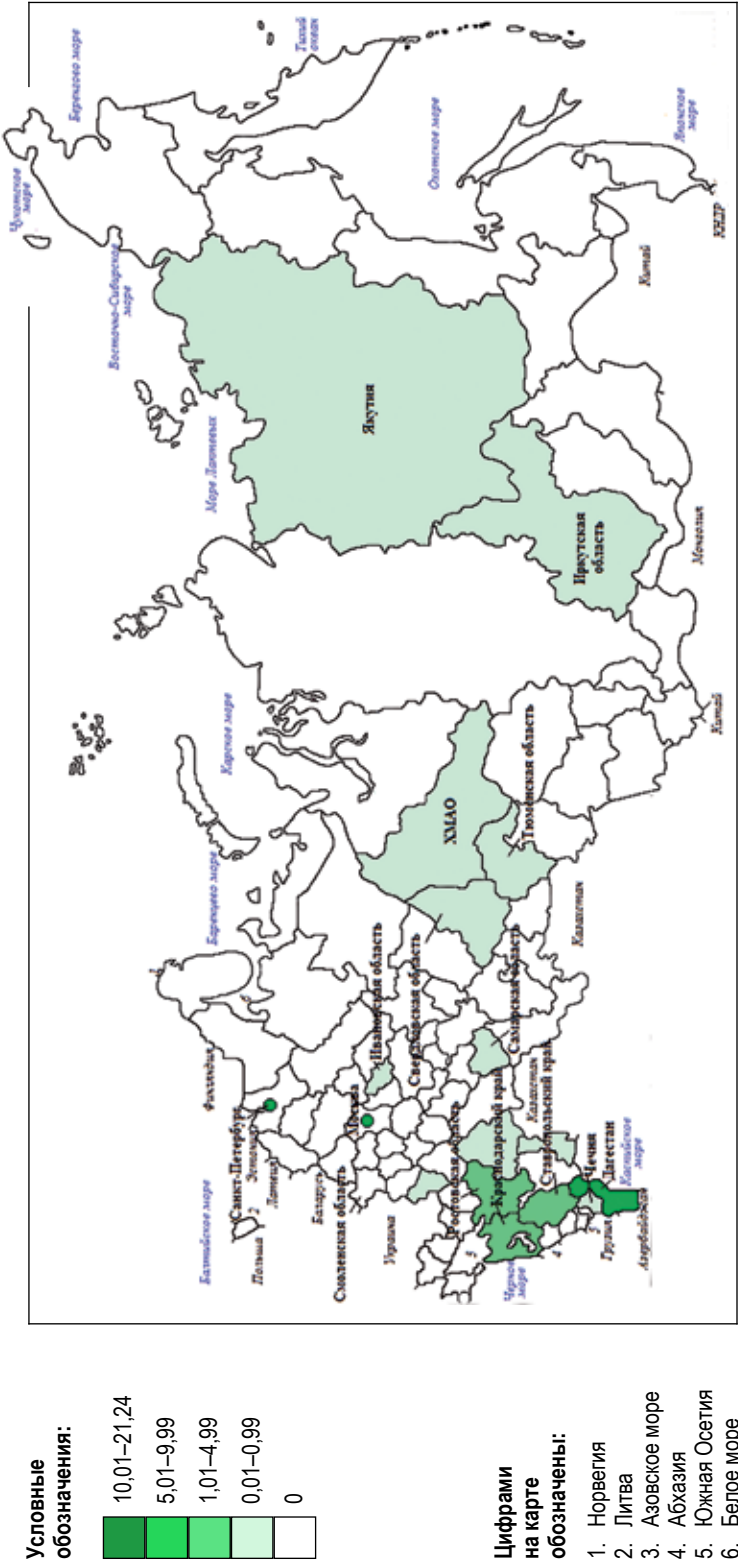


Рис. 1. Миграционные намерения внутрироссийской направленности респондентов Ставропольского края после окончания учебы, %.

Fig. 1. Migration intentions of domestic Russian orientation of respondents from Stavropol Krai after graduation, %.

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Источник:

Респонденты, планирующие переехать в другой населенный пункт, называют следующие причины: больше возможностей и перспектив – 21,4%, больше возможностей в трудоустройстве – 15,3%, хотят жить в городе – 13,3%.

Уровень благосостояния семьи обучающиеся оценивают высоко, отмечая, что средств в целом хватает, но приобретение автомобиля, дачи, новой квартиры не доступны – 49,4% и средств хватает практически на все – 32,3%, лишь 2,7% ответили, что средств не хватает на самое необходимое.

Жилищными условиями 58,7% полностью удовлетворены, а 29,3% скорее удовлетворены, чем нет, только 3,2% опрошенных полностью не удовлетворены жилищными условиями.

2. Республика Дагестан.

Респонденты Дагестана получают образование по следующим специальностям: Педагог начальных классов (16,4%), Дошкольное образование (6,5%), Педагог дополнительного образования (2,9%), Информационные системы и программирование (8,5%), Защита в чрезвычайных ситуациях (МЧС) (3,9%), Физическая культура (3,1%), Юриспруденция (3,4%), Поварское и кондитерское дело (2,5%), Программирование (1,4%), Сварщик (3,4%), Сетевое и системное администрирование (4,2%).

Большая часть опрошенных выбрали данное учебное заведение из-за возможности получения желаемой специальности – 53,2%. Из других вариантов отмечались престижность образовательного учреждения – 16,5%, близость к месту проживания – 14,5%, и других вариантов не было – 9,4%.

В СПО Республики Дагестан обучаются студенты из самой республики – более 97%, из других регионов можно выделить Чеченскую республику – 1,4% (в основном в Хасавюрте и Кизляре).

В опросе СПО Дагестана приняло участие 52,9% девушек и 47,1% юношей в основном в возрасте 15–18 лет, которые обучаются на «хорошо» – 33,4%, «отлично» и «хорошо» – 24,7%, «хорошо» и «удовлетворительно» – 20,2%.

По национальному составу среди опрошенных преобладали аварцы – 33,8% (Махачкала, Кизляр, Буйнакс, Хасавюрт), даргинцы – 17,8% (Избербаш, Каспийск, Кизляр), лезгины – 10,9% (Да-

гестанские Огни, Дербент), кумыки – 8,8 % (Хасавюрт, Избербаш, Буйнакск), табасараны – 5,9 % (Дербент, Каспийск), русские – 4,3 % (Махачкала, Кизляр), азербайджанцы – 3,7 % (Дербент), чеченцы – 3,2 % (Хасавюрт, Кизляр).

После окончания обучения выпускники СПО Дагестана хотели бы работать по специальности – 48,4 %, продолжить обучение в вузе – 25,1 %, совмещать работу и обучение в вузе – 18,1 %. Пятая часть респондентов планируют работать не по специальности или затруднились ответить.

Студенты, планирующие работать, в основном хотят самостоятельно зарабатывать, помогать родителям, а также считают, что полученное образование позволяет заняться профессиональной деятельностью.

Для тех студентов, кто желает продолжить обучение в вузе привлекательными являются учебные заведения городов Махачкала (44,4 %), Кизляр (14,7 %), Дербент (8,9 %), Москва (6,3 %), Санкт-Петербург (4,5 %), Буйнакск (1,9 %), а также Краснодар и Ростов-на-Дону, в т. ч. в Дагестанском государственном университете хотели бы продолжить обучение 41,5 % опрошенных, в Дагестанском государственном педагогическом университете – 22,2 %, Дагестанском государственном техническом университете – 7,7 % и в Московском государственном университете – 2,8 %. При этом в других регионах, в т. ч. Москве и Санкт-Петербурге в основном хотели бы продолжить обучение студенты СПО из городов Махачкала, Дербент, Каспийск и Избербаш.

Большинство респондентов считает, что возможно трудоустроиться в настоящее время в населенном пункте, откуда они родом (35,7 %) еще 30,3 % считают, что скорее возможно, чем нет. Такие ответы преобладают во всех городах, в которых проводился опрос.

В населенном пункте, в котором обучаются респонденты, им нравится возможность учиться в вузе или колледже и получить специальность, природа и климат, возможность заработать, возможность заниматься спортом, безопасность, благоустройство, возможность трудоустройства, большое количество мест для отдыха и досуга. Не нравится респондентам в населенном пункте, где они обучаются, низкая заработная плата у работающих, проблемы с по-

иском работы по специальности, экологическая ситуация, большое количество неблагоустроенных мест, отсутствие вузов.

83,1 % опрошенных не имели опыта переезда на другое место жительства, кроме переезда, связанного с учебой, и лишь 16,9 % обучающихся имеет такой опыт. При этом у 35,5 % опрошенных родственники в настоящее время проживают за пределами их населенного пункта, в т. ч. брат и сестра – у 56,1 %, папа – у 41,2 %. Проживают родственники кроме населенных пунктов Дагестана в Москве (16,4 %), Санкт-Петербурге (5,8 %), Ростовской области и г. Ростов-на-Дону (2,2 %), Ставропольский край и г. Ставрополь (1,9 %), Краснодарский край и г. Краснодар (1,9 %), Астраханская область и г. Астрахань (1,9 %).

После окончания обучения в СПО значительная часть обучающихся планирует вернуться домой в свой населенный пункт – 25,3 %. Остаться в месте, где учатся, хотели бы 18,2 % опрошенных, уехать в другой населенный пункт планирует 19,3 %, а в другую страну – 7,6 % (рис. 2). При этом 30 % респондентов затруднились ответить на такой вопрос.

Из других населенных пунктов обучающихся привлекают Москва (25,3 %), Махачкала (21,4 %), Санкт-Петербург (19,7 %), Ростов-на-Дону (2,6 %), а из других стран – Турция, Южная Корея, США.

Для того чтобы респонденты вернулись жить в свой населенный пункт, в нем необходимо увеличить зарплату – 10 %, улучшить экологическую ситуацию – 7,1 %, обустроить дороги – 3,5 %. Вместе с тем 6,4 % респондентов ответили, что им все нравится, а 3 % указали, что им все не нравится в населенном пункте.

Домой после окончания обучения обучающиеся хотят вернуться из-за родителей и семьи, из-за того, что там родина, из-за друзей и работы, а также были ответы «там комфортнее», «скучаю».

Респонденты, планирующие переехать в другой населенный пункт, называют такие причины: работа и заработок – 24,5 %, учеба, образование, вуз – 14,7 %, больше возможностей и перспектив – 7,3 %.

Уровень благосостояния семьи обучающиеся оценивают высоко, отмечая, что средств в целом хватает, но приобретение автомо-

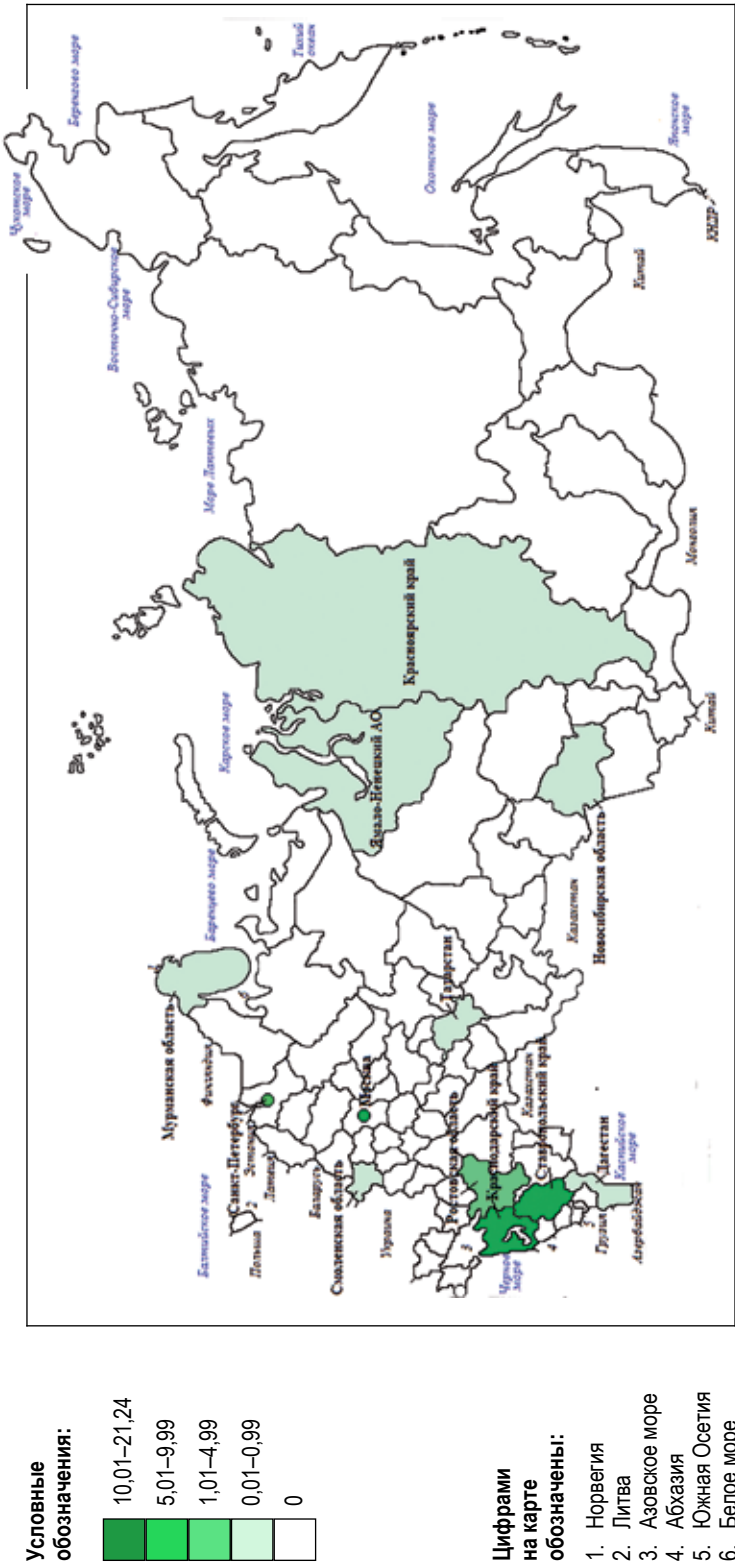


Рис. 2. Миграционные намерения внутрироссийской направленности респондентов Ставропольского края после окончания учебы, %.

Fig. 2. Migration intentions of domestic Russian orientation of respondents from Stavropol Krai after graduation, %.

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Источники:

бия, дачи, новой квартиры не доступны – 41,0% и средств хватает практически на все – 34,93%, лишь 3,8% опрошенных ответили, что средств не хватает на самое необходимое.

Жилищными условиями 64,7% полностью удовлетворены, 25,5% скорее удовлетворены, чем нет, только 2,6% полностью не удовлетворены жилищными условиями.

Заключение

В СПО Ставропольского края и Республики Дагестан преобладают студенты из самих регионов, при этом на Ставрополье пятая часть обучающихся – это жители соседних субъектов (Краснодарского края, Карачаево-Черкесской Республики, Дагестана), а в Дагестане лишь около 3% – студенты других регионов, в основном из Чеченской республики. Это свидетельствует о большей привлекательности Ставрополя для студенческой молодежи, чем Дагестана.

В Ставропольском крае пятая часть респондентов (21,8%) планируют остаться в месте, где учатся, примерно столько же (20,3%) желает переехать в другой населенный пункт, а вернуться в свой населенный пункт хотели бы только 13,4% опрошенных. В Республике Дагестан четверть респондентов (25,3%) хотели бы вернуться в свой населенный пункт после обучения, что почти в два раза более высокий показатель, чем на Ставрополье. Предположим, что миграционные намерения респондентов Дагестана, нацеленные на возвратные переселения, связаны с большей традиционностью населения республики.

Респонденты и Ставропольского края, и Дагестана, планирующие уехать в другой населенный пункт, стремятся или в соседние регионы, в основном административные центры, или в столичные города – Москву и Санкт-Петербург, что связано с лучшими возможностями трудоустройства, получением высшего образования, большими перспективами устроиться или желанием жить в городе, а также «вписывается» в контекст «центро-периферийной модели».

Чтобы обучающиеся СПО возвращались жить в свой населенный пункт, в нем необходимо создавать рабочие места и увеличить зарплату, обустроить места для отдыха и досуга, улучшить дороги.

Для респондентов Республики Дагестан острой проблемой является экологическая ситуация в населенном пункте, а также обустройство всего населенного пункта.

Список источников

1. Замятина Н. Ю. Метод изучения миграций молодежи по данным социальных интернет-сетей: Томский государственный университет как «центр производства и распределения» человеческого капитала (по данным социальной интернет-сети «ВКонтакте») // Региональные исследования. 2012. № 2. С. 15–28.
2. Кашницкий И. С., Мкртчян Н. В., Лешуков О. В. Межрегиональная миграция молодежи в России: комплексный анализ демографической статистики // Вопросы образования. 2016. № 3. С. 169–203.
3. Щитова Н. А., Белозеров В. С., Зольникова Ю. Ф., Полян П. М. Теоретические подходы и программно-целевой метод в региональном исследовании молодежной миграции // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 4. С. 25–54.
4. Beine M., Noel R., Ragot L. The determinants of the international mobility of students // CESifo Working Paper No. 3848. Munich: CESifo, 2012. 33 p.
5. King R., Lulle A., Morosanu L., Williams A. International youth mobility and life transitions in Europe: questions, definitions, typologies and theoretical approaches. University of Sussex. 2016. 61 p.
6. Raghuram P. Theorising the spaces of student migration // Population, Space and Place. 2013. Vol. 19. No. 2. P. 138–154. <https://doi.org/10.1002/psp.1747>
7. Smith D., Rérat P., Sage J. Youth Migration and Spaces of Education // Children's Geographies. 2014. No. 12 (1). P. 1–8.
8. Габдрахманов Н. К., Карачурина Л. Б., Мкртчян Н. В., Лешуков О. В. Образовательная миграция молодежи и оптимизация сети вузов в разных по размеру городах // Вопросы образования. 2022. № 2. С. 88–116. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-2-88-116>
9. Габдрахманов Н. К., Никифорова Н. Ю., Лешуков О. В. «От Волги до Енисея...»: образовательная миграция молодежи в России. Москва: НИУ ВШЭ, 2019. 48 с.
10. Карачурина Л. Б., Флоринская Ю. Ф. Миграционные намерения выпускников школ малых и средних городов Рос-

- сии // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2019. № 6. С. 82–89.
11. Флоринская Ю. Ф. Выпускники школ из малых городов России: образовательные и миграционные стратегии // Проблемы прогнозирования. 2017. № 1 (160). С. 114–124.
 12. Зыкина О. А. Миграционные планы выпускников российских школ: региональный аспект // Вестник антропологии. 2020. № 4. С. 153–169. <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2020-52-4/153-169>
 13. Абросимова Е. Е., Ягафарова Э. У. Миграционные настроения современной молодежи Приморского края // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2022. Т. 14. № 3. С. 189–198. <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-3/189-198>
 14. Кузнецова С. А., Орехова А. О. Особенности временных перспектив старшеклассников в миграционно-подвижном регионе (на примере города Магадана) // Психологическая наука и образование. 2015. Т. 7. № 1. С. 56–68. [Электронный ресурс]. URL: https://psyjournals.ru/journals/psyedu/archive/2015_n1/75639?ysclid=m1hu8c8xes969364556 (дата обращения: 15.07.2024).
 15. Морозова Е. А., Кочнева О. П. Миграционные настроения молодежи Кемеровской области – Кузбасса // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2021. № 6 (3). С. 326–338.
 16. Потапова Ю. В., Маленова А. Ю., Маленов А. А., Потапов А. К. Причины и факторы миграционного поведения молодежи Омской области // ДЕМИС. Демографические исследования. 2023. Т. 4. № 1. С. 116–131. <https://doi.org/10.19181/demis.2024.4.1.8>
 17. Симакова А. В. Миграционные намерения молодежи (пост)промышленных моногородов Арктической зоны России: остаться или уехать? // Социальная политика и социология. 2019. Т. 18. № 2 (131). С. 134–144. <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2019-18-2-134-144>
 18. Шадриков А. В., Ильдарханова Ч. И. Территориальные интересы сельской молодежи: опыт Республики Татарстан, Алтайского края, Республики Мордовии // Проблемы развития территории. 2018. № 6 (98). С. 107–118. <https://doi.org/10.15838/ptd.2018.6.98.7>

19. Шарова Е. Н. Миграционные установки молодежи Мурманской области // Проблемы развития территории. 2015. Вып. 3 (77). С. 88–103.
20. Шмакова В. А., Котова Ю. А. Региональный аспект миграционных намерений старшекласников (на примере городов Комсомольска-на-Амуре и Уссурийска). Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (г. Комсомольск-на-Амуре, 19 декабря 2018 г.). 2018. С. 307–315.
21. Соловьев И. А., Щитова Н. А., Зольникова Ю. Ф. Внутрорегиональная дифференциация молодежной миграции в Ставропольском крае // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2024. № 69 (1). С. 4–20. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.101>
22. Мезина Е. В. Причинно-следственная взаимосвязь причин и последствий миграции молодежи из сельской местности Ставропольского края в города // Научное обозрение. Серия 2. Гуманитарные науки. 2011. № 1. С. 19–24.
23. Алексеева Е. А. Миграция студенческой молодежи в новых экономических условиях: тенденции и социально-демографические последствия (на материалах Ставропольского края): автореф. дисс. ... канд. экон. наук. Институт социально-политических исследований РАН. 2011. 23 с.
24. Соловьев И. А., Щитова Н. А., Зольникова Ю. Ф. Молодежная миграция в Горном Дагестане как индикатор устойчивого развития территории // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. № 1 (59). Т. 16. С. 156–173.
25. Мирзабалаева Ф. И. Миграционное настроение молодежи периферийного региона // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9910> (дата обращения: 21.07.2023).

References

1. Zamyatina NYu. The method of studying the migration of young people on these social networking web: Tomsk State University as a “center of production and distribution” of human capital (according to the social online network “VKontakte”). Regional'nye issledovaniya = Regional studies. 2012;(2):15-28. (In Russ.).
2. Kashnitsky IS, Mkrtchyan NV, Leshukov OV. Interregional migration of youths in Russia: a comprehensive analysis of de-

- mographic statistics. Education issues. 2016;(3):169-203. (In Russ.).
3. Shchitova NA, Belozerov VS, Zolnikova JuF, Polyana PM. Theoretical approaches and program-target method in the regional study of youth migration. Science. Innovations. Technologies. 2023;(4):25-54. (In Russ.).
 4. Beine M, Noel R, Ragot L. The determinants of the international mobility of students. CESifo Working Paper No. 3848. Munich: CESifo; 2012. 33 p.
 5. King R, Lulle A, Morosanu L, Williams A. International youth mobility and life transitions in Europe: questions, definitions, typologies and theoretical approaches. University of Sussex. 2016. 61 p.
 6. Raghuram P. Theorizing the spaces of student migration. Population, Space and Place. 2013;19(2):138-154. <https://doi.org/10.1002/psp.1747>
 7. Smith D, R  rat P, Sage J. Youth Migration and Spaces of Education. Children's Geographies. 2014;12(1):1-8.
 8. Gabdrakhmanov NK, Karachurina LB, Mkrtchyan NV, Leshukov OV. Educational migration of young people and optimization of the network of universities in cities of different sizes. Education issues. 2022;(2):88-116. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-2-88-116> (In Russ.).
 9. Gabdrakhmanov NK, Nikiforova NYu, Leshukov OV. «From the Volga to the Yenisei...»: Educational Migration of Young People in Russia. Moscow: National Research University Higher School of Economics; 2019. 48 p. (In Russ.).
 10. Karachurina LB, Florinskaya YuF. Migration intentions of school graduates in small and midsize towns in Russia. Lomonosov Geography Journal. 2019;(6):82-89. (In Russ.).
 11. Florinskaya YuF. School Graduates from Small Towns in Russia: Educational and Migration Strategies. Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development. 2017;1(160):114-124. (In Russ.).
 12. Zykina OA. Migration plans of Russian high school students: a regional dimension. Herald of anthropology. 2020;(4):153-169. <https://doi.org/10.33876/2311-0546/2020-52-4/153-169> (In Russ.).
 13. Abrosimova EE, Yagafarova EU. Migration intentions of modern youth of Primorsky Krai. The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics

- and Service. 2022;14(3):189-198. <https://doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2022-3/189-198>. (In Russ.).
14. Kuznetsova SA, Orekhova AO. Features of time perspectives in high school students in the migration mobility region (on example of Magadan). *Psychological Science and Education Psyedu.ru*. 2015;7(1):56-68. Available from: https://psyjournals.ru/journals/psyedu/archive/2015_n1/75639?ysclid=m1hu8c8xes969364556 [Accessed 15 July 2024]. (In Russ.).
 15. Morozova EA, Kochneva OP. Youth migration in the Kemerovo region. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki = Bulletin of the Kemerovo State University. Series: Political, sociological and economic sciences*. 2021;6(3):326-338. (In Russ.).
 16. Potapova YuV, Malenova AYu, Malenov AA, Potapov AK. Reasons and factors of migration behavior of youth of the Omsk region. *DEMIS. Demographic Research*. 2023;4(1):116–131. <https://doi.org/10.19181/demis.2024.4.1.8> (In Russ.).
 17. Simakova AV. Youth migratory intentions at (post) extractive arctic mono-industrial cities: live or leave? *Social'naya politika i sociologiya = Social policy and sociology*. 2019;18(2):134-144. <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2019-18-2-134-144> (In Russ.).
 18. Shadrikov AV, Ildarkhanova ChI. Territorial interests of rural youth: experience of the Republic of Tatarstan, Altai Krai, the Republic of Mordovia. *Problems of Territory's Development*. 2018;6(98):107-118. <https://doi.org/10.15838/ptd.2018.6.98.7> (In Russ.).
 19. Sharova EN. Migration attitudes of young people in the Murmansk oblast. *Problems of Territory's Development*. 2015;3(77):88-103. (In Russ.).
 20. Shmakova VA, Kotova YuA. Regional aspect of migration intentions of high school students (on the example of the cities of Komsomolsk-on-Amur and Ussuriysk). *Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (Komsomolsk-on-Amur, December 19, 2018)*. 2018;307-315. (In Russ.).
 21. Soloviev IA, Shchitova NA, Zolnikova JuF. Intraregional differentiation of youth migration in the Stavropol Territory. *Bulletin of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2024;69(1):4-20. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2024.101> (In Russ.).

22. Mezina EV. Causal relationship between the causes and consequences of youth migration from rural areas of Stavropol Krai to cities. Nauchnoe obozrenie = Scientific Review. Series 2. Humanities. 2011;(1):19-24. (In Russ.).
23. Alekseeva EA. Migration of student youth in new economic conditions: trends and socio-demographic consequences (based on the materials of Stavropol Krai). Abstract of the dissertation of cand. econ. sciences. Institute of Socio-Political Research of the Russian Academy of Sciences; 2011. 23 p. (In Russ.).
24. Soloviev IA, Shchitova NA, Zolnikova JuF. Youth migration in Mountainous Dagestan as an indicator of sustainable development of the territory. Sustainable development of mountain territories. 2024;1(59):156-173. (In Russ.).
25. Mirzabalaeva FI. Migratory mood of the youth in peripheral region. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = "Modern problems of science and education": online journal. 2013;4. Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9910> [Accessed 21 July 2023]. (In Russ.).

Информация об авторах

Юлия Федоровна Зольникова — кандидат географических наук, доцент, доцент департамента географии и геоинформатики факультета международных отношений Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57219554702.

Иван Алексеевич Соловьев — кандидат географических наук, доцент, доцент департамента географии и геоинформатики факультета международных отношений Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 57192380969, Researcher ID: JGM-9872-2023.

Наталья Александровна Щитова — доктор географических наук, профессор, профессор департамента географии и геоинформатики факультета международных отношений Северо-Кавказского федерального университета. Scopus ID: 6602786751, Researcher ID: ABA-1080-2021.

Павел Маркович Полян — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН. Scopus ID: 6603630160.

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

Information about the authors

Julia F. Zolnikova — Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography and Geoinformatics, Faculty of International Relations, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57219554702.

Ivan A. Soloviev — Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geography and Geoinformatics, Faculty of International Relations, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57192380969, Researcher ID: JGM-9872-2023.

Natalia A. Shchitova — Dr. Sci. (Geogr.) Professor, Professor of the Department of Socio-Economic Geography, Faculty of International Relations, North-Caucasus Federal University. Scopus ID: 6602786751, Researcher ID: ABA-1080-2021.

Pavel M. Polyani — Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences. Scopus ID: 6603630160.

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

Научная статья

УДК 551.583

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.4>

МОДЕЛЬ СИНУСОИДАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ СЕЛЕВЫХ СХОДОВ

Борис Азреталиевич Ашабоков^{1,2},
Алла Амарбиевна Ташилова^{3*},
Лара Асировна Кешева⁴,
Наталья Вячеславовна Теунова⁵

^{1,3,4,5} Высокогорный геофизический институт (д. 2, пр. Ленина, 360030, Нальчик, Российская Федерация)

² Институт информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН (37А, ул. И. Арманд, Нальчик, 360000, Российская Федерация)

^{1,2} ashabokov.boris@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2889-0864>

³ tashilovaa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2368-6047>

⁴ kesheva.lara@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5132-1563>

⁵ nata0770@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1135-3587>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Синусоидальная модель динамики рядов селевых сходов, температуры и осадков в теплые сезоны в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии дополняет ранее полученный статистический анализ средних характеристик рядов, результаты сравнительного анализа их средних величин за два подпериода (базовый 1953–1983 гг. и современный 1984–2015 гг.), повышает качество однонаправленной регрессионной модели количества сходов селей и метеопараметров за последние 60 лет. В статье показано, что использование функции синусоидальной регрессии дает возможность выявить цикличность временных рядов, что поможет в оценке динамики сходов селей с учетом долговременных изменений климатических переменных. Повышение эффективности моделей подтверждено критериями. Коэффициент детерминации R^2 , определенный для моделей линейной регрессии, возрастает в моделях синусоидальной регрессии: для рядов с количеством селей от $R^2 = 0,067$ до $R^2 = 0,645$, для осадков от $R^2 = 0,028$ до $R^2 = 0,653$, для температур от $R^2 = 0,012$ до $R^2 = 0,829$. В модели синусоидальной регрессии при использовании восьми гармоник на фоне медленных изменений добавляются короткопериодные пульсации. В ряду с селями – это короткие периоды от $T = 2,4$ лет до $T = 10,7$ лет на фоне основного периода $T = 62$ года. В ряду

температур – короткие периоды от $T = 1,9$ года до $T = 5,2$ лет к длинному периоду $T = 63$ года. В ряду с осадками к коротким периодам от $T = 2,2$ лет до $T = 8,7$ лет добавляется длинный период $T = 20,1$ года. Выявленные длиннопериодические колебания у селей и температур ($T = 62$ года, 63 года) связаны со значительными и нелинейными изменениями в элементах этих рядов в течении исследуемого периода. В отличие от этих рядов, в ряду осадков доминируют короткопериодические изменения ($T = 4$ года) на фоне медленного колебания с периодом $T = 20,1$ года.

Ключевые слова: количество сходов селей, сумма осадков, средние температуры, синусоидальная регрессия, периоды, эффективность модели

Для цитирования: Ашабоков Б. А., Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В. Модель синусоидальной регрессии для оценки динамики селевых сходов // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 71–94. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.4>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.04.2024;
одобрена после рецензирования 25.06.2024;
принята к публикации 02.09.2024.

1.6.18.

Atmospheric and Climate Sciences
(Physical and Mathematical Sciences)
Research article

Sinusoidal regression model for assessment of mudflows dynamics

Boris A. Ashabokov^{1,2},
Alla A. Tashilova^{3*},
Lara A. Kesheva⁴,
Nataliya V. Teunova⁵

^{1, 3, 4, 5} High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin Ave., 360030, Nalchik, Russian Federation)

² Institute of Informatics and Regional Management Problems of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (37A, I. Armand St., Nalchik, 360000, Russian Federation)

^{1, 2} ashabokov.boris@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2889-0864>

³ tashilovaa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2368-6047>

⁴ kesheva.lara@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5132-1563>

⁵ nata0770@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1135-3587>

* Corresponding author

Abstract.

A sinusoidal model of the dynamics of mudflow series, temperature and precipitation in the warm seasons in the high-mountain zone of Kabardino-Balkaria complements the previously obtained statistical analysis of the average characteristics of the series, results of a comparative analysis of their average values for two subperiods (base 1953–1983 and modern 1984–2015), improves the quality of the unidirectional regression model of the number of mudflows and meteorological parameters over the past 60 years. The article shows that the use of the sinusoidal regression function makes it possible to identify the cyclicity of time series, which will help in assessing the dynamics of mudflows taking into account long-term changes in climate variables. The increased efficiency of the models is confirmed by the criteria. The coefficient of determination R^2 , determined for linear regression models, increases in sinusoidal regression models: for series with the number of mudflows from $R^2 = 0.067$ to $R^2 = 0.645$, for precipitation from $R^2 = 0.028$ to $R^2 = 0.653$, for temperatures from $R^2 = 0.012$ to $R^2 = 0.829$. In the sinusoidal regression model, using eight harmonics, short-period ripples are added against the background of slow changes. In the series with mudflows, these are short periods from $T = 2.4$ years to $T = 10.7$ years against the background of the main period $T = 62$ years. In the series of temperatures there are short periods from $T = 1.9$ years to $T = 5.2$ years to a long period $T = 63$ years. In the series with precipitation, a long period $T = 20.1$ years is added to the short periods from $T = 2.2$ years to $T = 8.7$ years. The identified long-period fluctuations in mudflows and temperatures ($T = 62$ years, 63 years) are associated with significant and nonlinear changes in the elements of these series during the period under study. In contrast to these series, the precipitation series is dominated by short-period changes ($T = 4$ years) against a background of slow fluctuations with a period of $T = 20.1$ years.

Keywords:

mudflows quantity, total precipitation, average temperatures, sinusoidal regression, periods, model efficiency

For citation:

Ashabokov BA, Tashilova AA, Kesheva LA, Teunova NV. Sinusoidal regression model for assessment of mudflows dynamics. Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):71-94. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.4>

Conflict of interest:

the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 16.04.2024;
approved after reviewing 25.06.2024;
accepted for publication 02.09.2024.

Введение

Необходимость количественной оценки развития склоновых явлений на фоне изменения климата в высокогорной зоне Кавказа с помощью использования различных математических инструментов определяется их значительной активизацией в последние десятилетия [1–5]. Как известно, модели временных рядов применяются в исследованиях динамики значительного числа реальных процессов различной природы. В статье [6] были определены некоторые количественные характеристики рядов селевых сходов, средней температуры и сумм осадков в высокогорной зоне КБР, построены линейные тренды, характеризующие долговременную изменчивость исследуемых рядов в теплые сезоны 1953–2015 гг. Под долговременной изменчивостью понимается вклад в процесс изменения параметров ряда либо тренда, либо долговременного колебания, то есть колебания с периодом, гораздо больше одного года. В результате проведенного линейного регрессионного анализа была получена однонаправленная линейная модель, демонстрирующая тенденцию роста количества селей на статистически значимом уровне (~ 1 случай/10 лет, $R^2 = 0,067$), незначительный рост сумм осадков (1,66 мм/мес. / 10 лет, $R^2 = 0,028$) и средней температуры (0,05 °C / 10 лет, $R^2 = 0,012$). При анализе полученных линейных трендов можно сделать вывод о тенденции увеличения количества сходов на фоне современного изменения климата, что характеризует долговременную тенденцию развития данного явления. При этом она выражается некоторой монотонной функцией (однонаправленный тренд). Такой однонаправленный тренд не может помочь в объяснении причин вызывающих рост селевых сходов, поскольку климатические изменения цикличны и для реальной картины необходимо на фоне медленных изменений выявить периоды, соотносящиеся с периодами климатических изменений.

Периодичность природных процессов и явлений – необходимое свойство их существования и развития. Цикличность природных процессов, в том числе опасных склоновых явлений, происходит под воздействием внешних причин, в основном, климатических изменений. В работах [7, 8] авторы приводят результаты исследований, которые дают основание считать, что большие планеты ока-

зывают динамическое воздействие на параметры и циклы природных явлений. В работе [9] по результатам параметризации сезонной и долговременной изменчивости толщины снежного покрова на юге европейской территории России было получено, что сезонный ход изменения остатков (разница между модельным значением и реальными значениями) имеет долговременную изменчивость с выявленным периодом цикличности $T \approx 18,8$ лет, что обусловлено приливными колебаниями (Луна, Солнце), действующими на различные геосферы Земли, в том числе на атмосферу. В работе [10] авторы отмечают, что об опасности проявлений селевых процессов можно судить по характеристикам космической погоды. При этом целесообразно уделять внимание анализу тех показателей, которые связаны с изменениями активности Солнца. Авторы полагают, что вспышечная активность Солнца может оказать влияние на формирование селевых потоков в результате попадания компонентов солнечного ветра в приповерхностную область Земли. Колебания солнечной активности, повторяющиеся в среднем через 11 лет, отражаются в возмущениях магнитного поля Земли, в погодных и гидрологических явлениях, в динамике опасных природных явлений и т. д., эффект воздействия которых проявляется в обнаруженных периодах порядка 11 лет в указанных природных явлениях, что делает актуальным поиск скрытых периодичностей в многолетних данных селевых сходов.

Материалы и методы исследований

Для исследования были использованы данные рядов схода селей из работы Кондратьевой Н.В. [11], данные климатических параметров были предоставлены Северо-Кавказским УГМС. В работе получены модели синусоидальной регрессии, позволяющие определить некоторые спектральные характеристики (период, амплитуда, фаза) рядов числа сходов селей, средней температуры и сумм осадков в теплые сезоны года (май-сентябрь) в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии (Терскोल).

Для моделирования временных рядов и выявления периодов цикличности была использована функция синусоидальной регрессии из статистической программы Past 4.03 [12]. Функция позволяет к исходным данным рядов подогнать сумму до восьми синусоид

с периодами, амплитудами и фазами. Алгоритм основан на критерии наименьших квадратов и сингулярной величине декомпозиции.

Каждая синусоида определяется выражением:

$$y = A \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{T} (t - t_0) - \varphi_0 \right], \quad (1)$$

где A – амплитуда,
 T – период,
а φ_0 – начальная фаза,
 t_0 – начальное значение t .

Для определения качества и сравнения статистических моделей при выбранном количестве параметров в программе Past 4.03 используются следующие информационные критерии: коэффициент детерминации R^2 на заданном уровне значимости p (R^2 при $p < 0,05$); хи-квадрат (χ^2); критерий Акаике (AIC).

Коэффициент детерминации R^2 характеризует долю дисперсии, обусловленную регрессией, в общей дисперсии показателя. Величина p ($p < 0,05$) используется для выявления статистически значимого коэффициента детерминации R^2 в моделях линейной и синусоидальной регрессии. F -тест Фишера определяет значимость коэффициента детерминации R^2 ; критерий Стьюдента ($Stud$) определяет статистическую значимость коэффициентов моделей.

Значение χ^2 является мерой ошибки подбора – большие значения означают худшее соответствие между моделью и исходными данными, и, наоборот, меньшие значения – лучшее соответствие. Критерий хи-квадрат позволяет оценить значимость различий между фактическим (выявленным в результате исследования) количеством исходов и теоретическим количеством, которую можно ожидать в изучаемых группах.

Основная формула для расчета хи-квадрата Пирсона:

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (2)$$

где O_i – наблюдаемые (Observed) частоты,
 E_i – ожидаемые (Expected).

Полученное значение хи-квадрата соотносится с критическим значением хи-квадрата из статистических таблиц [13]. Критическое значение хи-квадрата, как и для большинства статистических критериев зависит от степени свободы df и уровня достоверности p (в нашем случае $p = 0,05$).

Информационный критерий Акаике (AIC) [14] оценивает правильность количества использованных параметров (в нашем случае – количество синусоид), по которой строилась модель: данный подход позволяет сравнивать модели, оцененные по выборкам разного объема. Чем меньше значение критерия, тем лучше модель. Особенностью критерия является введение штрафа за число параметров модели. AIC должен быть как можно ниже, чтобы максимизировать подгонку, но не допускать переобучения.

Значение критерия вычисляется по формуле:

$$AIC = -2 \ln(\hat{L}) + 2k, \quad (3)$$

где $\hat{L}$ – максимальное значение логарифмической функции правдоподобия модели,
 k – количество параметров модели.

Логарифмическая функция правдоподобия отражает вероятность того, что значение, предсказанное моделью, будет соответствовать фактическому. При росте числа параметров в модели повышается ее соответствие исходному набору данных (модель лучше соответствует данным), модель характеризуется высоким значением логарифмического правдоподобия и небольшим значением AIC .

Результаты исследований и их обсуждение

Приступая к анализу долговременной изменчивости рядов числа селей, осадков и температуры, мы прежде всего исследовали их с применением простейшей трендовой модели – линейной регрессии [6]. Результаты регрессии рядов с указанием трендов, их погрешностей, эффективности моделей (R^2) и значений статистик Фишера (F) и Стьюдента ($Stud$) сведены в таблицу 1. Из таблицы 1 видно, что однонаправленные изменения (линейные тренды)

Таблица 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ
Table 1. Results of constructing unidirectional models

Ряды 1953–2015 гг.	Тренд	Погрешность	R^2	$F_{\text{факт}}$	$Stud_{\text{факт}}$	Значимость p^*
Число схода селей	0,08 (n/год)	0,038	0,067	4,364	2,089	0,041
Осадки	0,166 (мм/год)	0,124	0,028	0,187	1,335	0,187
Температура	0,005 (°C/год)	0,0056	0,012	0,761	0,873	0,386

* статистически значимый на 5 %-ном уровне коэффициент детерминации выделен жирным.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

осадков и температуры в теплые сезоны в период 1953-2015 гг. отсутствуют ($R^2 = 0,028$, $p = 0,187$ для осадков; $R^2 = 0,0123$, $p = 0,386$ для температуры), а для ряда числа селей тренд имеется, но с недостаточно высоким R^2 ($R^2 = 0,067$, $p = 0,041$). По показателям статистической надежности ($R^2= 0,067$, $F_{\text{факт.}} = 4,36$ превышает $F_{\text{теор.}} = 4,0$ на 5 %-ном уровне $p = 0,041 < 0,05$) данная регрессионная модель обеспечивает вероятность получения такого тренда не случайно. Увеличение количества селей имеет место на статистически значимом уровне.

Перейдем от однонаправленного тренда (линейная регрессия) с невысоким коэффициентом детерминации R^2 к модели синусоидальной регрессии с высоким R^2 , позволяющей к медленному тренду добавить изменения с выявленными периодами T , формирующими режим изменения параметров ряда [12]. Для создания модели синусоидальной регрессии было использовано пошаговое включение гармоник, начиная с первой гармоники и ограничиваясь 8 гармониками. Результаты построения синусоидальной регрессии с по-

мощью использования 1-й гармоники, 2-х гармоник, 3-х гармоник и т.д. до 8-ми гармоник, представлены на рисунке 1 и в таблице 2.

Из рисунка 1а (ряд числа схода селей) видно, что с учетом одной гармоники в исходном ряду выделяется медленный синусоидальный тренд с периодом $T = 62$ года, где максимальное число схода селей приходится на середину 90-х годов, а минимальное их количество – на середину 60-х гг. XX столетия. Эффективность модели и ее качество модели определяется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,157$ с уровнем значимости $p = 0,002 < 0,05$, значением $\chi^2 = 1678$ и коэффициентом $AIC = 1682,2$.

При двух гармониках добавляется период $T = 7$ лет, который описывает пульсацию роста и уменьшения числа селей каждые 7 лет на фоне их плавного роста с максимумом в середине 90-х гг. XX столетия. Качество модели повышается, что характеризуется ростом коэффициента детерминации $R^2 = 0,2665$ ($p = 0,0005$) и снижением $\chi^2 = 1460$ и $AIC = 1468,8$.

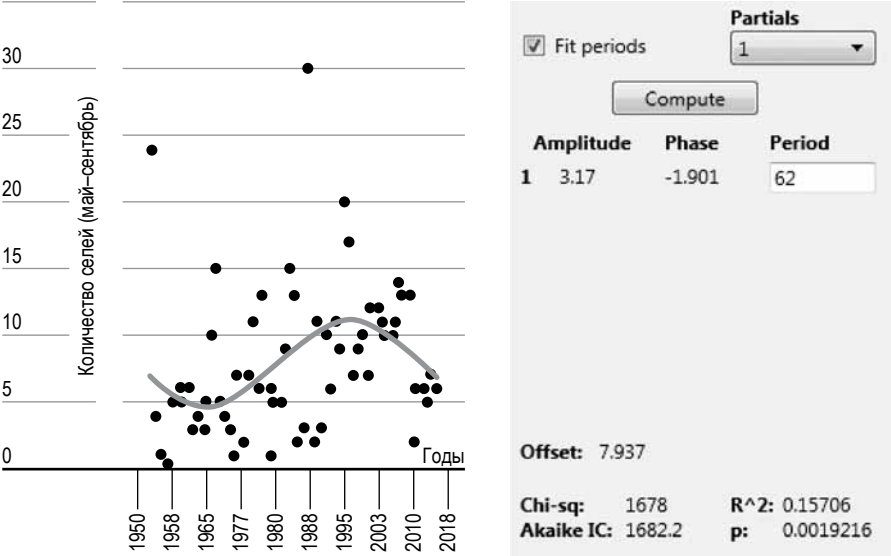
При трех гармониках выделяется период $T \approx 11$ лет, который формирует амплитуды A синусоиды, подгоняя модель под исходные данные: увеличивая и уменьшая их с учетом 11-летнего периода. Выделяемая периодичность в рядах селевых сходов, вероятно, имеет корреляционную связь со средней периодичностью солнечной активности (≈ 11 лет), что совпадает с некоторыми выводами из работы [10].

При включении в модель 8-ми гармоник, имеем наиболее точное приближение к реальному ряду числа селевых сходов в теплые сезоны 1953–2015 гг., эффективность модели возрастает, что отражается в информационных критериях $R^2 = 0,6445$ ($p \ll 0,05$); $\chi^2 = 707,66$ и $AIC = 751,48$. Используя данные по амплитуде, фазе и периоду из таблицы 2, может быть построена синусоидальная модель числа сходов селей по формуле (2).

Для построения модели синусоидальной регрессии рядов сумм осадков и средней температуры используем такой же алгоритм с пошаговым включением гармоник от одной до восьми. Результаты представлены на рисунках 2, 3 и в таблицах 3, 4.

В ряду с осадками при использовании одной гармоники наиболее сильный вклад в формирование режима осадков вносит ко-

б) 1 гармоника



б) 2 гармоники

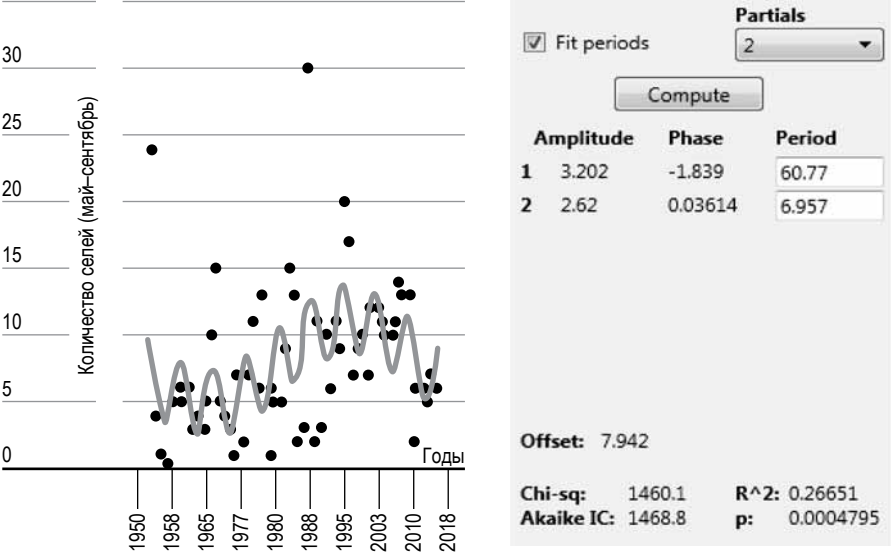
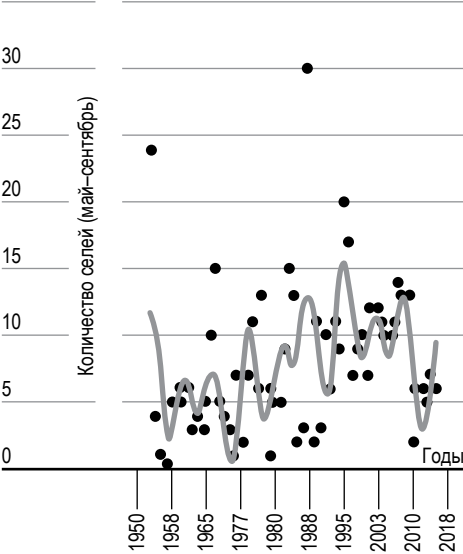


Рис. 1. Модель синусоидальной регрессии числа схода селей.
Fig. 1. Sinusoidal regression model of the number of mudflows.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

в) 3 гармоника



Partials

☒ Fit periods

3

Compute

	Amplitude	Phase	Period
1	3.162	-1.827	60.77
2	2.535	0.01984	6.957
3	2.141	0.1481	10.65

Offset: 7.964

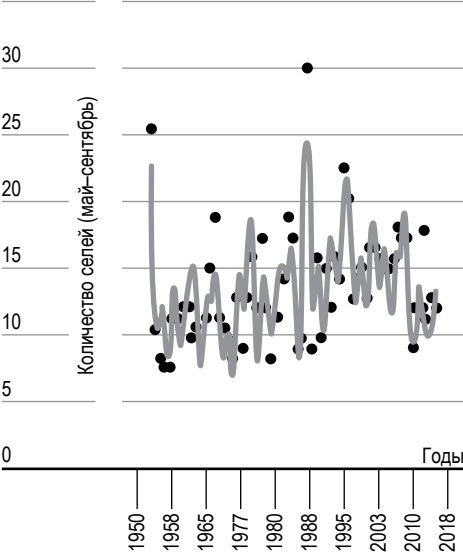
Chi-sq: 1316.4

R²: 0.33875

Akaike IC: 1329.9

p: 0.00029812

г) 8 гармоник



Partials

☒ Fit periods

8

Compute

	Amplitude	Phase	Period
1	3.149	-1.844	60.77
2	2.568	0.07546	6.957
3	2.08	0.1568	10.65
4	2.059	0.4855	4.222
5	1.935	-0.4154	2.426
6	1.789	-0.3395	4.914
7	2.208	0.04278	3.062
8	2.046	-1.091	2.846

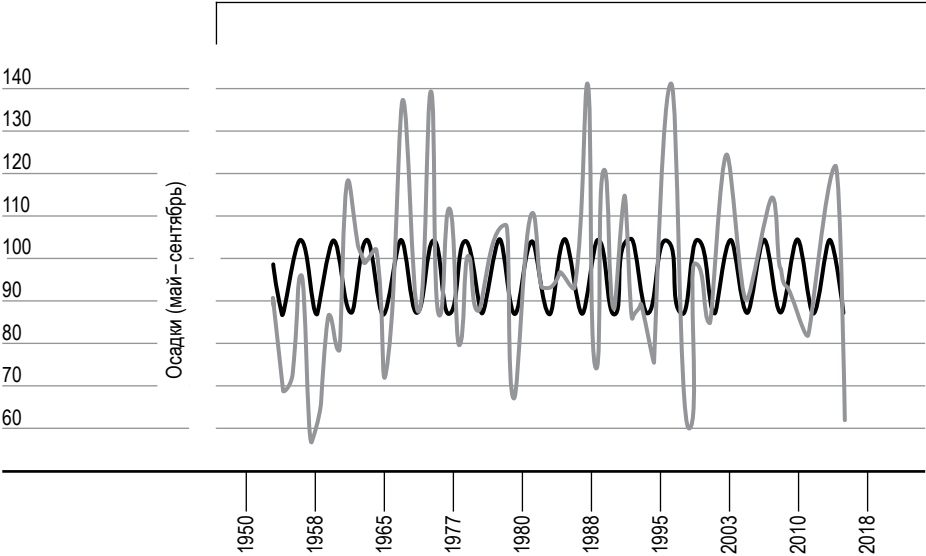
Offset: 7.941

Chi-sq: 707.66

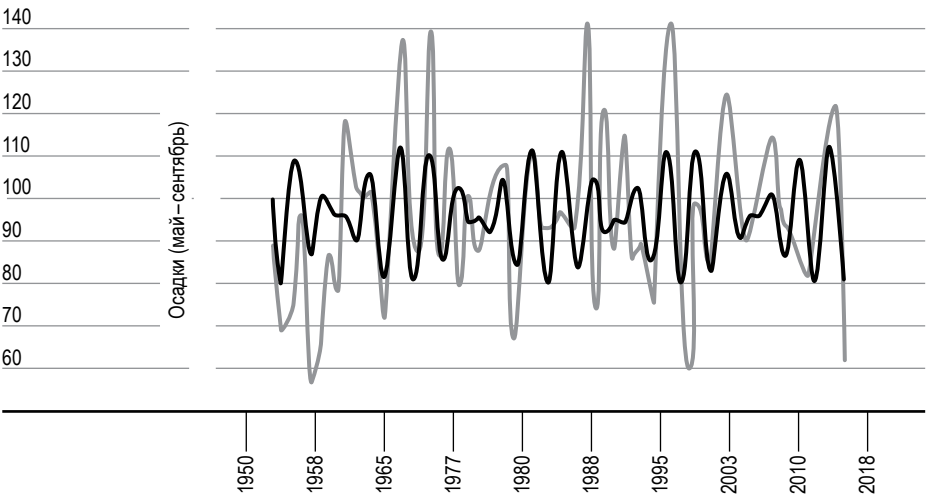
Akaike IC: 751.48

R^2: 0.64451

p: 4.4639E-06

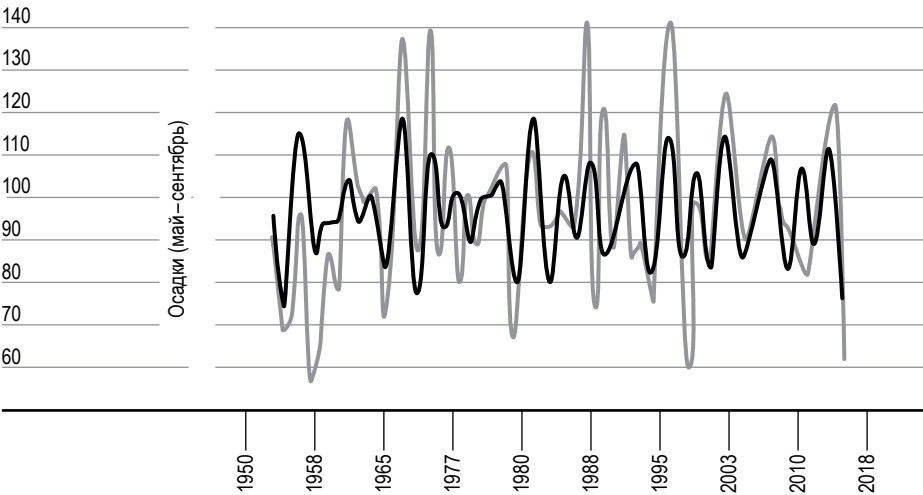


а) 1 гармоника, $T = 3,6$ года, $R^2 = 0,1238$, $\chi^2 = 17726$, $AIC = 17730$.

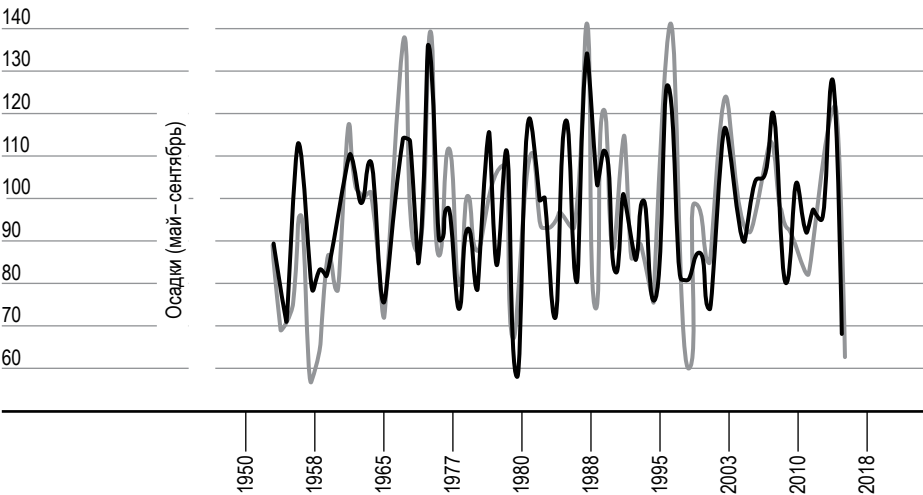


б) 2 гармоники, $T = 3,6; 2,9$ года, $R^2 = 0,22$, $\chi^2 = 15768$, $AIC = 15777$.

Рис. 2. Модель синусоидальной регрессии сумм осадков.
Fig. 2. Sinusoidal regression model of precipitation amounts.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.



в) 3 гармоника, $T = 3,6; 2,9; 5,1$ года, $R^2 = 0,304$, $\chi^2 = 140078$, $AIC = 14091$.



г) 8 гармоника, периоды в табл. 2; $R^2 = 0,65$, $\chi^2 = 7009$, $AIC = 7053$.

Таблица 2. ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ ЧИСЛА СХОДА СЕЛЕЙ (8 ГАРМОНИК)
Table 2. Data for the sinusoidal regression model of the number of debris flows (8 harmonics)

Амплитуда, А	Фаза, φ_0	Период, Т (годы)	
3,149	-1,84	61	
2,268	0,07546	7	
2,08	0,1568	10,7	
2,06	0,4855	4,2	
1,935	-0,4154	2,4	
1,789	-0,3395	5	
2,208	0,04278	3,1	
2,046	-1,091	2,8	

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

роткий период $T = 3,6$ года. При добавлении 2-й гармоники влияние еще одного короткого периода $T = 2,9$ года уточняет амплитуду изменений ряда осадков и увеличивает качество модели до $R^2 = 0,22$ ($p = 0,003$).

Ту же функцию выполняет 3-я гармоника и так далее до 8-й гармоники, в этом случае добавляется самый длинный период $T = 20,1$ года. Эффективность модели с 8 гармониками максимальная: коэффициент детерминации повышается до $R^2 = 0,65$ ($p \ll 0,05$), уменьшаются значения хи-квадрата и критерия Акаике до $\chi^2 = 7009$ и $AIC = 7053$.

Таким образом, в формировании синусоидальной модели ряда с осадками наиболее значимо выделяются короткие периоды от $T = 2,1$ года до $T = 8,7$ лет и один длинный период $T = 20,1$ года (табл. 3).

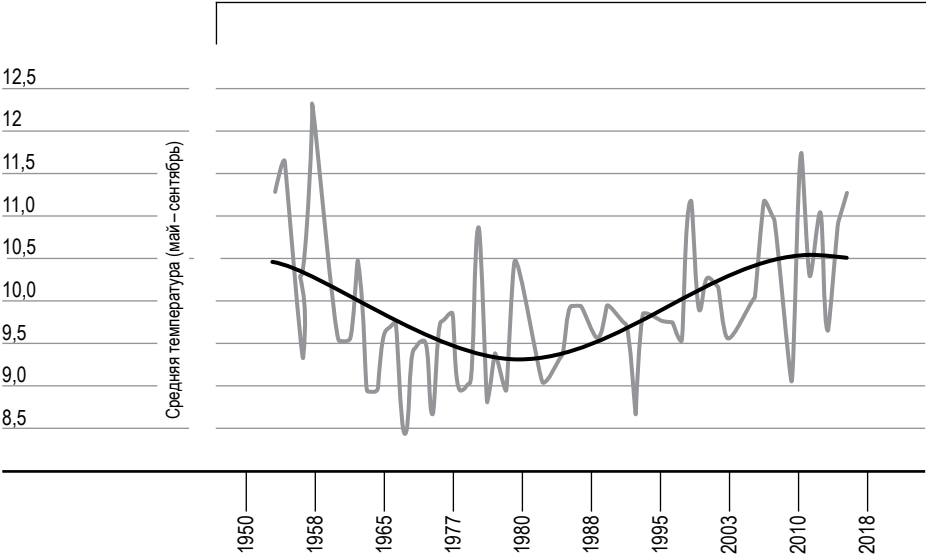
Таблица 3. ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ РЯДА
ОСАДКОВ (8 ГАРМОНИК)
Table 3. Data for sinusoidal regression model of precipitation series
(8 harmonics)

Амплитуда, A	Фаза, φ_0	Период, T (годы)	
8,145	-1,259	3,6	
7,797	-1,45	2,9	
7,085	-2,49	5	
7,551	-0,6476	8,7	
8,601	0,9235	2,1	
7,308	2,982	2,2	
6,685	3,057	6,5	
6,331	-1,853	20,1	

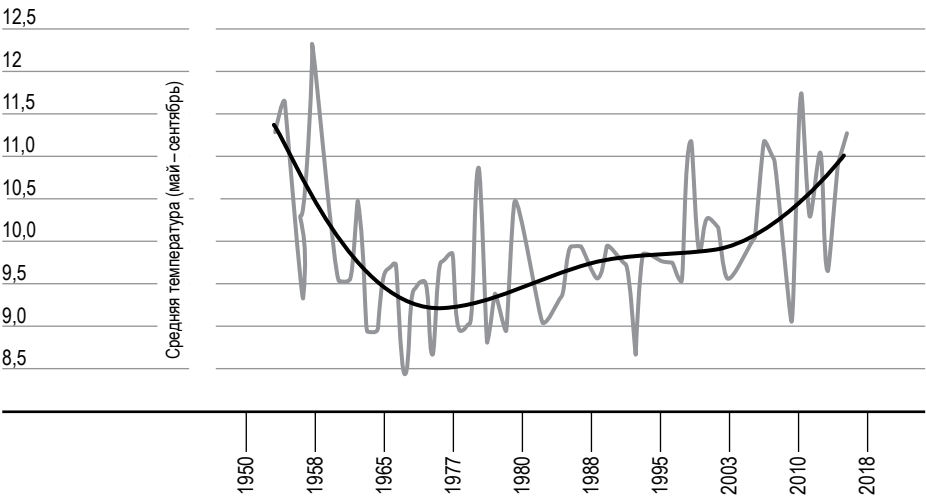
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Из рисунка 3, а видно, что с учетом одной гармоники в синусоидальной модели средней температуры выделяется длинный период $T = 63$ года, где минимум температуры приходится на интервал с середины 60-х до середины 80-х лет прошлого столетия, а максимумы на 50-е гг. XX столетия и 10-е гг. 21-го столетия. По сравнению с другими рядами одна гармоника в ряду температур достаточно точно и на статистически значимом уровне описывает медленные изменения тренда ($R^2 = 0,28, p \ll 0,05$).

При добавлении второй гармоники, выявленный длинный период ($T = 64$ года, $\varphi_0 = -3,113$) уточняет ход кривой изменения температуры (рис. 3, б), а именно, смещает минимум температуры на середину 70-х лет прошлого столетия, максимумы остаются там же,

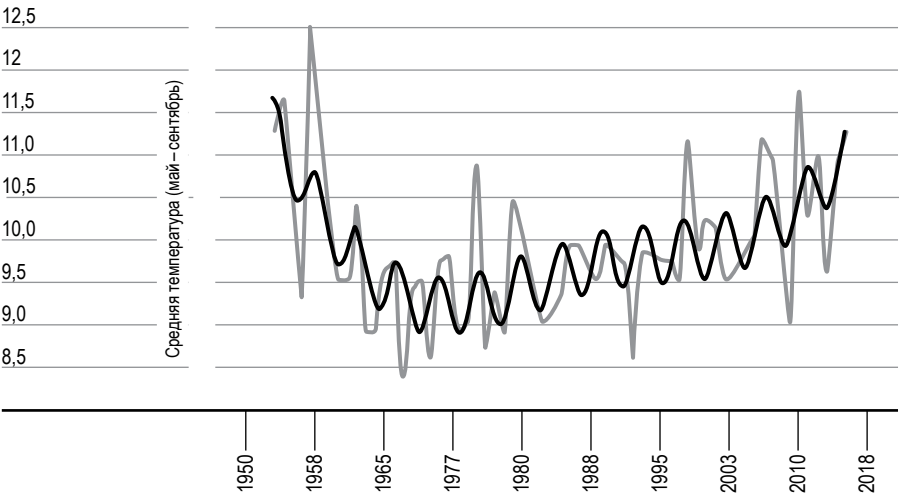


а) 1 гармоника, $R^2 = 0,28$ ($p \ll 0,05$), $T = 63$ года, $\varphi = 0,01838$; $\chi^2 = 29,06$, $AIC = 33,26$.

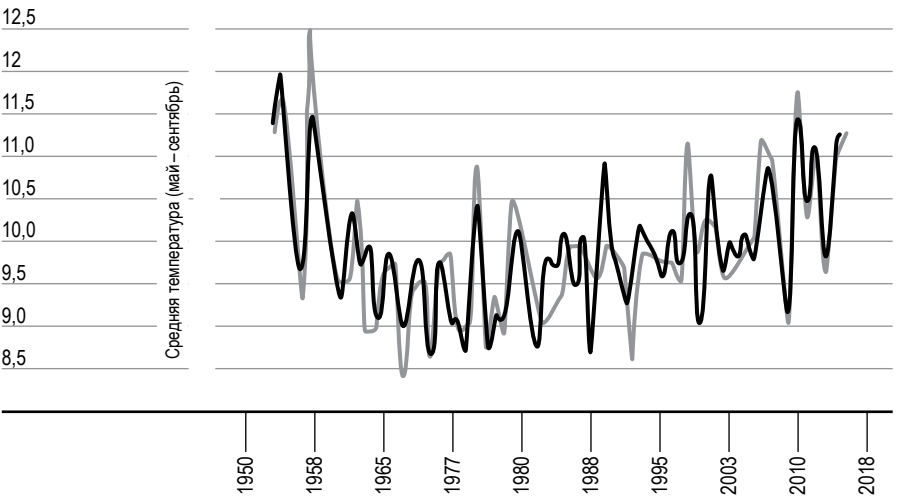


б) 2 гармоники, $R^2 = 0,62$ ($p \ll 0,05$), $T = 63$ года, $\varphi = 0,01838$, $T = 64$ года, $\varphi = -3,123$; $\chi^2 = 23,68$, $AIC = 32,37$.

Рис. 3. Модель синусоидальной регрессии средней температуры.



в) 3 гармоники, $T = 64$ года; 64 года; $4,4$ года; $R^2 = 0,67$, $\chi^2 = 19,73$, $A/C = 33,23$.



г) 8 гармоник, периоды в табл. 3. $R^2 = 0,83$, $\chi^2 = 10,38$, $A/C = 54,20$.

Fig. 3. Sinusoidal regression model of average temperature.
Источник: составлено авторами /Source: compiled by the authors.

в начале и конце исследуемого периода (1953–2012 гг.). Качество модели увеличивается: с $R^2 = 0,28$ до $R^2 = 0,62$ ($p \ll 0,05$).

При добавлении 3-й гармоники добавляется короткий период $T = 4,4$ года, что улучшает качество модели до $R^2 = 0,67$ ($p \ll 0,05$). Медленный тренд остается таким же синусоидальным, при этом вдоль него появляются пульсации температуры с максимумами каждые 4 года (рис. 3, в).

При увеличении гармоник до восьми происходит уточнение амплитуд пульсаций (рис. 3, з). Выделяются короткие периоды от $T = 2$ лет до $T = 5$ лет и два длинных периода по $T = 64$ года с разными фазами, данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. ДАННЫЕ ДЛЯ МОДЕЛИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ РЯДА ТЕМПЕРАТУР (8 ГАРМОНИК)
Table 4. Data for sinusoidal regression model of temperature series (8 harmonics)

Амплитуда, A	Фаза, φ_0	Период, T (годы)	
9208	0,01838	64	
9207	–3,123	64	
0,3236	0,2434	4,4	
0,2701	2,32	3,5	
0,2505	2,336	2,9	
0,2378	–1,875	2,3	
0,2236	1,934	1,9	
0,2211	0,1653	5,2	

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

Из сравнительного анализа рядов селей, температур

и осадков при пошаговом включении гармоник в функцию синусоидальной регрессии следует, что в отличие от рядов с селями и температурой, в ряду осадков наиболее значимыми являются короткопериодические пульсации ($T = 4$ года) на фоне медленного изменения с периодом $T = 20,1$ года.

Заключение

Проведенный анализ позволил оценить тенденцию изменения числа схода селей (в основном дождевого генезиса) на фоне долговременных изменений климатических переменных в теплый сезон (май-сентябрь) 1953–2015 гг. С целью выявления особенностей временной изменчивости и выделения возможных периодичностей исследуемых рядов был проведен спектральный анализ, реализованный в программе Past 4.03. Для оценки изменения числа селей в теплые сезоны с учетом долговременных изменений климатических переменных построены модели синусоидальной регрессии. Получено, что:

- с использованием одной гармоники в ряду с селями выделяется медленный тренд с периодом $T = 62$ года, который позволил выделить рост количества схода селей в 90-е гг. XX столетия ($R^2 = 0,157$); в ряду с осадками была выявлена цикличность ряда сумм осадков с коротким периодом $T = 3,6$ года ($R^2 = 0,124$); в ряду с температурами выделяется период $T = 63$ года с максимальными значениями температур в начале и конце исследуемого периода 1953–2015 гг. ($R^2 = 0,28$).
- при использовании восьми гармоник на фоне медленных изменений добавляются короткопериодные пульсации. В ряду с селями – это короткие периоды от $T = 2,4$ года до $T = 10,7$ лет на фоне основного периода $T = 62$ года. В ряду температур – это короткие периоды от $T = 1,9$ года до $T = 5,2$ лет на фоне длинного периода $T = 63$ года. В ряду с осадками к корот-

ким периодам от $T = 2,2$ лет до 8,7 лет добавляется длинный период $T = 20,1$ года.

При использовании восьми гармоник значительно вырастает качество моделей: для селей $R^2 = 0,645$, для осадков $R^2 = 0,653$, для температур $R^2 = 0,829$.

Таким образом, выявленные длиннопериодические колебания у селей и температур связаны со значительными и нелинейными изменениями в элементах этих рядов в течении исследуемого периода. В отличие от этих рядов, в ряду осадков наиболее значимыми являются короткопериодические изменения ($T = 4$ года) на фоне колебания с периодом $T = 20,1$ года, что формирует медленные синусоидальные изменения режима осадков.

Список источников

1. Докукин М. Д., Беккиев М. Ю., Калов Р. Х., Шагин С. И. Зоны поражения селевыми потоками 1967 года в долине реки Баксан (Центральный Кавказ) // Природообустройство. 2023. № 1. С. 102–107.
2. Мальнева И. В., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Акаев А. Р. Селевой поток в урочище Джилы-Су (Северное Приэльбрусье) 4 октября 2022 г.: причины и факторы // Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг при инженерных изысканиях. Материалы Общероссийской научно-практической конференции. М.: Геомаркетинг, 2023. С. 111–118.
3. Malneva I. V., Kononova N. K. The activity of mudflow processes in mountains of Russia and adjacent countries in 20 century. International Symposium on Latest Natural Disasters (September 5–8, 2005. Sofia, Bulgaria). CD. Topic VI. Case studies. Conclusions and recommendations. Sofia, 2005. P. 787–800.
4. Кюль Е. В., Гедуева М. М., Атаев З. В. Селевая активность в бассейне реки Самур (Восточный Кавказ) по результатам мониторинга 2020 года // Известия ДГПУ. Т. 15. № 1. 2021. С. 73–88.
5. Беккиев М. Ю., Докукин М. Д., Калов Р. Х., Ташилова А. А. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 8. № 3. С. 57–80.

6. Ташилова А. А., Федченко Л. М., Залиханов М. Ч, Кондратьева Н. В. Анализ динамики селей на фоне климатических изменений в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 1. С. 71–90. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.1.4>
7. Дворецкая И. В., Крученицкий Г. М., Матвиенко Г. Г., Станевич И. И. Астрономические факторы в долговременной эволюции климата Земли // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 2. С. 139–149.
8. Статников К. А., Крученицкий Г. М. Статистическое моделирование глобальной тектонической активности и некоторые физические следствия из его результатов // Пространство и Время. 2015. № 1–2(19–20). С. 314–317.
9. Ашабоков Б. А., Кешева Л. А., Крученицкий Г. М., Ташилова А. А., Шокуев Р. А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова Южного федерального округа России // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 662. С. 22–25.
10. Мальнева И. В., Кононова Н. К. Активность селей на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке // Геоиск. 2012. № 4. С. 48–56.
11. Кондратьева Н. В. Распространение и особенности проявления селевых процессов на северном и юго-западном склонах Большого Кавказа: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.23 / Кондратьева Наталия Владимировна. Нальчик, 2018. 402 с.
12. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologic Electronica 2014. No. 1. P. 9.
13. Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. Т. 1. М.: Финансы и статистика, 1989. 510 с.
14. Hirotsugu A. A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control 1974. No. 6. P. 716–723.

References

1. Dokukin MD, Bekkiev MYu, Kalov RKh, Shagin SI. Zones affected by mudflows in 1967 in the Baksan River valley (Central Caucasus). Nature Management. 2023;(1):102-107. (In Russ.).

2. Malneva IV, Dokukin MD, Kalov RKh, Akaev AR. Mudflow in the Djily-Su tract (Northern Elbrus region) October 4, 2022: causes and factors. Study of hazardous natural processes and geotechnical monitoring during engineering surveys. In Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. M.: Geomarketing LLC; 2023. P. 111–118. (In Russ.).
3. Malneva IV, Kononova NK. The activity of mudflow processes in mountains of Russia and adjacent countries in 20 century. In International Symposium on Latest Natural Disasters (September 5–8, 2005. Sofia, Bulgaria). CD. Topic VI. Case studies. Conclusions and recommendations. Sofia; 2005. P. 787-800.
4. Kul EV, Gedueva MM, Ataev ZV. Mudflow activity in the Samur River basin (Eastern Caucasus) based on monitoring results in 2020. News of the DSPU. 2021;15(1):73-88. (In Russ.).
5. Bekkiev MYu, Dokukin MD, Kalov RKh, Tashilova AA. Modern degradation of valley glaciers of the Central Caucasus. Fundamental and applied climatology. 2021;8(3):57-80. (In Russ.).
6. Tashilova AA, Fedchenko LM, Zalikhanov MCh, Kondratyeva NV. Analysis of the dynamics of mudflows against the background of climate change in the high-mountain zone of Kabardino-Balkaria. Science. Innovations. Technologies. 2024;(1):71-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.1.4>
7. Dvoretzskaya IV, Kruchenitsky GM, Matvienko GG, Stanovich II. Astronomical factors in the long-term evolution of the Earth's climate. Optics of the atmosphere and ocean. 2014;27(2):139-149. (In Russ.).
8. Statnikov KA, Kruchenitsky GM. Statistical modeling of global tectonic activity and some physical consequences of its results. Space and time. 2015;1-2(19-20): 314-317. (In Russ.).
9. Ashabokov BA, Kesheva LA, Kruchenitsky GM, Tashilova AA, Shokuev RA. Modeling of seasonal and long-term variability of snow cover in the Southern Federal District of Russia. In Proceedings of the A.F. Military Space Academy Mozhaisky. 2018;(662):22-25. (In Russ.).
10. Malneva IV, Kononova NK. Mudflow activity in Russia and neighboring countries in the 21st century. Georisk. 2012;(4):48-56. (In Russ.).
11. Kondratyeva NV. Distribution and features of mudflow processes on the northern and southwestern slopes of the Great-

- er Caucasus. Dis. dr. geogr. sciences: 25.00.23. Kondratyeva Nataliya Vladimirovna. Nalchik; 2018. 402 p. (In Russ.).
12. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologic Electronica. 2014;4(1):9.
 13. Handbook of Applied Statistics. Ed. By E. Lloyd, W. Lederman, YuN Tyurin. M.: Finance and Statistics; 1989. Vol. 1. 51 p.
 14. Hirotsugu A. A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control. 1974;19(6):716-723.

Информация об авторах

Борис Азреталиевич Ашабоков — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики облаков Высокогорного геофизического института, заведующий отделом Института информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Scopus ID: 6505916110, Researcher ID: K-4299-2015_

Алла Амарбиевна Ташилова — доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории микрофизики облаков Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57191577384, Researcher ID: K-4321-2015_

Лара Асировна Кешева — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории атмосферных конвективных явлений Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57191577471, Researcher ID: K-4261-2015

Наталия Вячеславовна Теунова — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории микрофизики облаков Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57191571952, Researcher ID: K-4312-2015_

Вклад авторов: все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации статьи.

Information about the authors

Boris A. Ashabokov — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Department of Cloud Physics, High-Mountain Geophysical Institute, Head of Department at the Institute of Informatics and Regional Management Problems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Scopus ID: 6505916110, Researcher ID: K-4299-2015

Alla A. Tashilova — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Senior Research Associate at the Laboratory of Cloud Microphysics, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57191577384, Researcher ID: K-4321-2015

Lara A. Kesheva — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher at the Laboratory of Atmospheric Convective Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57191577471, Researcher ID: K-4261-2015

Nataliya V. Teunova — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher at the Laboratory of Cloud Microphysics, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57191571952, Researcher ID: K-4312-2015

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

Научная статья

УДК 551.509

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА ГРАДОБИТИЙ

Лежинка Танашевна Созаева^{1*},
Артур Хасанбиевич Кагермазов²

^{1,2} Высокогорный геофизический институт (2, пр. Ленина,
Нальчик, 360030, Российская Федерация)

¹ lj_k_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Опасные явления погоды наносят огромный ущерб всему народному хозяйству. Градобития, ливни, заморозки, засухи, песчаные и пыльные бури губительны для сельского хозяйства. В связи с чем в настоящее время одной из проблем производства сельхозкультур является снижение рисков, связанных с опасными погодными явлениями. Объектом данного исследования является оптимизация структуры сельскохозяйственного производства с учетом градобитий. Для снижения рисков от градобитий принято использовать активные методы, связанные с воздействием на градовые процессы с целью его подавления, и пассивные – установление различных противоградовых сеток. В данной работе в рамках применения методов математического моделирования предлагается метод теории принятия решения – оптимизации структуры выращиваемых сельхозкультур с учетом особенностей их чувствительности к повреждениям от града. Кроме того, вносится коррекция на эффективность мероприятий по снижению рисков от градобитий. Мероприятия могут быть разработаны руководителем, если предприятие обеспечено прогнозом града. Задача оптимизации решается с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости сельхозкультур, введенного в соответствии с прогнозом града с заблаговременностью до трех суток. Для решения задачи проводятся численные эксперименты с

привлечением надстройки «Поиск решения» для Excel. В ходе работы обнаружено, что предлагаемый подход, требующий формирования плана мероприятий с учетом прогноза града, имеет высокую эффективность для снижения рисков от градобитий, и регулирования величины прибыли от производства сельхозкультур. По результатам исследований сделан вывод о том, что обеспечение хозяйства прогнозом града с заблаговременностью до трех суток позволит снизить риски от градобитий.

Ключевые слова: прогноз града, снижение рисков от градобитий, целевая функция, теория принятия решения, коэффициент повреждаемости

Для цитирования: Созаева Л. Т., Кагермазов А. Х. Задача оптимизации структуры сельскохозяйственного производства с учетом прогноза градобитий // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 95–110. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.07.2024;
одобрена после рецензирования 02.09.2024;
принята к публикации 09.09.2024.

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

Research article

Optimizing the structure of agricultural production with account of hail forecasts

**Lezhinka T. Sozaeva^{1*},
Artur Kh. Kagermazov²**

^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin Ave., Nalchik, 360001, Russian Federation)

¹ lj_k_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Corresponding author

Abstract.

Hazardous weather phenomena cause enormous damage to the entire national economy. Hail storms, heavy rains, frosts, droughts, sand and dust storms are detrimental to agriculture. In this regard, currently one of the crop production problems is to reduce the risks associated with dangerous weather phenomena. The object of this study is the optimization of the structure of agricultural production with account of hail storms. To decrease hail storms damage, it is customary to use active methods related to the impact on hail processes in order to suppress them, and passive methods, namely the establishment of various anti-hail nets. The study proposes a method of decision-taking theory as a part of mathematical modeling methods: optimization of the structure of cultivated crops taking into consideration the peculiarities of their sensitivity to hail damage. In addition, adjustments are being made to the effectiveness of measures to decrease hail storms damage. Measures can be developed by the director if the company is provided with a hail forecast. The optimization problem is solved with the reference to the adjusted damageability coefficient introduced in accordance with the hail-warning forecast up to three days. To solve the problem, numerical experiments are carried out using the «Solution Search» add-in for Excel. In the course of the work, it was found that the proposed approach, which requires the formation of an action plan taking into account the hail forecast, is highly effective in decreasing hail storms damage and regulating the amount of profit from crop production. According to the results of the research, it was concluded that providing the industry with a hail-warning forecast up to three days will reduce the risks from hail storms.

Keywords:

hail forecast, decreasing hailstorms-damage, objective function, decision-taking theory, coefficients damageability

For citation:

Sozaeva LT, Kagermazov AKh. Optimizing the structure of agricultural production with account of hail forecasts. Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):95-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.5>

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

The article was submitted 22.07.2024;
approved after reviewing 02.09.2024;
accepted for publication 09.09.2024.

Введение

Опасные явления погоды ежегодно наносят серьезные повреждения посевам и насаждениям, иногда полностью уничтожая их. Для снижения потерь в сельском хозяйстве, связанных с опасными погодными явлениями, необходимо уметь их предсказывать и адаптировать производство сельхозкультур к возможным последствиям от неблагоприятных условий погоды.

Для территории Северного Кавказа серьезную опасность представляют градобития, наносящие значительный ущерб сельскому хозяйству.

При этом снижения рисков от градобитий можно добиться различными способами. Первый – это предотвращение выпадения града в результате его подавления различными методами активных воздействий. Или применением пассивных методов, в том числе противоградовых сеток для защиты фруктовых деревьев, виноградников и овощей. Второй подход основан на применении методов математического моделирования.

В рамках второго подхода находят применение задачи оптимизации с формированием целевой функции, в которую вводятся известные из практики коэффициенты повреждаемости сельхозкультур [1-4]. Целью данной работы является решение задачи оптимизации структуры сельского хозяйства на основе коэффициента повреждаемости, скорректированного с учетом заблаговременности прогноза града.

Для достижения поставленной цели предлагается:

- построить целевую функцию задачи оптимизации структуры сельхозкультур с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости;
- получить решение задачи для различных сроков заблаговременности прогноза града.

Для решения задачи оптимизации привлекается симплекс-метод, реализованный в надстройке «Поиск решения» в Microsoft Excel.

Материалы и методы исследований

В общем виде математическая постановка задачи оптимизации сводится к определению максимального (минимального) значения целевой функции F [5]:

$$F = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max (\min), \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i &= b_j \quad (j = 1, \dots, k), \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i &\leq b_j \quad (j = k + 1, \dots, m), \\ b_j &\geq 0 \quad (i = 1, \dots, n), \end{aligned} \quad (2)$$

a_{ij}, b_j, c_i – заданные постоянные величины и $k \leq m$.

Совокупность чисел $X = (x_1, x_1, \dots, x_n)$, удовлетворяющих ограничениям задачи, называется допустимым решением. Решение, при котором целевая функция задачи принимает максимальное (минимальное) значение, называется оптимальным.

Если целевая функция (1) и система ограничений (2) линейные, то мы имеем дело с задачей линейного программирования, универсальным методом решения которой является симплекс-метод.

В случае производства сельскохозяйственной продукции задача оптимизации (определения структуры сельского хозяйства) основывается на данных об урожайности выращиваемых культур, объемах и затратах различных ресурсов.

Особенности информационного обеспечения данной задачи определяются необходимостью наличия информации о значениях коэффициентов повреждаемости различных культур и качественной прогностической информации о градобитии для организации технологических мер для уменьшения ущерба.

Известно, что на урожайность сельскохозяйственных культур негативное влияние оказывают градобития, которые составляют 40 % от метеорологически обусловленных стихийных бедствий.

Так, на территории, находящейся в зоне ответственности Северо-Кавказской военизированной службы, наблюдается в среднем 32 дня с градом при максимальном значении 47 дней (2015 г.) за сезон, а Краснодарской службы – 36 дней с градом при максимальном значении равном 51 дню (2012 г.) за сезон [6, 7]. Причем вероятность выпадения града на конкретной территории высока. Например, на территории Прохладненского района КБР на временном интервале 1958–2008 гг. в течение сезона противоградовых работ она равна 0,6 [8].

Одной из задач, решаемых в рамках комплексного градового эксперимента на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института, являлась оценка повреждаемости различных культур. Во время выпадения града собирались пробы градин (градовые подушки), рассчитывались спектральные и энергетические характеристики для восстановления их микрофизических характеристик. Одновременно определялась степень повреждения сельхозкультур [1, 2].

Исследования показали, что степень повреждения сельхозкультур зависит от размера, массы, концентрации града, а также от кинетической энергии и потока кинетической энергии града. Коэффициент корреляции оказался наибольшим между повреждаемостью и кинетической энергией града [2]. Повреждаемость пшеницы от градобития оказалась равной 0,5, а кукурузы – 0,35 для случаев кинетической энергии града, равной 100 Дж/м².

Зарубежными исследователями была получена повреждаемость винограда при такой же кинетической энергии, равная 0,45 [3]. Для овса и картофеля по результатам опроса специалистов приняты коэффициенты 0,6 и 0,4, соответственно [4].

Известно, что заблаговременный прогноз града позволяет уменьшить риски от градобитий. В авторских работах для прогнозирования града предлагается методика, согласно которой в качестве исходной информации используется выходная продукция глобальной модели атмосферы GFS NCEP с заблаговременностью до 3 суток [9–12]. Созданный по этой методике программный продукт для прогноза параметров атмосферы и града прошел успешную апробацию [13].

Наличие прогностической информации позволяет разработать план мероприятий по сохранению урожая от повреждений в период градобития. Обычно он разрабатывается руководителем сельхозпредприятия в соответствии с технологическим регламентом производства сельхозкультур.

В зависимости от заблаговременности прогноза града предприятие может функционировать в некотором режиме организационно-технических мероприятий. Эффективность мероприятий определяется техническими и кадровыми возможностями предприятия.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим некоторое предприятие, специализирующееся на производстве пшеницы, кукурузы, винограда, овса и картофеля. Требуется определить структуру сельскохозяйственных угодий, обеспечивающую получение максимальной прибыли. Тогда целевая функция запишется в виде [8]:

$$F = \sum_{i=1}^5 (\Pi_i - C_i) Y_i, x_i \rightarrow \max, i = 1, 2, \dots, 5, \quad (3)$$

где F – прибыль от производства культур;
 x_i – площади, занимаемые i -ми культурами;
 Y_i – урожайность;
 Π_i – цена реализации и
 C_i – себестоимость i -ых культур.

Согласно севообороту установлено, что площадь, отводимая под зерновые культуры, не должна превышать 600 га, из них под пшеницу не более 250 га. Под виноградники выделяется 50 га. Общая площадь сельхозугодий составляет 900 га, трудовые ресурсы – 40 000 чел.-дн. По плану требуется произвести и реализовать не менее 8 000 ц зерна и 40 000 ц картофеля.

Исходная информация о структуре и производственно-экономических показателях представлена в таблице 1.

Необходимо построить модель оптимизации для нахождения структуры распределения посевных площадей, дающей максимальную прибыль с учетом сроков заблаговременности прогноза града.

Таблица 1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЯХ
Table 1. Initial information on production and economic indicators

Культуры	Урожайность, ц/га	Трудоемкость, чел. дн. /ц	Себестоимость, ден. ед./ц	Цена реализации, ден. ед./ц
Пшеница	36	0,2	3	7
Кукуруза	130	0,4	2	4
Овес	30	0,3	3	7
Виноград	70	0,1	2	4
Картофель	200	0,5	6	9

Источник: составлено по данным [5] / Source: compiled according to data [5]

Введем следующие обозначения площадей (га), отводимых под сельхозкультуры: x_1 – пшеницу, x_2 – кукурузу, x_3 – овес, x_4 – виноград и x_5 – картофель.

- По условию задачи имеем:
- общая площадь сельхозкультур:
 $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 900$;
 - площадь виноградников: $x_1 = 50$.

Ограничения по допустимо возможным площадям отдельных культур и групп, га:

- общая площадь зерновых: $x_1 + x_2 + x_3 \leq 600$;
- площадь, отводимая под пшеницу: $x_1 \leq 250$.

- Ограничения по производству продукции, ц:
- по валовому сбору картофеля: $200x_5 \geq 40\,000$;
 - по валовому сбору зерновых:
 $36x_1 + 130x_2 + 30x_3 \geq 40\,000$.

Ограничения по трудовым ресурсам, чел. дн.:

$7,2x_1 + 52x_2 + 9x_3 + 7x_4 + 100x_5 \leq 600$.

Допустим, что предприятие располагается на территории, где имеется вероятность выпадения града, который может нанести ущерб сельхозкультурам.

Тогда с учетом выше определенных коэффициентов повреждаемости K_i (табл. 1) составим целевую функцию по критерию – максимум прибыли:

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K_i) (\Pi_i - C_i) Y_i, x_i \rightarrow \max, i = 1, 2, \dots 5. \quad (4)$$

Также допустим, что предприятие обеспечивается прогнозом града с заблаговременностью сутки, двое и трое суток. Тогда появляется возможность разработать план мероприятий для снижения рисков от градобития. Пусть на стадии уборки урожая зерновых культур разработан план мероприятий, который позволит сохранить урожай на 100, 80 и 50 %, а на стадии проведения работ по укрытию защитными сетками виноградников и садов интенсивного производства – защитить насаждения на 100, 80 и 50 % в соответствии с заблаговременностью прогноза. С учетом этих мероприятий предприятие может функционировать в трех режимах в соответствии со сроками заблаговременности прогноза града.

В функцию (4) с учетом заблаговременности прогноза града введем скорректированный коэффициент повреждаемости K' :

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K'_i) (\Pi_i - C_i) Y_i, x_i = (1 - K'_1) 144x_1 + (1 - K'_2) 260x_2 + (1 - K'_3) 120x_3 + (1 - K'_4) 140x_4 + (1 - K'_5) 600x_5 \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$K'_i = K_i \cdot K_j,$$

где $K_j = 1 - \mathcal{E}_j$ – поправочный множитель на предупрежденность градобития с нарастающей заблаговременностью $j = 1, 2, 3$ (первый, второй и третий режим);

$\mathcal{E}_j$ – эффективность мероприятия.

В соответствии с планом мероприятий скорректированные коэффициенты повреждаемости принимают значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2. СКОРРЕКТИРОВАННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ
Table 2. Adjusted damageability coefficients

Наименование культуры	Коэффициент повреждаемости, K_i	Поправочный множитель, K_j			Скорректированный коэффициент повреждаемости, K_i'		
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$
Пшеница	0,5	0	0,2	0,5	0	0,1	0,25
Кукуруза	0,35	0	0,2	0,5	0	0,07	0,175
Виноград	0,45	0	0,2	0,5	0	0,09	0,225
Овес	0,6	0	0,2	0,5	0	0,12	0,3
Картофель	0,4	0	0,2	0,5	0	0,08	0,2

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

Запишем целевую функцию для различных вариантов численных экспериментов.

Первый вариант – функционирование предприятия в первом режиме работы (100 % эффективность работ по сохранению урожая) или случай отсутствия града:

$$F = \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_1) (\Pi_i + C_i) Y_i x_i = 144x_1 + 260x_2 + 120x_3 + 140x_4 + 600x_5 \rightarrow \max. \tag{6}$$

Второй вариант – работа предприятия во втором режиме (80 % эффективность мероприятий):

$$\begin{aligned} F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_2) (\Pi_i + C_i) Y_i x_i = \\ &= (1 - 0,1) 144x_1 + (1 - 0,07) 260x_2 + \\ &+ (1 - 0,12) 120x_3 + (1 - 0,09) 140x_4 + (1 - 0,08) 600x_5 = \\ &= 0,9 \cdot 140x_1 + 0,93 \cdot 260x_2 + 0,88 \cdot 120x_3 + 0,91 \cdot 140x_4 + 0,02 \cdot 600x_5 \rightarrow \max. \end{aligned} \tag{7}$$

Третий вариант – предприятие в третьем режиме (50 % эффективность мероприятий):

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_3)(\Pi_i + C_i) Y_i x_i = \\
 &= (1 - 0,1) 144x_1 + (1 - 0,07) 260x_2 + \\
 &\quad + (1 - 0,12) 120x_3 + (1 - 0,09) 140x_4 + (1 - 0,08) 600x_5 = \\
 &= 0,9 \cdot 140x_1 + 0,93 \cdot 260x_2 + 0,88 \cdot 120x_3 + 0,91 \cdot 140x_4 + 0,02 \cdot 600x_5 \rightarrow \max.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Четвертый вариант – случай без мероприятий по сохранению урожая, т.е. с градобитием:

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^5 (1 - K_i \cdot K_i)(\Pi_i + C_i) Y_i x_i = \\
 &= (1 - 0,5) 144x_1 + (1 - 0,35) 260x_2 + \\
 &\quad + (1 - 0,45) 120x_3 + (1 - 0,06) 140x_4 + (1 - 0,04) 600x_5 = \\
 &= 0,5 \cdot 140x_1 + 0,65 \cdot 260x_2 + 0,55 \cdot 120x_3 + 0,4 \cdot 140x_4 + 0,6 \cdot 600x_5 \rightarrow \max.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Для решения задачи формируется экранная форма в надстройке «Поиск решения», в которую заносится исходная информация из таблицы 1, прописывается целевая функция в некоторую ячейку, формируются ограничения и выделяются ячейки искомых площадей культур. Активируется вкладка «Линейная модель».

Найденное максимальное значение прибыли отображается в ячейке, выделенной под целевую функцию, а ячейки искомых площадей заполняются оптимальными значениями, которые удовлетворяют установленным ограничениям.

В результате оптимизации целевой функции (6) получены следующие оптимальные значения площадей культур: пшеницы 250 га, кукурузы 226 га, овса 124 га, картофеля 250 г и винограда 50 га. При такой структуре площадей культур получается максимальная величина прибыли.

С учетом мероприятий величина прибыли изменяется. В таких случаях также решается задача оптимизации (7)–(9). При заблаговременности прогноза града, равной трем суткам, удается сохранить урожай без потерь и получить максимальную прибыль, равную 216 581 ден.-ед. С уменьшением заблаговременности прогноза до двух и одних суток эффективность мероприятий уменьшается. Уменьшается и прибыль до 198 454 и 171 263 ден.-ед. соответственно. Тем не менее эти значения прибыли больше, чем при отсутствии

плана мероприятий, когда величина прибыли равна 125 945 ден.-ед.

Результаты численных экспериментов для всех вариантов представлены в сводной таблице 3.

Таблица 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР
Table 3. Results of optimization of the structure of agricultural crops

Наименование культур	Площадь культур, га	Прибыль с учетом скорректированного коэффициента повреждаемости, ден.-ед.			Прибыль с учетом коэффициента повреждаемости, ден.-ед.
		Варианты			
		Первый	Второй	Третий	Четвертый
Пшеница	250	36000	32400	27000	18000
Кукуруза	226	58651	54545	48387	38123
Виноград	124	14930	13138	10451	5972
Овес	50	7000	6370	5425	3850
Картофель	250	100000	92000	80000	60000
Итого	900	216581	198454	171263	125945

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

Результаты численных экспериментов показали, что оптимизация структуры сельхозкультур позволяет найти такое распределение их площадей, которое дает максимальную прибыль. Заблаговременный прогноз града позволяет разработать план мероприятий таким образом, что при производстве сельхозкультур риски от градобитий уменьшаются с увеличением сроков заблаговременности прогноза.

Заключение

Ранее проведенные испытания программного продукта по прогнозированию града с заблаговременностью до трех суток и анализа их успешности показали, что он соответствует критериям качества прогнозов. Что делает возможным его применение

в сельскохозяйственном производстве для формирования плана мероприятий по уменьшению рисков от градобитий.

Численные эксперименты показали, что решение задачи оптимизации с учетом сроков заблаговременности прогноза града имеет хорошие перспективы в сельскохозяйственном производстве для оптимизации его структуры.

Список источников

1. Тлисов М. И., Таумурзаев А. Х., Федченко Л. М., Хучунаев Б. М. Физические характеристики града и повреждаемость сельскохозяйственных культур // Труды Высокогорного геофизического института. 1987. № 74. С. 37–144.
2. Таумурзаев А. Х. Методические принципы обследования, учета и оценки степени повреждения сельскохозяйственных культур от града // Физика образования градовых процессов и активных воздействий на них. М.: Гидрометеиздат, 1988. С. 104–115.
3. Berville P., Jean C., Lescure A. Relations entre les paramètres physique, des chutes de grele et les dégats occasions aux cultures. Contr. GREFAACH. 1980. No. 39. P. 59–65.
4. Абшаев А. М., Абшаев М. Т., Барекова М. В., Малкарова А. М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. Нальчик: Печатный двор, 2014. 508 с.
5. Островская И. Э. Экономико-математическое моделирование в АПК: учебное пособие. Уссурийск: Издательство Приморской государственной сельскохозяйственной академии, 2015. 126 с.
6. Шаймарданов В. М. Мониторинг и исследование опасных гидрометеорологических процессов и явлений на территории РФ на основе многофункциональных методов и систем долговременного хранения их параметров: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Обнинск: Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, 2020. 342 с.
7. Инюхин В. С., Куцев С. А., Суспицина Ю. В. Климатические особенности выпадения града в двух регионах Центрального Кавказа на начало XXI века // Труды Высокогорного геофизического института. 2017. № 100. С. 45–52.
8. Балкизова А. Х. Анализ возможных последствий измене-

ний климата и моделирование снижения рисков в сельском хозяйстве, связанных с опасными явлениями погоды: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Нальчик: ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», 2016. 148 с.

9. Кагермазов А. Х. Прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы (T254 NCEP) // Метеорология и гидрология. 2012. № 3. С. 28–34.
10. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Прогноз града с заблаговременностью до трех суток по выходным данным глобальной модели атмосферы // Труды Главной геофизической обсерватории. 2020. № 598. С. 204–214.
11. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация прогностических полей метеозлементов глобальной модели атмосферы на средние сроки по данным аэрологического зондирования для Центральной части Северного Кавказа // Труды Главной геофизической обсерватории. 2020. № 599. С. 104–114.
12. Созаева Л. Т., Кагермазов А. Х. Прогноз града по дискриминантной функции на основе выходных данных глобальной модели атмосферы // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11 (137). [Электронный ресурс]. URL: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.85> (дата обращения: 17.11.2023). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85>
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2018661467 Российской Федерации. Альтернативный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы GFS NCEP «PROGNOZ GRADA»: №2018618374: заявлено 06.08.2018; зарегистрировано 07.09.2018 / А. Х. Кагермазов; правообладатель ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

References

1. Tlisov MI, Taurmurzaev AKh, Fedchenko LM, Khuchunaev BM. Physical characteristics of hail and damage to agricultural crops. Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo instituta = Proceedings of the High-Mountain Geophysical Institute. 1987;(74):37-144. (In Russ.).
2. Taurmurzaev AKh. Methodological principles for surveying, accounting and assessing the degree of damage to agricultural crops from hail. In Physics of the formation of hail processes

- and active influences on them. M.: Gidrometeoizdat; 1988. P. 104-115. (In Russ.).
3. Berville P, Jean C, Lescure A. Relations entre les parameters physique, des chutes de grele et les degats occasions aux cultures. Contr. GREFAACH. 1980;(39):59-65.
 4. Abshaev AM, Abshaev MT, Barekova MV, Malkarova AM. Guidelines for organizing and conducting anti-hail work. Nalchik: Pechatnyy dvor; 2014. 508 p. (In Russ.).
 5. Ostrovskaya IE. Economic and mathematical modeling in the agro-industrial complex: a textbook. Ussuriysk: Publishing House of the Primorsky State Agricultural Academy; 2015. 126 p. (In Russ.).
 6. Shaimardanov VM. Monitoring and research of dangerous hydrometeorological processes and phenomena on the territory of the Russian Federation based on multifunctional methods and systems for long-term storage of their parameters: dis. doc. physics and mathematics sci. Obninsk: All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center; 2020. 342 p. (In Russ.).
 7. Inyukhin VS, Kushchev SA, Suspitsina YuV. Climatic features of hail in two regions of the Central Caucasus in the beginning of the 21st century. Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo instituta = Proceedings of the High Mountain Geophysical Institute. 217;(100):45-52. (In Russ.).
 8. Balkizova AKh. Analysis of the possible consequences of climate change and modeling of risk reduction in agriculture associated with hazardous weather phenomena: dis. Ph.D. physics and mathematics sci. Nalchik: Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute"; 2016. 148 p. (In Russ.).
 9. Kagermazov AKh. Hail forecast based on the output data of the global atmospheric model (T254 NCEP). Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology. 2012;(3)28-34. (In Russ.).
 10. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Hail forecast with a lead time of up to three days based on the output data of the global atmospheric model. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii = Proceedings of the Main Geophysical Observatory. 2020;(598):204-214. (In Russ.).
 11. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Validation of forecast fields of meteorological elements of the global atmospheric model for medium periods according to aerological sounding data for

the Central part of the North Caucasus. Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii = Proceedings of the Main Geophysical Observatory. 2020;(599):104-114.

12. Sozaeva LT, Kagermazov AKh. Hail forecast using the discriminant function based on the output data of the global atmospheric model. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Scientific Research Journal. 2023;11(137). Available from: <https://research-journal.org/archive/11-137-2023-november/10.23670/IRJ.2023.137.85> [Accessed 17 November 2023]. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85>
13. Certificate of registration of the computer program No. 2018661467 of the Russian Federation. Alternative hail forecast based on output data from the global atmospheric model GFS NCEP "PROGNOZ GRADA": No. 2018618374: declared 08.06.2018: registered 09.07.2018 / Kagermazov AKh; copyright holder of the Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute".

Информация об авторах

Лежинка Танашевна Созаева — кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Высогогорного геофизического института, Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022

Артур Хасанбиевич Кагермазов — заведующий лабораторией атмосферных конвективных явлений, кандидат физико-математических наук, Высогогорного геофизического института, Scopus ID: 55185153100

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

Information about the authors

Lezhinka T. Sozaeva — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Senior Research Associate at the Laboratory of Atmospheric Convective Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022

Artur Kh. Kagermazov — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Laboratory of Atmospheric Convective Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 55185153100

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

Научная статья

УДК 504.056; 873.33.31.23

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.6>

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОБВАЛЬНО-ОСЫПНЫХ ПРОЦЕССОВ

Виктор Владимирович Разумов^{1*},
Наталья Дмитриевна Богданова²,
Наталья Викторовна Разумова³,
Андрей Александрович Лиховид⁴,
Виктор Александрович Шальнев⁵

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

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

³ Российские космические системы Роскосмоса (д. 53, Авиамоторная, Москва, 111250, Российская Федерация)

^{4,5} 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 info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

⁵ phisgeo@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3210-0262>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Рассмотрены результаты систематизации и анализа различных источников, содержащих информацию об активности и опасности проявления обвально-осыпных процессов на автомобильных дорогах Чеченской Республики за 2008–2022 гг. Наибольшая обвально-осыпная активизация (с материальным ущербом) на дорогах республики наблюдалась в 2016–2017 гг. Максимальное число случаев активизации было приурочено к весенне-летнему периоду и в основном обусловлено обильными атмосферными осадками. Охарактеризованы условия, причины, активность и опасность обвально-осыпных проявлений на дорогах республики. За изучаемый период времени зафиксировано около 70 таких проявлений (с материальным ущербом), произошедших на автомобильных дорогах, проходящих по территории Веденского, Итум-Калинского и Шатойского административных районов республики. Приведены сведения об активности и масштабах произошедших за изученный период обвально-осыпных деформаций и разрушений полотна дорог в этих районах. Наибольшая обвально-осыпная активизация наблюдалась на дорогах Шатойского района (более 40 проявлений). Отмечено, что объемы обвально-осыпных масс на дорогах республики в основном варьировали в пределах от 100 м³ до 17,5 тыс. м³.

Наиболее крупный обвальный процесс (30,0 тыс. м³) зафиксирован 14 октября 2008 г. на автодороге «Грозный – Шатой» Шатойского района. Выявлены участки дорог, где обвально-осыпные проявления периодически наблюдались в разные годы. Протяженность участков автомобильных дорог республики, испытавших воздействие обвально-осыпных процессов, составила 1,452 км, из них: дороги с твердым покрытием — 0,546 км, дороги без покрытия — 0,906 км. Максимальная протяженность участков автомобильных дорог республики, испытавших воздействие обвально-осыпных процессов отмечалась в 2016 и 2017 гг. Анализ социально-экономических последствий произошедших обвально-осыпных активизаций, позволяет сделать вывод о довольно низкой степени их опасности для автомобильной сети республики.

Ключевые слова: обвально-осыпные процессы, автомобильные дороги, активность, опасность, обвалы и осыпи

Для цитирования: Разумов В. В., Богданова Н. Д., Разумова Н. В., Лиховид А. А., Шальнев В. А. Автомобильные дороги Чеченской Республики под воздействием обвально-осыпных процессов // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 111–138. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.6>

Конфликт интересов: один из авторов статьи – доктор географических наук, профессор Лиховид Андрей Александрович является членом редакционного совета журнала «Наука. Инновации. Технологии». Доктор географических наук, профессор Разумов Виктор Владимирович и доктор географических наук, профессор Виктор Александрович Шальнев 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 14.06.2024;
одобрена после рецензирования 01.09.2024;
принята к публикации 17.09.2024.

1.6.21. Geoecology
Research article

**Highways of the chechen republic under
the influence of rockslides and screes processes**

**Viktor V. Razumov^{1*},
Natalia D. Bogdanova²,
Natalia V. Razumova³,
Andrey A. Likhovid⁴,
Victor A. Shalnev⁵**

¹ High-Mountain Geophysical Institute of Roshydromet (2, Lenin Ave., Nalchik, 360030, Russian Federation)
² Institute of Geotechnics and Engineering Surveys in Construction (3, Bldg. 1, Krapivenskiy Lane, 127051, Russian Federation)
³ Russian Space Systems of Roscosmos (53, Aviamotornaya St., Moscow, 111250, Russian Federation)

^{4,5} 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@igii.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3983-0373>

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

⁴ info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

⁵ phisgeo@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3210-0262>

* Corresponding author

Abstract.

The results of systematization and analysis of various sources containing information on the activity and danger of rockslides-screes processes on the roads of the Chechen Republic in 2008–2022 are considered. The greatest rockslides and talus activation (with material damage) on the roads of the republic was observed in 2016–2017. The maximum number of activation cases was in spring-summer period and was mainly due to heavy precipitation. The conditions, causes, activity and danger of rockslides and screes manifestations on the roads of the republic are characterized. During the studied period, about 70 cases (with material damage) were recorded on highways passing through the territory of the Vedensky, Itum-Kalinsky and Shatoy administrative districts of the republic. Information is given on the activity and extent of rockslides-screes deformations and roadbed failures in these areas during the studied period. The greatest rockslides and screes processes activation were observed on the roads of the Shatoy district (more than 40 cases). It was noted that the volume of rockslides and screes masses on the roads of the republic mainly varied from 100 m³ to 17.5 thousand m³. The largest collapse process (30.0 thousand m³) was recorded on October 14, 2008 on the Grozny-Shatoy highway in the Shatoy district. Sections of roads where rockslides and screes were periodically observed in different years have been identified. The length of the sections of the republican highways affected by rockslides-screes processes amounted to 1,452 km, of which: paved roads — 0.546 km, unpaved roads — 0.906 km. The maximum length of sections of the republican highways affected by rockslides-screes processes was noted in 2016 and 2017. The analysis of the socio-economic consequences of the rockslides-screes processes that have occurred allows us to conclude that their degree of danger to the automobile network of the republic is quite low.

Keywords: rockslides-screes processes, highways, activity, danger, rockslides and screes

For citation: Razumov VV, Bogdanova ND, Razumova NV, Likhovid AA, Shalnev VA. Highways of the Chechen Republic under the influence of rockslides and screes processes. *Science. Innovations. Technologies.* 2024;(3):111-138. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.6>

Conflict of interest: one of the authors of article — Andrey A. Likhovid, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, is a member of Editorial Council of journal “Science. Innovations. Technologies”. Viktor V. Razumov, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, and Victor 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 14.06.2024;
approved after reviewing 01.09.2024;
accepted for publication 17.09.2024.

Введение

Согласно СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003», под обвалами понимается отрыв масс горных пород склонов, бортов и их падение вниз под влиянием силы тяжести с опрокидыванием и перекатыванием без воздействия воды. Крутизна склонов, на которых образуются обвалы, составляет 45° и более. Осыпи образуются на склонах крутизной более 30° [1–3]. С антропогенным фактором связано до 80 % современных обвалов [3–8]. В научной литературе подробно описаны условия образования и развития обвально-осыпных процессов.

Сильно расчлененный рельеф большей части Чеченской Республики с мозаичной, блоковой структурой (с переслаиванием песчаников и известняков с глинами) на фоне изменяющихся природно-климатических факторов, активной антропогенной деятельности и высокой сейсмичности территории, способствуют образованию обвалов и осыпей в низко- и среднегорной зонах республики (Веденский и Шатойский районы) и в высокогорье (Итум-Калинский район) [9–12].

Низкогорная часть республики представлена цепью низкогорных моноклиналиных хребтов Черных гор, сложенных в основном мягкими, легко размываемыми глинистыми породами палеогенового, неогенового и верхнемелового возраста [13]. Среднегорный рельеф представлен Скалистым хребтом, вдоль эскарпа которого сосредоточены крупные скопления обвально-глыбового материала [14, 15], состоящего в основном из доломитов верхней юры и плотных известняков. Иногда встречаются известняковые брекчии, пачки мергелей, глин и песчаников. Между Скалистым и Боковым хребтами расположена Северо-Юрская депрессия, в пределах которой широко развиты обвально-осыпные процессы. Она охватывает средне и высокогорную зоны структурно-эрозионного рельефа республики и сложена ниже-и среднеюрскими моноклиналиными толщами песчаников и глинистых сланцев. Легко разрушающиеся породы (глинистые сланцы, глины и др.) слагают склоны внутригорных котловин и продольных долин. Высокогорная часть республики представлена системой Бокового хребта, сложенного ниже-

юрскими отложениями (сланцы, песчаники, алевролиты, кварциты и др.). Крутые склоны, с сильно дислоцированными и трещиноватыми породами способствуют здесь сильному выветриванию и образованию многочисленных обвалов и накоплению мелких и крупных осыпей [16]. По данным [10, 11, 16], в высоко- и среднегорной части республики пораженность обвально-осыпными процессами достигает 3 %, а на отдельных участках и 10 %, а в низкогорье она составляет менее 1 %.

Данные мониторинговых наблюдений ФГБУ «Гидроспецгеология» показывают [11, 16–20], что максимальная обвально-осыпная активность в республике наиболее интенсивно происходит с мая-июня по октябрь месяцы и зависит, в основном, от метеоусловий (количества выпадающих осадков). Одним из триггеров обвально-осыпной активизации является хозяйственная деятельность, связанная со строительством, реконструкцией и эксплуатацией дорог.

Целью настоящего исследования является оценка степени активности и опасности проявления обвально-осыпных процессов на автомобильных дорогах Чеченской Республики за 2008–2022 гг.

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

- характеристика основных условий и причин активизации обвально-осыпных процессов на автомобильных дорогах республики;
- изучение активности и опасности проявления этих процессов на автодорогах республики.

Материалы и методы исследований

Основным методом, используемым в данной работе, стал анализ различных материалов, содержащих информацию об активности и опасности проявления обвально-осыпных процессов на автомобильных дорогах Чеченской Республики. При анализе, кроме литературных источников, использованы данные Центра государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) ФГБУ «Гидроспецгеология» [11, 16–20] за 2008–2022 гг. В ходе работы было собрано и обработано около 70 описаний наиболее значимых обвально-осыпных проявлений, произошедших за изученный период времени, что позволило с достаточно высокой степенью достовер-

ности оценить активность и опасность проявления обвально-осыпных процессов на дорогах Чеченской Республики.

В исследовании дополнительно были использованы следующие материалы (далее – отчеты):

- 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 ФГБУ «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 СевероКавказского ФО в 2014–2015 гг.». Книга 1 (ЮРЦ ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», Ессентуки, 2015).

Ведение государственного мониторинга состояния недр на территории Чеченской Республики в период 2008–2022 гг. осуществлялось организациями ООО «СервисСтрой», ООО «Росгеоинжиниринг», ООО «Центр ГИДИС».

Для указания местоположения, произошедших на автомобильной дороге обвально-осыпных 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).

Результаты исследований и их обсуждение

На распределение и конфигурацию дорожной сети республики, ее разветвленность и протяженность повлияло значительное количество факторов, таких как: административно-территориальное деление территории республики, сложные рельеф и ин-

женерно-геологические условия местности, наличие большого количества малых и средних рек. В горной части республики автодороги проложены в основном вдоль водотоков, которых на территории республики насчитывается 3 198 [10].

Согласно статистическим данным на 01.01.2022 г., на балансе Министерства автомобильных дорог Чеченской Республики находится 349 дорог (рис. 1), из них 3102,8 км — с асфальтобетонным покрытием, 1115,0 км — с гравийным покрытием, 187,1 км — с естественным покрытием. По горной местности проходит 37% дорог от общей протяженности региональной сети. Активизация обвально-осыпных процессов затрудняет строительство, реконструкцию и эксплуатацию автомобильных дорог, вызывает их разрушение и перекрытие рыхлообломочным материалом, требует создания дорогостоящих противообвальных сооружений.

На территории республики наибольшая вероятность обвалов и камнепадов с возможным поражением людей и автотранспорта существует на автодорогах Шатойского и Итум-Калинского районов («Грозный – Шатой», «Шатой – Ушкалой – Итум-Кали», «Шатой – Дай – Кири», «Дачу-Борзой – Зоны – Шатой», «Итум-Кали – Хачарой-Эхк», «Борзой – ИтумКали» и др.) [9, 10].

Согласно данным [5, 7, 9–11, 16–20] приведем краткое описание обвально-осыпной активности на автомобильных дорогах республики.

В 2008 г. активность изучаемых процессов была ниже среднемноголетней (выявлено четыре проявления) и, вероятно, в значительной степени она была вызвана землетрясением, произошедшим в Чеченской Республике 11 сентября 2008 г. В 2009 г., несмотря на летние ливневые дожди, обвально-осыпная активность на дорогах республики была очень низкой. Такой же она осталась в 2010 и 2011 гг., не было зафиксировано ни одного значимого проявления. Низкие значения активности фиксировались и в 2012 г. (было выявлено два проявления), несмотря на затяжные ливневые дожди. Небольшой она была и в 2013 г. В этот год на грунтовых дорогах республики было выявлено три активных обвально-осыпных участка. Относительно небольшие показатели обвально-осыпной активности (ниже среднемноголетних) были характерны для летнего периода



Рис. 1. Административная карта Чеченской Республики.
Fig. 1. Administrative map of the Chechen Republic.
Источник: <http://www.chechenskaya-respublika-s-gorodami-i-selami-na-karte.jpg>.
Source: <http://www.chechenskaya-respublika-s-gorodami-i-selami-na-karte.jpg>

2014 г. На дорогах «Дай – Шатой» и «Грозный – Шатой» в это время было выявлено шесть значимых проявлений. В 2015 г. активность обвально-осыпных процессов по республике была очень низкой, выявлен один участок дороги, где произошел камнепад. В 2016 г. в горных частях республики отмечалась очень высокая активность обвально-осыпного процесса (17 проявлений). Она была обусловлена большим количеством осадков, выпавших за первые 8 месяцев 2016 г. и превысивших количество осадков за весь 2015 г. В 2017 г. обильное увлажнение горных территорий республики атмосферными осадками ливневого характера и техногенные нарушения геологической среды опять привели к многочисленным (18 проявлений), но не всегда опасным, обвально-осыпным активизациям на дорогах республики. Низкая активность изучаемых процессов наблюдалась в 2018 г. В летний период, после выпадения значительного количества атмосферных осадков, было зафиксировано пять активных осыпных проявлений, не оказавших существенного воздействия на дорожную сеть. Небольшое количество атмосферных осадков, выпавших в 2019 г. практически исключили обвально-осыпные активизации на дорогах республики в этом году (выявлено одно проявление). Низкая активность изучаемых процессов отмечалась в весенне-летний период 2020 г. Три активных обвально-осыпных участка зафиксированы в области средне-низкогорного рельефа и один — в области высокогорного. Среднеголетний уровень обвально-осыпной активности (семь проявлений) наблюдался в мае 2021 г. В связи с дефицитом осадков в весенне-летний период 2022 г., на дорогах республики не было зафиксировано значимых обвально-осыпных проявлений (с материальным ущербом).

Данные исследований показывают, что за изученный 15-летний период активизация обвально-осыпных процессов (с материальным ущербом) фиксировалась на автомобильных дорогах трех административных районов: Веденского, Итум-Калинского и Шатойского.

Шатойский район находится в горной части юга республики. Граничит на юге — с Итум-Калинским, на востоке — с Шаройским, на севере с Грозненским, на западе — с Урус-Мартановским районами республики. Административным центром района является село Шатой, расположенное на правом берегу р. Аргун, на высо-

те 575 м н.у.м. На территории района находится 37 сельских населенных пунктов.

Согласно данным Паспорта муниципальной программы Шатойского муниципального района «Развитие муниципального хозяйства Шатойского муниципального района» (от 07.11. 2022 г. Постановление № 111), протяженность автомобильных дорог общего пользования местного значения в районе (по состоянию на 1 января 2022 г.) составляла 420,3 км, из них с твердым покрытием — 31,6 км (рис. 2). Через территорию Шатойского района осуществляется сообщение с Веденским, Итум-Калинским и Шаройским районами.

Дороги Шатойского района в значительной степени подвержены обвально-осыпным активизациям. Так, в октябре 2008 г. на дорогах района, проходящих по долинам рек Аргун и Шаро-Аргун, были зафиксированы четыре активных обвально-осыпных участка. Основными факторами активизации выступили атмосферные осадки и, возможно, произошедшая 10 сентября 2008 г. серия землетрясений силой до 5–6 баллов (в районе г. Гудермес). В правом борту р. Аргун, на участке автодороги «Грозный – Шатой» (на отрезке от с. Ярыш-Марды до с. Шатой) было зафиксировано три активных обвально-осыпных участка общей длиной 150 м. В результате их активизации было частично разрушено и деформировано 150 м автодороги «Грозный – Шатой». Наиболее значительное воздействие было зафиксировано в ночь с 14 на 15 октября, когда, в результате подрезки склона дорогой, произошло смещение пород объемом около 30 тыс. м³, при этом было перекрыто 100 дороги и возникла угроза перекрытия реки (рис. 3).

Обвалоопасные участки также были выявлены в правом борту долины р. Шаро-Аргун, на автодороге «Шатой – Дай» (в окрестностях с. Дай). Существовала угроза разрушения дороги на участке протяженностью 80–120 м. В 2009–2011 гг. активность изучаемых процессов на дорогах района была низкой, значимых проявлений не было зафиксировано.

В весенне-летний период 2012 г., после ливневых дождей, было выявлено два крупных обвальных проявления в верховых откосах автодорог, с общим объемом обрушившегося рыхлообломочного материала в несколько десятков кубометров. Так, на

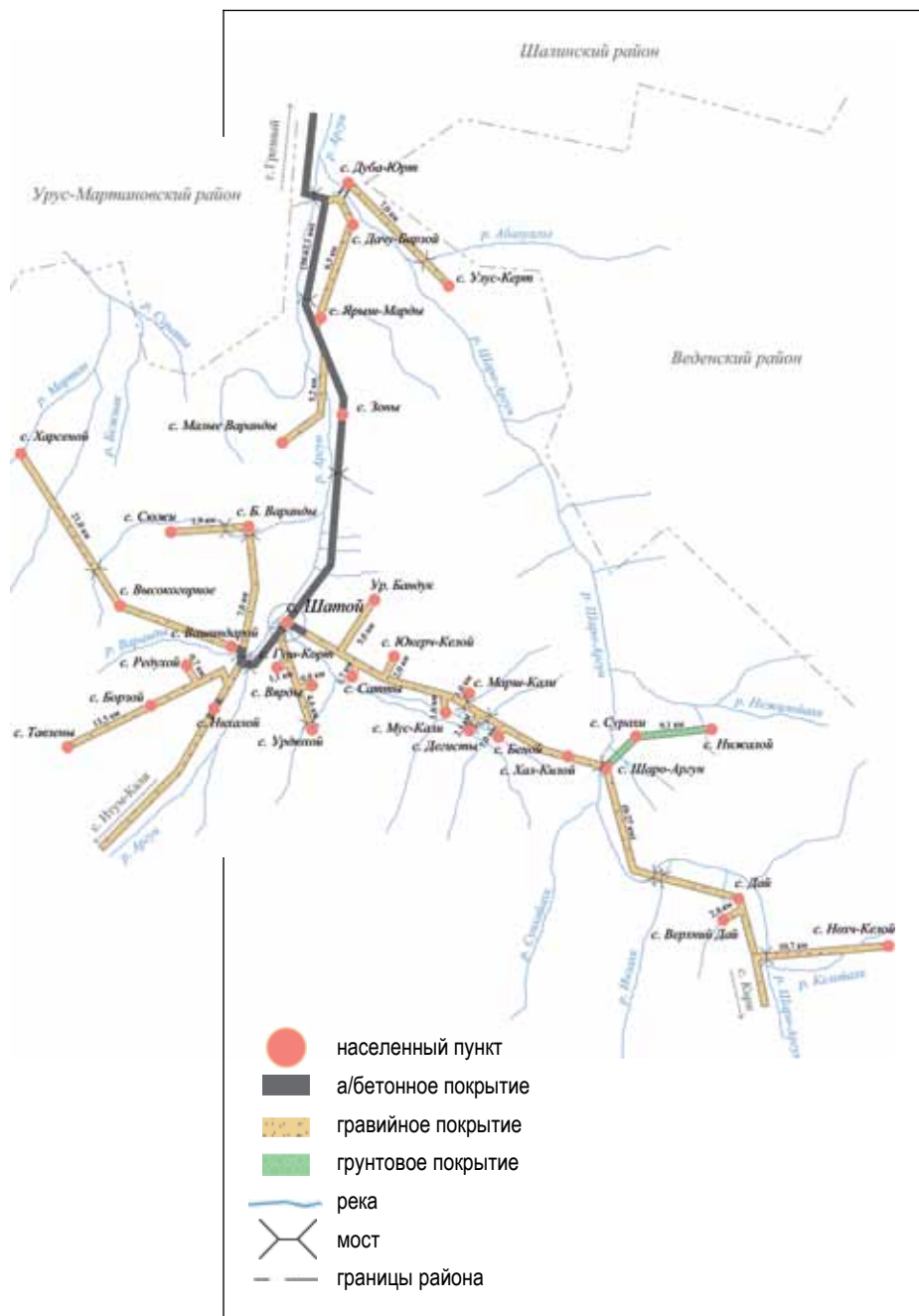


Рис. 2.

Сеть автомобильных дорог Шатойского района Чеченской Республики.

Fig. 2. Highway network of the Shatoysky district of the Chechen Republic.

ИСТОЧНИК:

<http://www.minavtodor-chr.ru/wp-content/uploads.pdf>.

Source:

<http://www.minavtodor-chr.ru/wp-content/uploads.pdf>.

а/д «Шатой–Итум-Кали» (южная окраина с. Нихалой) обвальными массами было перекрыто 10 м дорожного полотна. А второе проявление зафиксировано в верховом откосе а/д «Шатой–Дай» (в районе с. Дай), где в глубоком эрозионном врезе был накоплен большой объем рыхлообломочного материала, который был вынесен на автодорогу, частично разрушив ее полотно (8 м). В 2013 г. на а/д «Шатой – Дай» были отмечены два обвальных проявления (суммарный объем обвалившихся масс — 4–7 тыс. м³, длина — до 40–60 м).

В летний период 2014 г. на дорогах района наблюдалась довольно значимая активизация изучаемых процессов. По три активных обвально-осыпных участка было выявлено на дорогах «Шатой–Дай» и «Грозный – Шатой». В целом, на а/д «Шатой – Дай» рыхлообломочным материалом было завалено 160 м ее полотна, а на а/д «Грозный – Шатой» (от с. Ярыш-Марды до с. Шатой) — 25 м.

В 2016 г. активные осыпи наблюдались на двух участках а/д «Шатой – Дай». Рыхлообломочный материал (площадь – 250 м²) на первом участке перекрыл 6 м дороги, а на втором участке осыпными массами (объем — 1750 м³) было завалено 40 м дорожного полотна. На трех участках (общей протяженностью 130 м) обвально-осыпные массы перекрывали а/д «Грозный – Шатой». Крупные проявления осыпного процесса также были зафиксированы на двух участках (каждый шириной 30 м и длиной — 100 м) а/д «Шатой – Итум-Кали», где рыхлообломочным материалом было суммарно перекрыто 60 м ее полотна. 22 июня, после продолжительных дождей, на а/д «Вашендарой – Шатой» произошел обвал горной породы на участке протяженностью 50 метров. В результате этого, почти 16 тысяч жителей Итум-Калинского и Шатойского районов (27 населенных пунктов) республики остались без автомобильного сообщения.

Летом 2017 г., произошла активизация изучаемых процессов на а/д «Памятой – Мускалей» (пикет 2,26 км), где осыпным материалом (объем — 562,5 м³, площадь — 375 м²), состоящего из мергелей, известняков и песчаников, было перекрыто 6 м ее полотна (без покрытия) шириной 2,5 м. В этот же период на а/д «Хал-Килой – Ниж-

ний Дай» было зафиксировано четыре активных осыпных участка. На первом из них (пикет 2,57 км) рыхлообломочным материалом (объем — 6300 м³, площадь — 3150 м²) было завалено 70 м дороги (шириной до 2 м). На пикете 6,09 км активная осыпь (площадь — 800 м², объем — до 800 м³), не повредила дорогу. На пикете 6,52 км осыпными массами (площадь — 7,0 тыс. м², объем до 14,0 тыс. м³) было перекрыто 40 м дороги. На пикете 6,72 км рыхлообломочным материалом (площадь — 7,0 тыс. м², объем — до 14,0 тыс. м³) было перекрыто 30 м дороги. На а/д «Зоны – Шатой» были выявлены



Рис. 3.

Обвал на автодороге «Грозный – Шатой» (на отрезке от с. Ярыш-Марды до с. Шатой), Шатойский район, 14 октября 2008 г. Фото ООО «Сервисстрой».

Fig. 3. The collapse on the highway “Grozny – Shatoy” (on the segment from Yarysh-Mardy to the village of Shatoy), Shatoy district, October 14, 2008. Photo by Servicestroy LLC.

Источник:

фото ООО «Сервисстрой». / Source: photo by Servicestroy LLC.

четыре активных осыпных участка. Активность осыпного участка (площадь — 4,0 тыс. м², объем — до 16,0 тыс. м³) на 1,1 км дороги не привела к значимым ее повреждениям. На 0,85 км дороги осыпавшимся рыхлообломочным материалом (площадь — 180 м², объем — 180 м³) было перекрыто 10 м ее полотна. На пикете 4,35 км осыпные массы (площадь — 3,5 тыс. м², объем — 17,5 тыс. м³) перекрыли 40 м дороги (рис. 4). На пикете 4,80 км мелкообломочными отложениями (длина — 30 м, ширина — 15 м, объем до 450 м³) было перекрыто 15 м дороги (шириной до 1,5 м).

Три активные осыпи и один обвал были зафиксированы на а/д «Ярыш-Марды – Зоны». На пикете 1,45 км обрушившимися обвальными массами (площадь — 800 м², объем — до 2,4 тыс. м³) было полностью перекрыто 10 м дороги, а осыпными отложениями (площадь — 120 м², объем — до 240 м³) засыпано 6 м дорожного полотна. Также, 20 м дороги было засыпано рыхлообломочным материалом (площадь — 2,7 тыс. м², объем — до 810 м³) на пикете 1,92 км. Осыпная активизация (площадь — 4,0 тыс. м², объем до 12,0 тыс. м³) на третьем участке (пикет 1,97 км) не оказала существенного влияния на дорогу.

Угроза повреждения осыпными массами участков автодорог «Хал-Килой – Нижний Дай» (пикет 2,57 км) и «Ярыш-Марды – Зоны» (пикет 1,97 км) наблюдалась в 2018 г. Активные осыпи на этих дорогах (объем — 1250 м³ и 400 м³), состоящие из гравийно-галечниковой смеси мергеля, известняка и песчаника, наблюдались в их верховых откосах. Негативного воздействия обвально-осыпных процессов на дорожную сеть района не было отмечено и в 2020 г., хотя активизация этих процессов наблюдалась на двух участках а/д «Пионерское – Зоны» (в 8,37 км и 8,50 км южнее с. Пионерское) с объемом смещенных масс 250 м³ и 800 м³ и а/д «Хал-Килой – Нижний Дай» (в 3,60 км на восток от с. Хал-Килой), где была зафиксирована активная осыпь (площадь — 112 м²).

Негативного воздействия обвально-осыпных процессов на дорожную сеть района не отмечалось и в 2021 г., хотя в мае месяце фиксировалась активизация четырех осыпных участков на а/д «Пионерское – Зоны» (в 8,15, 8,37, 8,80, 9,05 км на юг от с. Пионерское). Площадь активных осыпей составляла от 80 до 600 м², мощ-

ность — от 0,5 до 1 м, объем — от 40 до 600 м³. В 2022 г. на дорогах района не были зафиксированы активные участки развития обвально-осыпных процессов.

Итум-Калинский район расположен в юго-западной (горной) части республики. На юге граничит с Грузией, на востоке — с Шаройским районом республики, на севере — с Шатойским и Ачхой-Мартановским районами, на западе — с Республикой Ингушетия. Административным центром района является село Итум-Кали, расположенное по обоим берегам р. Аргун (у впадения в нее притока Хелдихойэрк), на высоте 773 м н.у.м. В состав района входит 32 населенных пункта.



Рис. 4.

Перекрытие обвально-осыпными массами а/д «Зоны – Шатой» (пикет 4,35 км), Шатойский район, 2017 г.

Fig. 4. Blocking by rockslides and screes masses of the “Zone – Shatoy” a/d (picket 4.35 km), Shatoy sky district, 2017.

Источник:

фото ООО «Центр ГИДИС» / Source: Photo by Center GIDIS LLC.

Согласно данным «Инвестиционного паспорта Итум-Калинского муниципального района Чеченской Республики» (2016 г.), общая протяженность автомобильных дорог по району на 01.01.2016 г. составляла 319,8 км, в том числе: территориального значения — 142,9 км; внутрисельских дорог — 176,9 км. Протяженность дорог с асфальтобетонным покрытием составляла 17,1 км, с гравийным и грунтовым покрытием — 302,7 км (рис. 5).

На дорогах Итум-Калинского района активность обвально-осыпного процесса за изучаемый период была несколько ниже, чем в Шатойском районе. В 2013 г. обвальными массами перекрывалось 10 м а/д «Итум-Кали – Ведучи» (с покрытием). В 2016 г. фиксировалось перекрытие обвальными массами двух участках (суммарной протяженностью 50 м) а/д «Грозный – Итум-Кали» и осыпными отложениями (площадь — 1,0 тыс. м²) 110 м а/д «Итум-Кали – Ведучи». В 2017 г. осыпными массами в двух местах перекрывалась а/д «Кокадой – Ушкалой» (с твердым покрытием). Так, на пикете 0,52 км, осыпью (площадь — 450 м², объем — до 225 м³) было перекрыто 30 м дороги, а на пикете 0,68 км, каменисто-щебнистым материалом (площадь — 336 м², объем до 168 м³) завалено 24 м дорожного полотна. Также, в этом году осыпными массами (площадь — 3870 м², объем — 3870 м³), представленными мергелями, известняками и алевролитами, было перекрыто 80 м а/д «Итум-Кали – Ведучи» (пикет 1,29 км). Активизация этой же осыпи (площадь — 5400 м², объем — 5400 м³) в мае 2019 г. привела к частичному перекрытию 90 м дороги. В 2020 г. здесь опять (4,56 км на юг от с. Итум-Кали) наблюдалось временное перекрытие обвальными массами (площадь — до 5,4 тыс. м²) 40 м дорожного полотна. В мае 2021 г. на этой же автодороге были зафиксированы активные осыпной и обвальный участки. Так, в 4,3 км на юг от с. Итум-Кали осыпным материалом (площадь — до 2,1 тыс. м², мощность — 1 м, объем — 2,1 тыс. м³), представленным глинами и алевролитами, было полностью перекрыто 15 м дороги (без покрытия). Активизация свежего обвального конуса выноса (площадь — до 1,2 тыс. м², мощность — 1,5 м, объем — 1800 м³), расположенного в 4,56 км на юг от с. Итум-Кали, привела к перекрытию 15 м дороги (без покрытия) шириной до 1,5 м. В 2022 г. значительной

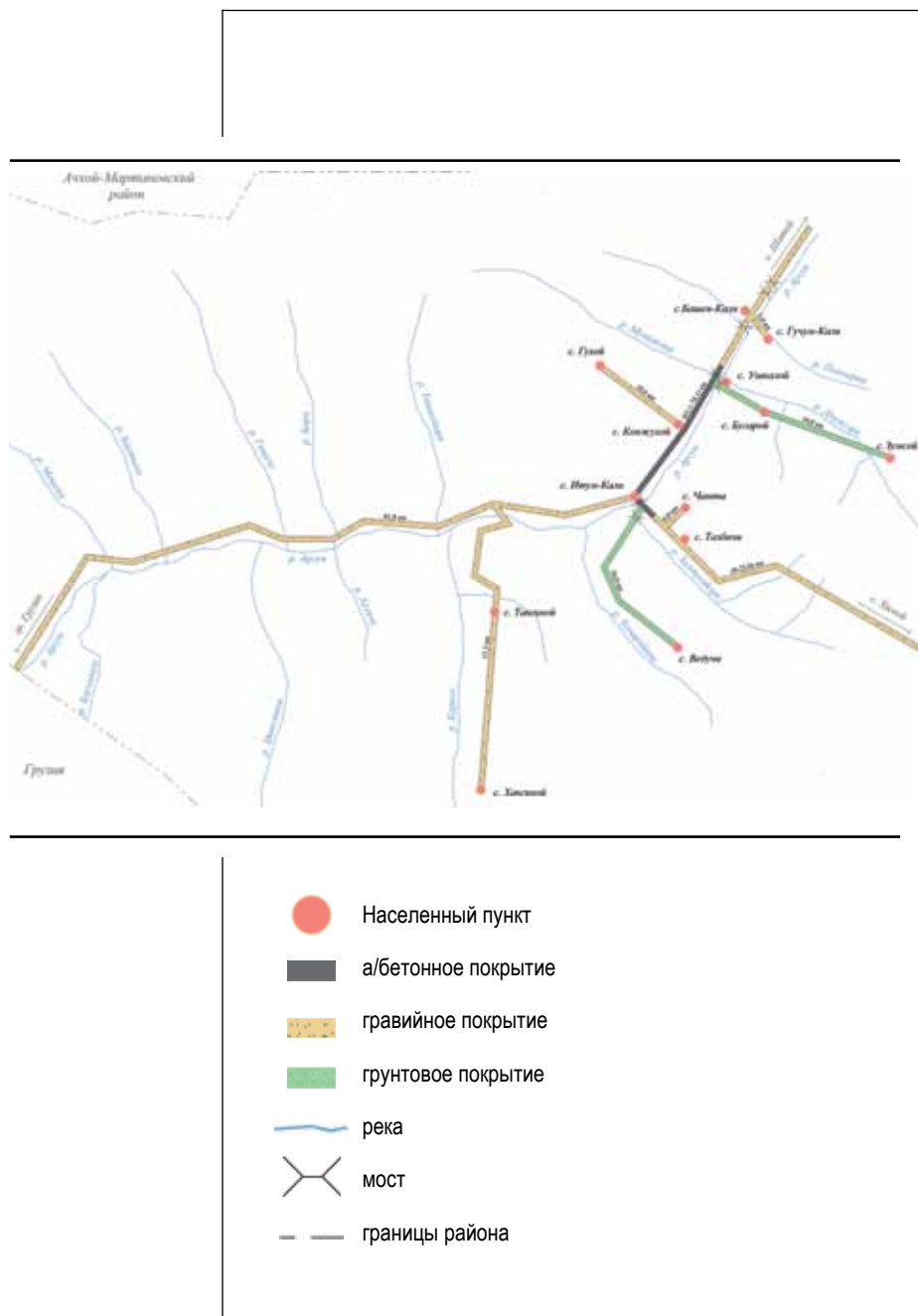


Рис. 5.

Сеть автомобильных дорог Итум-Калинского района Чеченской Республики.

Fig. 5. The highway network of the Itum-Kalinsky district of the Chechen Republic.

ИСТОЧНИК:

<http://www.minavtodor-chr.ruwp-content/uploads.pdf> / Source: <http://www.minavtodor-chr.ruwp-content/uploads.pdf>

активизации обвально-осыпных процессов на дорогах района не наблюдалось.

Веденский район расположен в юго-восточной (горной) зоне республики. Граничит на востоке с Шатойским районом, на севере — с Шалинским и Курчалоевским районами, на западе — с Ножай-Юртовским районом, юго-западе — с Республикой Дагестан, на юге — с Шаройским районом. Административным центром района является село Ведено, расположенное между рек Хулхулау и Ахкичу, на высоте 767 м н.у.м. В состав района входит 50 сельских населенных пунктов, связанных между собой и районным центром автомобильными дорогами.

Автотранспортная сеть на территории района размещена неравномерно, дороги проходят главным образом по водоразделам, вдоль рек, в основном, в северной и северо-восточной его части (рис. 6). Согласно данным «Паспорта Веденского муниципального района» (утвержденного в 2016 г.), общая протяженность автомобильных дорог на территории района (на 01.01.2016 г.) составляла 587,5 км. В меридиональном направлении район пересекает автодорога республиканского значения «Грозный – Ботлих – Махачкала».

На дорогах Веденского района активность обвально-осыпных процессов за изучаемый период была незначительна. 6 мая 2015 г. на автодорогу «Харачой – озеро «Кезеной-Ам» обвалилась огромная каменная глыба, которая опрокинула проезжавшую по дороге автомашину «Газель-фермер» в пропасть. В результате чего погибло трое человек, еще трое были госпитализированы. В 2016 г., обвальными массами было перекрыто 20 м а/д «Ца-Ведено – Марзой-Мохк», шириной 4 м. После выпадения большого количества атмосферных осадков осенью 2017 г., были выявлены активные обвальный и осыпной участки на а/д «Харачой – Ведено». Так, на пикете 1,6 км дороги, обвалом (площадь – 100 м², объем — до 100 м³) было перекрыто 3 м ее полотна. А в 2,8 км к северу от с. Харачой, образовавшаяся в верховом откосе дороги осыпь (площадь — 120 м², объем до 60 м³), не привела к повреждению дорожного полотна. Три активные осыпи на а/д «Харачой – Ведено» были выявлены и в 2018 г., но они также не оказали существенного воздействия на дорогу. На первом осыпном участке (пикет 1,6 км) осыпные от-

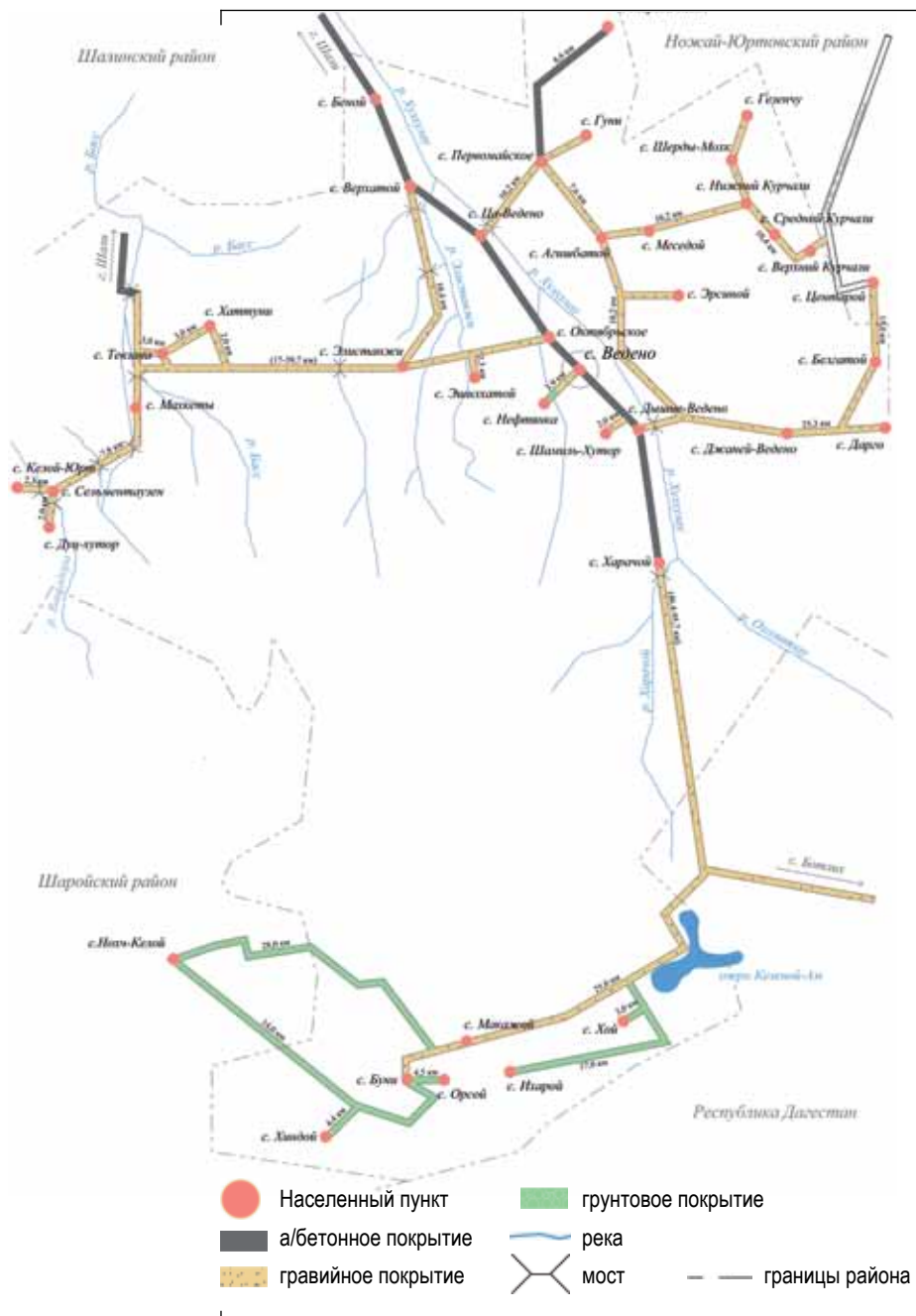


Рис. 6. Сеть автомобильных дорог Веденского района Чеченской Республики.

Fig. 6. The highway network of the Vedensky district of the Chechen Republic.

Источник: <http://www.minavtodor-chr.rushema-avtodorog-vedenskogo-raiona.pdf>.

Source: <http://www.minavtodor-chr.rushema-avtodorog-vedenskogo-rajona.pdf>.

ложения (площадь — 250 м², объем — 125 м³) были представлены известняками и мергелями; на пикете 2,1 км осыпь (площадь — 80 м², объем — 80 м³) состояла из гравийно-галечниковых отложений с глинистым заполнителем; на пикете 3,1 км площадь осыпных отложений (известняки и мергели) составила 120 м², а объем — 60 м³. В 2019–2022 гг. значимых обвально-осыпных активизаций (с материальным ущербом) на дорогах района не наблюдалось.

Согласно данным [9–11, 16–20], за изучаемый период времени протяженность участков автомобильных дорог республики, испытавших воздействие обвально-осыпных процессов, составила 1,452 км, из них: дороги с твердым покрытием — 0,546 км, дороги без покрытия — 0,906 км (табл. 1).

Из анализа таблицы и вышеприведенного материала следует, что наибольший материальный ущерб автомобильной сети республики, от проявления обвально-осыпных процессов в период 2008–2022 гг., был зафиксирован в 2016 и 2017 гг. В Шатойском районе воздействию обвалов и осыпей подверглось более 40 участков на девяти автомобильных дорогах. В Итум-Калинском районе материальный ущерб был причинен трем дорогам (на 10 участках). В Веденском районе ущерб также был причинен трем дорогам, за счет активизации семи обвально-осыпных участков.

Заключение

Систематизация и анализ информации об активизации обвально-осыпных процессов на территории Чеченской Республики позволили охарактеризовать условия и причины их развития, а также активность и опасность их проявления на автомобильных дорогах за 2008–2022 гг. Наибольшая активизация изучаемых процессов (с материальным ущербом) на дорогах республики наблюдалась в 2016–2017 гг. Максимальное число случаев обвально-осыпных проявлений приурочено к весенне-летнему периоду и, в основном, обусловлено обильными атмосферными осадками.

За изучаемый период времени было зафиксировано около 70 значимых проявлений (с материальным ущербом) рассматриваемых процессов на дорогах, проходящих по трем административным районам республики.

Таблица 1.

ПРОТЯЖЕННОСТЬ УЧАСТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ,
ИСПЫТАВШИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБВАЛЬНО-ОСЫПНЫХ
ПРОЦЕССОВ (за период 2008–2022 гг.)
Table. The length of sections of public roads in the Chechen Republic that
were affected by landslide processes (for the period 2008–2022)

Годы	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, испытывавших воздействие обвально-осыпных процессов, км		
	Всего	В том числе	
		дороги с твердым покрытием	дороги без покрытия
2008	0,150	—	0,150
2009	—	—	—
2010	—	—	—
2011	—	—	—
2012	0,180	—	0,180
2013	0,010	—	0,010
2014	0,185	0,025	0,160
2015	—	—	—
2016	0,382	0,272	0,110
2017	0,384	0,158	0,226
2018	—	—	—
2019	0,090	0,090	—
2020	0,040	—	0,040
2021	0,031	0,001	0,030
2022	—	—	—
Всего за 15 лет	1,452	0,546	0,906

Приведены сведения об активности и масштабах произошедших обвальнo-осыпных деформаций и разрушений полотна дорог в этих районах. Наибольшая активность обвальнo-осыпного процесса отмечена на дорогах Шатойского административного района (более 40 проявлений).

Выявлены участки дорог, где обвальнo-осыпные активизации периодически наблюдались в разные годы. Отмечено, что объемы обвальнo-осыпных масс на дорогах республики в основном были небольшие и варьировали в пределах от 100 м³ до 17,5 тыс. м³. Наиболее крупный обвальнo-осыпный процесс (30,0 тыс. м³) зафиксирован 14 октября 2008 г. на автодороге «Грозный – Шатой» Шатойского района. Протяженность участков автомобильных дорог республики, испытывавших воздействие обвальнo-осыпных процессов, составила 1,452 км, из них: дороги с твердым покрытием – 0,546 км, дороги без покрытия – 0,906 км.

Максимальная протяженность участков автомобильных дорог республики, испытывавших воздействие обвальнo-осыпных процессов отмечалась в 2016 и 2017 гг. Анализ социально-экономических последствий произошедших обвальнo-осыпных активизаций, позволяет сделать вывод о довольно низкой степени их опасности для автомобильной сети республики.

Список источников

1. Коломенский Н. В. Специальная инженерная геология. М.: Недра, 1969. 335 с.
2. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России (монография). Моск. гос. ун-т им. В. М. Ломоносова. Геол. фак. (под ред. В.Т. Трофимова, Э.В. Калинина). М.: Книжный дом «Университет», 2013. 816 с.
3. Щукин И. С. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии / под ред. А. И. Спиридонова. М.: Советская энциклопедия, 1980. 703 с.
4. Краткие справочные данные о чрезвычайных ситуациях техногенного, антропогенного и природного происхождения. Вып. 2. М., 1991. 108 с.

5. Разумов В. В., Аджиев А. Х., Разумова Н. В., Глушко А. Я., Шагин С. И., Кондратьева Н. В., Притворов А. П., Колычев А. Г., Шаповалов М. А. Опасные природные процессы Северного Кавказа / под ред. В. В. Разумова. М.: Феория, 2013. 320 с.
6. Разумов В. В., Залиханов М. Ч., Богданова Н. Д., Разумова Н. В. Оползневые и обвально-осыпные процессы на автомобильных дорогах Республики Ингушетия // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 1. С. 107–136.
7. Разумов В. В., Разумова Н. В. Обвально-осыпные процессы на территории Северного Кавказа // Геориск. 2013. № 1. С. 44–52.
8. Справочник по инженерной геологии / под ред. М.В. Чуринова. М.: Недра, 1968. 172 с.
9. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Чеченской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008–2018 годах». Грозный: Главное управление МЧС РФ по Чеченской Республике, 2009–2019.
10. Государственные доклады о состоянии и об охране окружающей среды Чеченской Республики в 2012–2022 году. Грозный: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Чеченской Республики, 2013–2023.
11. Информационные бюллетени о состоянии недр территории Северо-Кавказского федерального округа Российской Федерации за 2015–2022 гг. Вып. 12–18. Ессентуки: Гидроспецгеология, 2016–2023.
12. Кюль Е. В. Оценка подверженности территорий Республики Ингушетия и Чеченской Республики опасным природным процессам // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2020. Т. 5. № 2 (20). С. 30–41.
13. Головлев А. А. Геолого-геоморфологические особенности территории Горной Чечни // Самарская Лука. 2007. Т. 16. № 4 (22). С. 689–707.
14. Гакаев Р. А. Экзогенные процессы в ландшафтах высокогорий Чеченской Республики // Материалы II Кавказского экологического форума: Сборник материалов. Грозный, 28-30 октября 2015 года (ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет») / отв. редактор Х. Л.-А. Сайдаев. Грозный: Чеченский государственный университет, 2015. С. 50–53.

15. Головлев А. А. Природные условия и ресурсы Северного Кавказа и их экономико-географическая оценка (на примере Чеченской и Ингушской Республик) // Вестник Самарской государственной экономической академии. 1999. № 1. С. 130–141.
16. Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004–2022 гг. Вып. 28–46. М.: ООО «Геоинформмарк», 2005–2023.
17. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации (по кварталам) за 2007–2022 гг. М.: Центр ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология», 2007–2022.
18. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского федерального округа (по кварталам) за 2013–2022 гг. Ессентуки: Гидроспецгеология, 2013–2022.
19. Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Южного федерального округа (по кварталам) за 2006–2010 гг. Ессентуки: Гидроспецгеология, 2006–2010.
20. 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.

References

1. Kolomensky NV. Special Engineering Geology. Moscow: Nedra; 1969. 335 p.
2. Engineering Geology of Russia. Vol. 2. Engineering geodynamics of the territory of Russia (monograph). Lomonosov Moscow State University. VM Lomonosov. Geology Department. Ed. VT Trofimov, EV Kalinin. Moscow: Book House "University"; 2013. 816 p.
3. Shchukin IS. Quadrilingual encyclopedic dictionary of terms in physical geography (ed. AI Spiridonov). Moscow: Soviet Encyclopedia; 1980. 703 p.
4. Brief reference data on emergency situations of man-made, anthropogenic and natural origin. Vol. 2. Moscow; 1991. 108 p.
5. Razumov VV, Adzhiev AH, Razumova NV, Glushko AY, Shag-

- in SI, Kondratieva NV, Pritvorov AP, Kolychev AG, Shapovalov MA. Dangerous natural processes of the North Caucasus. Ed. VV Razumov. Moscow: Feoria; 2013. 320 p.
6. Razumov VV, Zalikhanov MCh, Bogdanova ND, Razumova NV. Landslide and landslide processes on the highways of the Republic of Ingushetia. Science. Innovations. Technologies. 2023;(1):107–136.
 7. Razumov VV, Razumova NV. The subsidence and scree processes in the North Caucasus. Georisk. 2013;(1):44–52.
 8. Reference book on engineering geology. Ed. by MV Churinov. Moscow: Nedra; 1968. 172 p.
 9. State reports “On the state of protection of the population and territories of the Chechen Republic from natural and man-made emergencies in 2008-2018”. Grozny: Main Department of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation for the Chechen Republic. 2009–2019.
 10. State reports on the state and environmental protection of the Chechen Republic in 2012–2022. Grozny: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Chechen Republic. 2013–2023.
 11. Information bulletins on the state of subsoil of the territory of the North Caucasus Federal District of the Russian Federation for 2015–2022. Issue 12–18. Essentuki: YURC GMCH FGBU “Gidrospetsgeologiya”, 2016–2023.
 12. Kyul EV. Assessment of the exposure of the territories of the Republic of Ingushetia and the Chechen Republic to dangerous natural processes. Groznenskii estestvennonauchnyi byulleten’ = Grozny natural-scientific bulletin. 2020;5–2 (20):30–41.
 13. Golovlev AA. Geologic and geomorphologic features of the territory of Mountain Chechnya. Samarskaya Luka = Samara Luka. 2007;16(4)(22):689–707.
 14. Gakayev RA. Exogenous processes in the highland landscapes of the Chechen Republic. Proceedings of the II Caucasus Environmental Forum: Collection of Materials, Grozny, October 28–30, 2015 (FGBOU VO “Chechen State University”). Editor-in-Chief KhL-A. Saidayev. Grozny: Chechen State University; 2015. P. 50–53.
 15. Golovlev AA. Natural conditions and resources of the North Caucasus and their economic and geographical assessment

(on the example of the Chechen and Ingush Republics). Vestnik Samara State Academy of Economics. 1999;(1):130–141.

16. Information bulletins on the state of subsoil on the territory of the Russian Federation in 2004–2022. Issue 28–46. Moscow: Geoinformmark LLC; 2005–2023.
17. Information bulletins on the manifestations of exogenous geological processes on the territory of the Russian Federation (by quarters) for 2007–2022. Moscow: Center of HMSN FGBU “Gidrospetsgeologiya”, 2007–2022.
18. Information summaries on manifestations of exogenous geological processes on the territory of the North Caucasian Federal District (by quarters) for 2013–2022. Yessentuki: YURC GMCH FGBU “Gidrospetsgeologiya”, 2013–2022.
19. Information summaries on manifestations of exogenous geological processes in the Southern Federal District (by quarters) for 2006–2010. Essentuki: South Regional Center of GMCH FGBU “Gidrospetsgeologiya”, 2006–2010.
20. Information summaries on manifestations of exogenous geological processes on the territory of the Southern and North Caucasian Federal Districts (by quarters) for 2011–2012. Essentuki: South Regional Center of GMCH FGBU “Gidrospetsgeologiya”, 2011–2012.

Информация об авторах

Виктор Владимирович Разумов — доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела стихийных явлений Высокогорного геофизического института Росгидромета.

Наталья Дмитриевна Богданова — инженер Института геотехники и инженерных изысканий в строительстве.

Наталья Викторовна Разумова — кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Российских космических систем.

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

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.

Андрей Александрович Лиховид — сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка текста и оформление статьи.

Виктор Александрович Шальнев — сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка текста и оформление статьи.

Information about the authors

Viktor V. Razumov — Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Leading Researcher at the Department of Natural Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute of Roshydromet.

Natalia D. Bogdanova — Engineer of the Institute of Geotechnics and Engineering Surveys in Construction.

Natalia V. Razumova — Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Leading Researcher of Russian Space Systems.

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.

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 — 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.

Andrey A. Likhovid — collection, interpretation and analysis of the received data. Preparation of the text and design of the article.

Viktor A. Shalnev — collection, interpretation and analysis of the received data. Preparation of the text and design of the article.

Научная статья

УДК 622.276

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.7>

ПОДХОД К ПОЛУЧЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДОБЫЧИ, КОНДЕНСАТОГАЗОВОГО ФАКТОРА И ОБВОДНЕНИЯ

Даниил Валерьевич Балин^{1*},
Ольга Владимировна Балина²,
Елена Ивановна Мамчистова³

^{1, 2, 3} Тюменский индустриальный университет (д. 38, ул. Володарского, Тюмень, 625000, Российская Федерация)

¹ danielbalin@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9090-0672>

² balinaov@tyuiu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0483-4761>

³ mamchistovaei@tyuiu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8519-7230>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Рассмотрен подход к получению вероятностной оценки прогнозных показателей разработки газоконденсатного пласта с применением многовариантных гидродинамических расчетов. Необходимость подобного решения диктуется стремлением к нивелированию влияния значительного числа неопределенностей, присутствующих в практике работы с цифровыми моделями месторождений. В качестве основного инструмента было использовано программное обеспечение «tНавигатор», обладающее широким функционалом в указанном направлении. Изучены возможности задания переменных для параметризации модели, проведен обзор методов планирования эксперимента и оптимизационных алгоритмов. С помощью оптимизационного алгоритма Дифференциальной эволюции на первом этапе произведена адаптация исходной версии гидродинамической модели, в которой наблюдались проблемы с воспроизведением отборов по добываемым фазам и динамике давлений, на исторические показатели работы скважин. Полученное качество адаптации контролировалось значениями специально сгенерированной целевой функции. На втором шаге на базе наилучших сценариев настройки исторического периода рассчитаны прогнозные параметры разработки, для которых были построены соответствующие накопленные функции распределения, отражающие интересующую вероятност-

ную оценку. По итогам проделанной работы сформирована необходимая последовательность действий, позволяющая прийти к получению необходимых искомых величин, а также сформулированы возможные варианты модификации рассмотренного подхода в области сокращения числа рассчитываемых моделей через выделение трех базовых сценариев и использование многомерного масштабирования, позволяющего кластеризовать равновероятные сценарии с последующим выбором представительных реализаций.

Ключевые слова: адаптация, многовариантные расчеты, дифференциальная эволюция, накопленная функция распределения, вероятностная оценка

Для цитирования: Балин Д. В., Балина О. В., Мамчистова Е. И. Подход к получению вероятностной оценки прогнозных профилей добычи, конденсатогазового фактора и обводнения // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 139–156. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.7>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.08.2024;
одобрена после рецензирования 25.09.2024;
принята к публикации 28.09.2024.

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

An approach to forecast production profiles, oil-gas ratio and water contamination probabilistic assessment

**Daniil V. Balin^{1*},
Olga V. Balina²,
Elena I. Mamchistova³**

^{1, 2, 3} Industrial University of Tyumen (38, Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation)
¹ daniilbalin@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9090-0672>
² balinaov@tyuiu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0483-4761>
³ mamchistovaei@tyuiu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8519-7230>
* Corresponding author

Abstract.

An approach to probabilistic assessment of field development forecast parameters for gas-condensate reservoir using multi-variant simulation was studied. The necessity of such decision may be explained by the aim to level the influence of large number of uncertainties which occur during the work with reservoir simulation models. «tNavigator» software was used as the main instrument since it provides wide functionality in the sphere of interest. The variants of variables implementation were studied, the review of experimental designs and optimization algorithms was done. At the first step, the simulation model was history matched using Differential Evolution algorithm, since its initial version had problems with phase withdrawals and pressure dynamics. Corresponding history matching quality was controlled by specially generated objective function values. At the second step a series of production forecasts based on the best history matching cases was calculated; cumulative distribution functions for field development parameters under consideration were received to get the necessary probabilistic assessment. As a result, the workflow for values of interest getting was provided; also, the variants of further modifications for studied approach were formulated: the number of simulation runs can be decreased through the choice of three base variants and use of multi-dimensional scaling which provides the opportunity for realizations of equal probability clustering with further choice of representative cases.

Keywords:

history matching, multi-variant calculations, differential evolution, cumulative distribution function, probabilistic assessment

For citation:

Balin DV, Balina OV, Mamchistova EI. An approach to forecast production profiles, oil-gas ratio and water contamination probabilistic assessment // Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):139-156. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.7>

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

The article was submitted 25.08.2024;
approved after reviewing 25.09.2024;
accepted for publication 28.09.2024.

Введение

На этапе создания и дальнейшего использования гидродинамических моделей месторождений нефти и газа приходится сталкиваться с различного рода неопределенностями, например: неоднозначностью интерпретации данных каротажей, недостаточностью охвата исследованиями пластовых флюидов и образцов керна, ошибками при проведении замеров добычи скважин и ведении соответствующих баз данных и т.д. Для минимизации последующих рисков на стадии технико-экономического обоснования каких-либо мероприятий и принятия решений с привлечением средств моделирования возможно применение многовариантных гидродинамических расчетов, на основе которых дается вероятностная оценка изменения необходимых к изучению параметров [1, 2, 3, 4, 5]. Так, в данной работе рассмотрен подход к получению подобной оценки.

Материалы и методы исследований

Исходная версия гидродинамической модели газоконденсатного пласта формата Black Oil подразумевает проблемы с адаптацией отборов газа, конденсатогазового фактора (КГФ), водогазового фактора (ВГФ) и забойного давления (Рзаб). Таким образом, перед выполнением прогнозных расчетов и получением соответствующей вероятностной оценки технологических показателей необходима ее адаптация. Для выполнения многовариантных гидродинамических расчетов в указанных целях использовалось программное обеспечение (ПО) «тНавигатор».

Рассматриваемый подход предполагает задание необходимого набора параметров моделирования в качестве переменных. Для этого в ПО «тНавигатор» поддержаны следующие основные возможности: типичные сценарии для симулятора, задание переменных вручную, выбор в графическом интерфейсе и использование Workflow, который представляет собой инструмент для создания графа моделирования, обеспечивающий последовательное выполнение входящих в него задач и изменение требуемых параметров [6]. Выбор был сделан в пользу последнего из упомянутых выше методов.

На следующем шаге был осуществлен подбор алгоритма, который будет осуществлять генерацию многовариантных гидродина-

мических расчетов. Подобные алгоритмы можно разделить на две группы: методы планирования экспериментов и оптимизационные алгоритмы [6, 7, 8].

Поскольку в рамках выполняемой работы основной упор был сделан не на непосредственный анализ влияния значений той или иной переменной на модельный отклик, а на достижение достаточной степени качества адаптации рассматриваемой гидродинамической модели, более детально были рассмотрены оптимизационные алгоритмы, включающие в себя нижеследующие: поверхности отклика (прокси-модели), дифференциальная эволюция, симплекс-метод, метод роя-частиц, искусственный интеллект, метод сглаживания ансамбля, внешний (подразумевает создание, загрузку и использование внешних оптимизационных алгоритмов, написанных на языке Python) [6, 9, 10, 11, 12, 13].

По итогу, для реализации был выбран алгоритм Дифференциальной эволюции, как он один наиболее распространенных в практике автоматизированной адаптации гидродинамических моделей [14, 15, 16, 17, 18]. В рамках текущей работы было выполнено 500 расчетов модели при 16 одновременных запусках.

С учетом описанных ранее направлений по улучшению качества настройки модели, в качестве переменных для адаптации были выбраны: три PVT-модели с различной динамикой изменения конденсатосодержания, различные радиусы регионов Вороного по настраиваемым добывающим скважинам [19, 20], соответствующие регионам Вороного множители на проницаемость, параметры относительных фазовых проницаемостей (ОФП).

Сводная информация по выбранным переменным и диапазонам их изменения представлена ниже в таблице 1.

Для автоматизации создания рассчитываемых в рамках алгоритма Дифференциальной эволюции гидродинамических расчетов был создан соответствующий Workflow, концептуально представленный в виде блок-схемы на рисунке 1.

Полученное по итогам каждого модельного запуска качество адаптации контролировалось путем анализа соответствующих значений целевой функции. С учетом специфики модели, целевая функция получила конфигурацию, указанную в таблице 2. Величи-

Таблица 1. ПЕРЕМЕННЫЕ ДЛЯ АДАПТАЦИИ И ДИАПАЗОНЫ
ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
Table 1. Variables for history matching and their ranges

Переменная	Базовое значение	Минимальное значение	Максимальное значение
NOW, д.ед.	1	1	10
NW, д.ед.	1	1	10
NOG, д.ед.	1	1	10
NG, д.ед.	1	1	10
Радиус региона Вороного, м	500	100	5000
Множитель проницаемости для региона №1, д.ед.	0,1	0,1	20
Множитель проницаемости для региона №2, д.ед.	0,1	0,1	20
Множитель проницаемости для региона №3, д.ед.	0,1	0,1	20
Множитель проницаемости для региона №4, д.ед.	0,1	0,1	20
№ варианта PVT-модели	1	1	3
KRWR, д.ед.	0,585	0,05	0,585
KRW, д.ед.	1	0,05	1

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

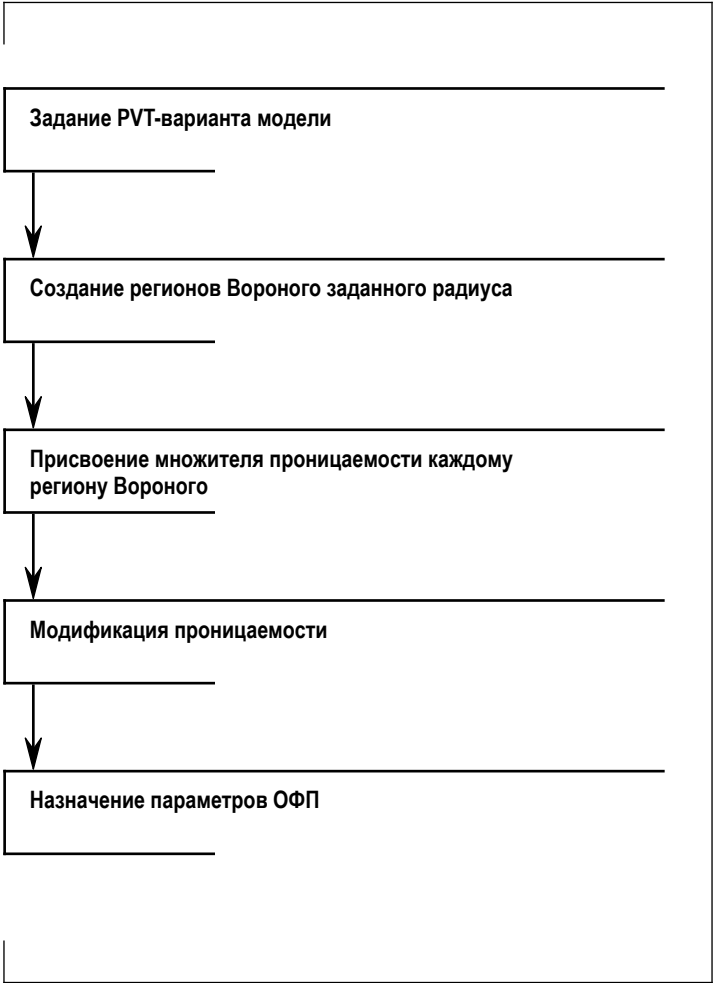


Рис. 1. Блок-схема Workflow для создания многовариантных гидродинамических расчетов.

Источник: Fig. 1. Workflow scheme for multivariate reservoir simulations. составлено авторами / Source: compiled by the authors.

ну невязки по накопленной добыче газа в контексте рассматриваемой модели достаточно оценивать только на последний временной шаг, т.к. контроль по скважинам устанавливался именно по дебиту газа, в то время как адаптацию остальных параметров целесообразно отслеживать по каждой скважине в отдельности.

Таблица 2. КОНФИГУРАЦИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ
Table 2. Objective function configuration

Тип объекта	Параметр	Величина относительного отклонения	Учитываемые временные шаги модели
Месторождение	Накопленная добыча газа	0,05	Последний временной шаг
Скважины	Забойное давление	0,05	Все временные шаги
Скважины	ВГФ	0,05	Все временные шаги
Скважины	КГФ	0,05	Все временные шаги

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

Последующий расчет прогнозных вариантов с целью получения вероятностной оценки различных параметров разработки (накопленной добычи газа, динамики КГФ и ВГФ) выполнен для лучших равновероятных реализаций адаптации модели.

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам расчета эксперимента Дифференциальной эволюции были получены значения переменных, при которых достигается наилучшее качество адаптации модели (табл. 3). Полученные значения отражают логичность работы оптимизационного алгоритма согласно имеющихся в модели проблем с адаптацией и конфигурации целевой функции – для примера, увеличена степень Кори и снижены величины KRWR и KRW для ОФП воды, что повлияло на уменьшение расчетных исторических отборов воды, а

Таблица 3.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ЭВОЛЮЦИИ

Table 3. Optimal values of model variables as a result of differential
evolution algorithm

Переменная	Оптимальное значение
NOW, д. ед.	8,8
NW, д. ед.	4,8
NOG, д. ед.	7,7
NG, д. ед.	6,0
Радиус региона Вороного, м	365,1
Множитель проницаемости для региона № 1, д. ед.	1,8
Множитель проницаемости для региона № 2, д. ед.	0,3
Множитель проницаемости для региона № 3, д. ед.	1,8
Множитель проницаемости для региона № 4, д. ед.	1,3
№ варианта PVT-модели	1
KRWR, д. ед.	0,4
KRW, д. ед.	0,5

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

повышающие множители по регионам Вороного позволили выполнить исторические отборы газа и одновременно с этим получить хорошую адаптацию забойных давлений (сравнение изменений в качестве настройки модели для одной из скважин представлено на рис. 2). Для последующих прогнозных расчетов были взяты трид-

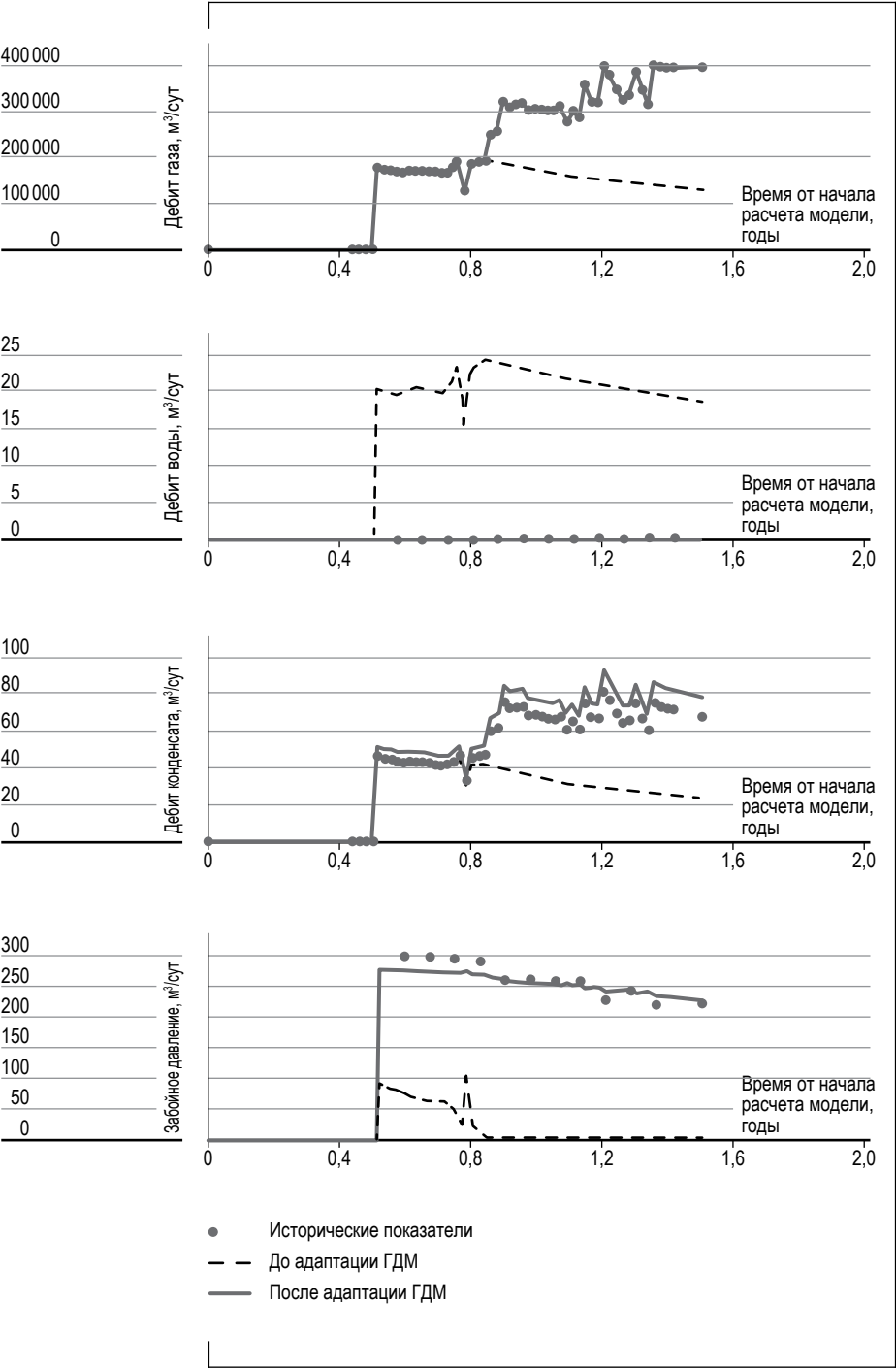


Рис. 2. Улучшение качества адаптации ГДМ.
Fig. 2. Increase in history matching quality.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

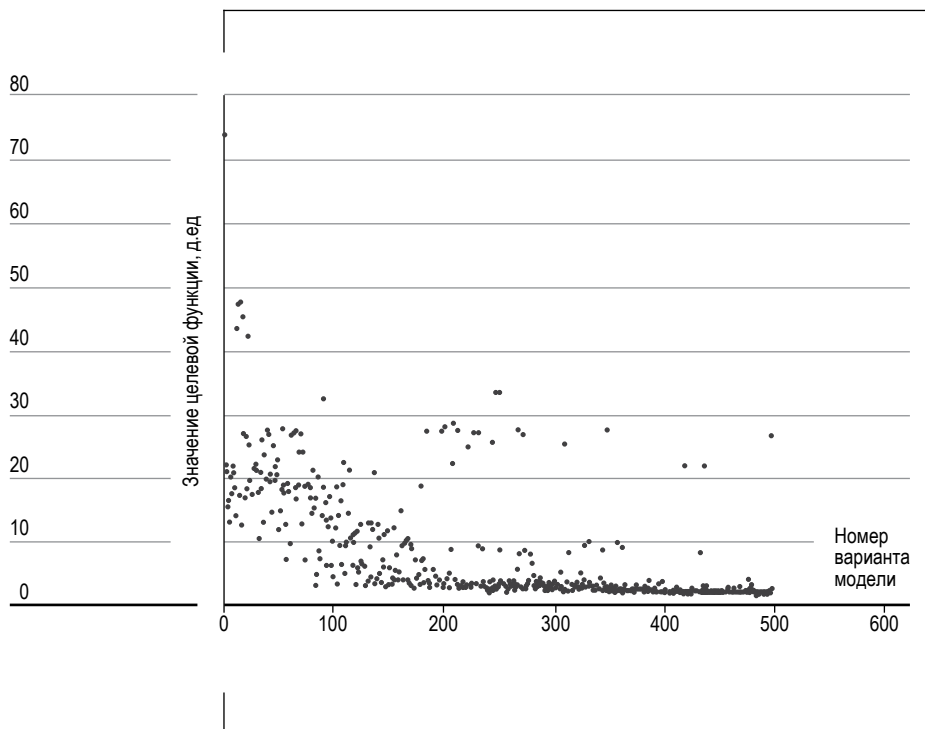


Рис. 3.

Динамика изменения значения целевой функции.

Fig. 3. Dynamics of changes in objective function values.

Источник:

составлено авторами / Source: compiled by the authors.

цать наилучших реализаций по условной отсечке значения целевой функции < 2 д.ед., т.к. они характеризуются максимально близкими и наименьшими значениями целевой функции (рис. 3).

Как итог прогнозных гидродинамических расчетов, были получены диапазоны изменения интересующих прогнозных показателей разработки – накопленной добычи газа, ВГФ и КГФ, а также накопленные функции распределения на последний временной шаг (рис. 4). Вероятностные оценки соответствуют диапазонам изменения результирующих параметров – так, для ВГФ оценка P_{90} близка к нулевой, и по графикам действительно наблюдается значительное количество гидродинамических расчетов с малыми отборами воды.

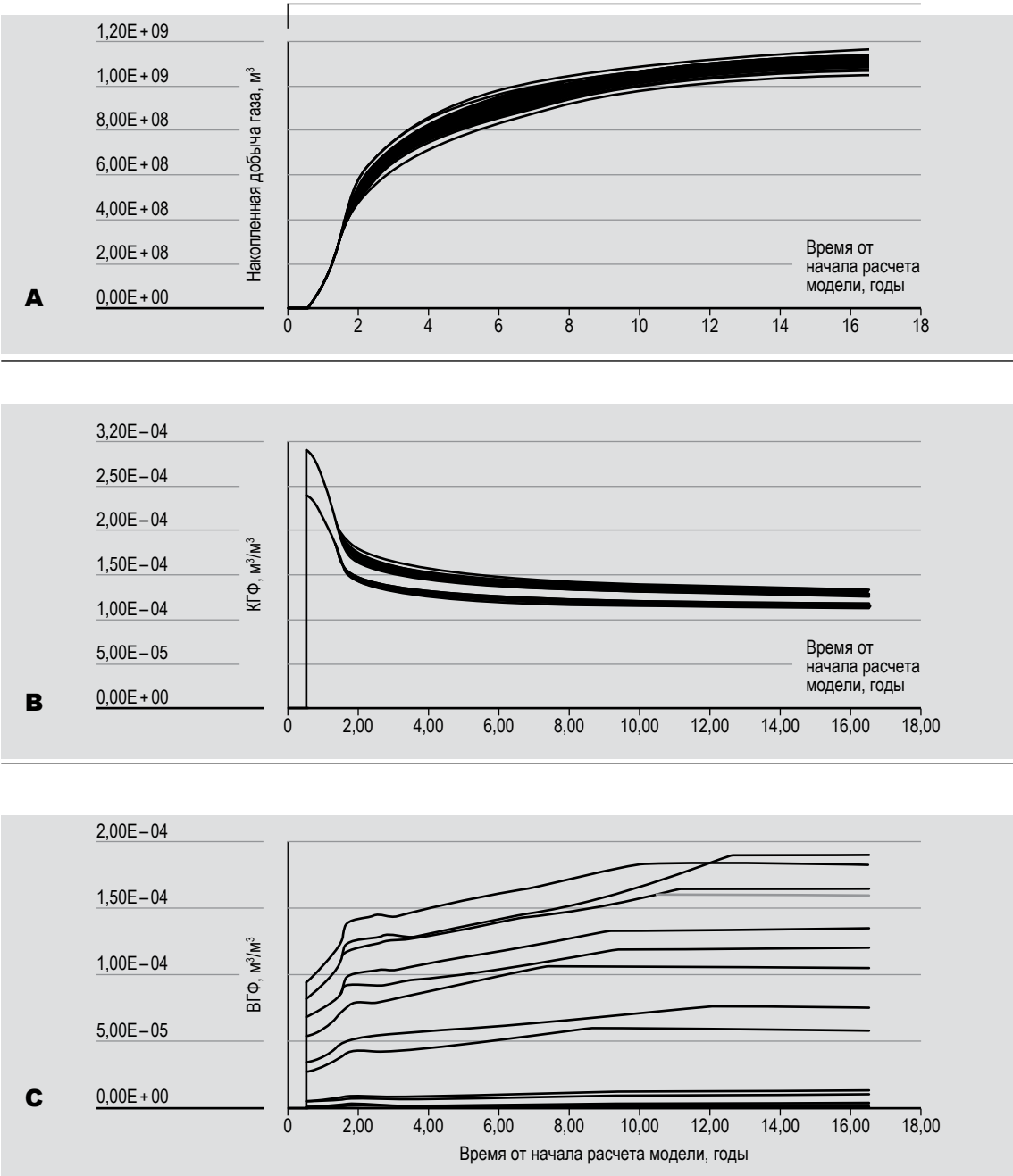


Рис. 4. Диапазон изменения показателей разработки и накопленные функции распределения на последний временной шаг: А) Накопленная добыча газа В) КГФ С) ВГФ.

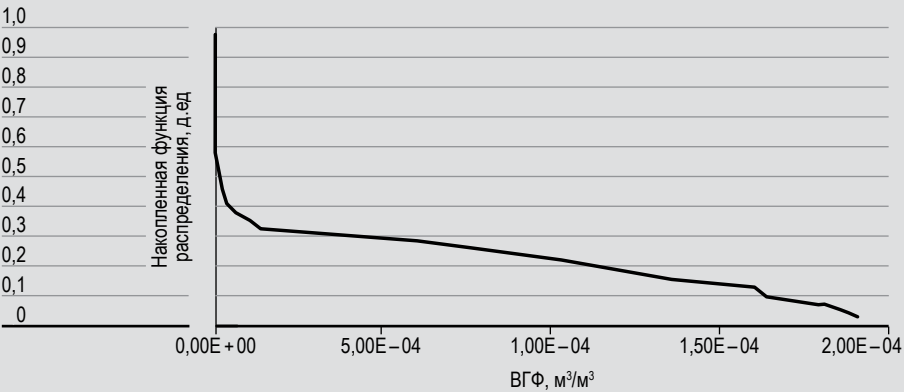
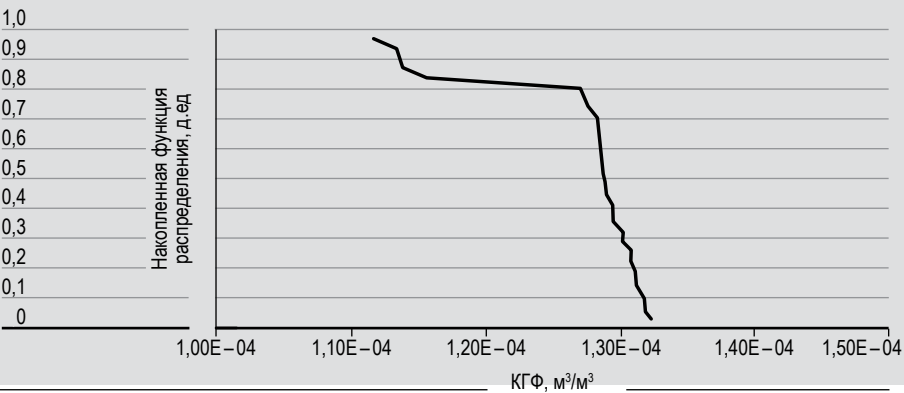
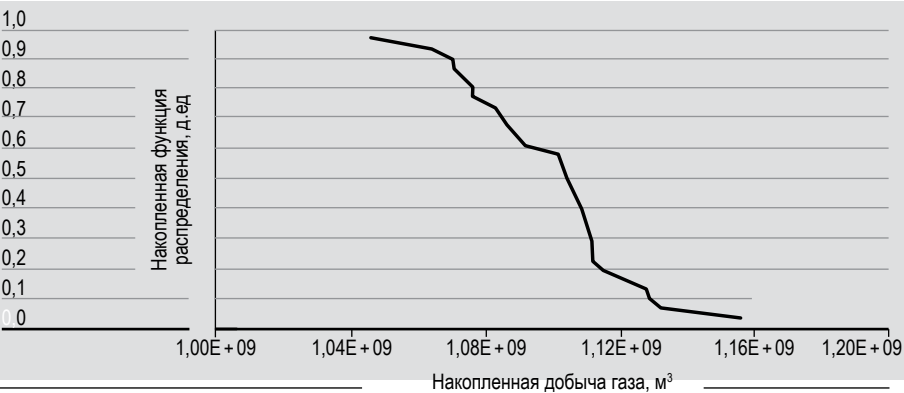


Fig. 4. Ranges of development parameters and cumulative distribution functions for the last model timestep: A) cumulative gas production B) condensate-gas ratio c) water-gas ratio.
составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Источник:

Заключение

По результатам проделанной работы составлена последовательность действий по работе с гидродинамическими моделями, направленная на адаптацию и получение вероятностной оценки основных прогнозных показателей разработки.

Программное обеспечение «tНавигатор» обладает широким функционалом в изучаемом направлении в части методов задания переменных, алгоритмов генерации расчетных вариантов, параллельных вычислений.

В качестве дальнейшей модификации рассмотренного подхода в части сокращения числа рассчитываемых моделей видится выделение трех базовых сценариев адаптации модели (пессимистичного, базового и оптимистичного по какому-либо параметру) с последующим расчетом прогнозных показателей на их основе, а также использование многомерного масштабирования, дающего возможность кластеризовать равновероятные сценарии с хорошим качеством адаптации и выбрать представительные реализации.

Список источников

1. Козырев Н. Д., Вишняков А. Ю., Путилов И. С. Оценка влияния параметров неопределенности на прогнозирование показателей разработки // Недропользование. 2020. Т. 20. № 4. С. 356–368. <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.4.5>
2. Андронов С. А., Горенкова Е. А., Гомонов А. А., Максименко И. А. Подходы к выбору реализаций при вероятностном моделировании геологической модели и анализ влияния на прогнозный профиль добычи // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. № 8 (4). С. 25–32. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-4-25-32>
3. Шишаев Г. Ю., Матвеев И. В., Еремян Г. А. Геологически обоснованная автоматизированная адаптация гидродинамических моделей на примере реального месторождения // Нефтяное хозяйство. 2020. № 6. С. 58–61.
4. Syrtlanov V., Golovatskiy Y., Ishimov I., Mezhnova N. Assisted history matching for reservoir simulation models // SPE Russian Petroleum Technology Conference. Moscow, Russia. October 2019. <https://doi.org/10.2118/196878-MS>
5. Сметкина М. А., Мелкишев О. А., Присяжнюк М. А. Уточнение значений проницаемости при адаптации гидродина-

- мической модели // Недропользование. 2020. Т. 20. № 3. С. 223–230. <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.3.3>
6. тНавигатор 24.2. Адаптация и оптимизация. Руководство пользователя // Июль 2024.
 7. Макаричев Ю. А., Иванников Ю. Н. Методы планирования эксперимента и обработки данных: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 131 с.
 8. Симонов М. В., Пенигин А. В., Маргарит А. С., Пустовских А. А., Смирнов Н. А., Ситников А. Н. Методология построения метамоделей и перспективы их применения для решения актуальных задач нефтяного инжиниринга // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2019. № 2 (12). С. 49–53.
 9. Mohamed L., Christie M., Demyanov V. History Matching and Uncertainty Quantification: Multiobjective Particle Swarm Optimisation Approach // Conference SPE 143067. Vienna, Austria, 23-26 May 2011. <https://doi.org/10.2118/143067-ms>
 10. Nelder J. A., Mead R. A simplex method for function minimization // Comput. J. 1965. No. 7. P. 308.
 11. Kathrada M. Uncertainty evaluation of reservoir simulation models using particle swarms and hierarchical clustering. Doctoral dissertation. Heriot-Watt University, 2009. 221 p.
 12. Amirian E., Fedutenko E., Yang C., Chen Z., Nghiem L. Artificial neural network modeling and forecasting of oil reservoir performance // Lecture Notes in Social Networks. 2018. P. 43–67.
 13. Evensen G. Data assimilation: The ensemble Kalman filter. Springer, NY. 2007. 279 p.
 14. Пospelова Т. А. Развитие методов регулирования работы скважин на основе цифровых технологий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. 48 с.
 15. Santhosh E. C., Sangwai J. S. A hybrid differential evolution algorithm approach towards assisted history matching and uncertainty quantification for reservoir models // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2016. Vol. 142. P. 21–35.
 16. Jianwei Gu, Wei Liu, Kai Zhang, Liang Zhai, Yigen Zhang, Fuzhen Chen. Reservoir production optimization based on surrogate model and differential evolution algorithm // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. Vol. 205. Art. 108879.
 17. Hajizadeh Y., Christie M., Demyanov V. Application of differential evolution as a new method for automatic history matching // In Society of Petroleum Engineers - Kuwait International Petroleum Conference and Exhibition, KIPCE 2009: Meet-

ing Energy Demand for Long Term Economic Growth. 2009. P. 272–284. <https://doi.org/10.2118/127251-MS>

18. Степанов С. В., Бекман А. Д., Ручкин А. А., Поспелова Т. А. Сопровождение разработки нефтяных месторождений с использованием моделей CRM. Тюмень: ИПЦ «Экспресс», 2021. 300 с.
19. Спирина Е. А., Давыдов И. В., Сазонов Д. Н., Таранин Р. М., Камалетдинов Р. Х. Экспресс-оценка выбора оптимальных параметров системы разработки в условиях геологической неопределенности // PRONEFTЬ. Профессионально о нефти. 2023. № 8 (2). С. 165–175. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-2-165-175>
20. Каневская Р. Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 140 с.

References

1. Kozyrev ND, Vishnyakov AY, Putilov IS. Assessment of the uncertainty parameters influence on the development indicators forecasting. Nedropolzovanie = Subsoil use. 2020;20(4):356-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.4.5>
2. Andronov SA, Gorenkova EA, Gommonov AA, Maksimenko IA. Approaches to selection of realizations in probabilistic modeling of geological model and analysis of influence on forecast production profile. PRONEFT. Professionalno o nefiti = PRONEFT. Professionally about oil. 2023;8(4):25-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-4-25-32>
3. Shisahev GYu, Matveev IV, Erenyan GA. Geologically justified assisted history matching of flow models using real field as an example. Neftyanoe hozyajstvo = Oil industry. 2020;6:58-61. (In Russ.).
4. Syrtlanov V, Golovatskiy Y, Ishimov I, Mezhnova N. Assisted history matching for reservoir simulation models. SPE Russian Petroleum Technology Conference. Moscow, Russia. October 2019. <https://doi.org/10.2118/196878-MS>
5. Smetkina MA, Melkishev OA, Prisyaznyuk MA. Refining the values of permeability when adapting the hydrodynamic model. Nedropolzovanie = Subsoil use. 2020;20(3):223-230. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2712-8008/2020.3.3>
6. tNavigator 24.2. AHM and Uncertainty. User guide. July 2024.
7. Makarichev YuA, Ivannikov YuN. Methods of experimental de-

- sign and data processing: technical manual. Samara: Samara State Technical University; 2016. 131 p. (In Russ.).
8. Simonov MV, Penigin AV, Margarit AS, Pustovskikh AA, Smirnov NA, Sitnikov AN. Methodology of surrogate Models (MetaModels) and their prospects for solving petroleum engineering challenges. PRONEFT. Professionalno o nefti = PRONEFT. Professionally about oil. 2019;2(12):49-53. (In Russ.).
 9. Mohamed L, Christie M., Demyanov V. History Matching and Uncertainty Quantification: Multiobjective Particle Swarm Optimisation Approach. SPE 143067. Vienna, Austria, 23-26 May 2011.
 10. Nelder JA, Mead R. A simplex method for function minimization. Comput. J. 1965;7:308.
 11. Kathrada M. Uncertainty evaluation of reservoir simulation models using particle swarms and hierarchical clustering. Doctoral dissertation. Heriot-Watt University; 2009. 221 p.
 12. Amirian E, Fedutenko E, Yang C, Chen Z, Nghiem L. Artificial neural network modeling and forecasting of oil reservoir performance. Springer. Cham. 2018.
 13. Evensen G. Data assimilation: The ensemble Kalman filter. Springer, NY; 2007.
 14. Pospelova TA. The development of methods of well work regulation based of digital technologies: author's summary of dissertation of doctor of technical sciences. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2021. 48 p.
 15. Emil C. Santhosh, Jitendra S. Sangwai. A hybrid differential evolution algorithm approach towards assisted history matching and uncertainty quantification for reservoir models. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2016;142:21-35.
 16. Jianwei Gu, Wei Liu, Kai Zhang, Liang Zhai, Yigen Zhang, Fuzhen Chen. Reservoir production optimization based on surrogate model and differential evolution algorithm. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021;205:108879.
 17. Hajizadeh Y, Christie M, Demyanov V. Application of differential evolution as a new method for automatic history matching. <https://doi.org/10.2118/127251-MS>
 18. Stepanov SV, Bekman AD, Ruchkin AA, Pospelova TA Oil field development support using CRM models. Tyumen: IPC "Express"; 2021. 300 p. (In Russ.).
 19. Spirina EA, Davydov IV, Sazonov DN, Taranin RM, Kamaletdinov RH. Express assessment of the choice of optimal parameters of the development system under the conditions of geological uncertainty. PRONEFT. Professionalno o nefti = PRONEFT.

Professionally about oil. 2023;8(2):165-175. (In Russ.). <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-2-165-175>

20. Kanevskaya RD. Mathematical modelling of hydrodynamic processes of hydrocarbon fields development. Moscow-Izhevsk: Institute of computer research; 2002. 140 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Даниил Валерьевич Балин — аспирант, Тюменский индустриальный университет

Ольга Владимировна Балина — кандидат технических наук, доцент, доцент, Тюменский индустриальный университет

Елена Ивановна Мамчистова — кандидат технических наук, доцент, профессор, Тюменский индустриальный университет

Вклад авторов

Даниил Валерьевич Балин. 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.

Ольга Владимировна Балина. Участие в составлении черновика рукописи, редактирование.

Елена Ивановна Мамчистова. Участие в составлении черновика рукописи, редактирование.

Information about the authors

Daniil V. Balin — Postgraduate student, Industrial University of Tyumen

Olga V. Balina — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Industrial University of Tyumen

Elena I. Mamchistova — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Professor, Industrial University of Tyumen

Contribution of the authors

Daniil V. Balin. 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 – the acceptance of responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Olga V. Balina. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript.

Elena I. Mamchistova. Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript.

Научная статья

УДК 622.276.4

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.8>

АНАЛИЗ ПРИЧИН НИЗКОЙ НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЪЕКТА С ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТЬЮ ПЕРМО-КАРБОНОВОЙ ЗАЛЕЖИ

Денис Александрович Иванов

ЛУКОЙЛ-Инжиниринг (З, Покровский б-р, стр. 16, Москва, 109028,
Российская Федерация)

denis_a_ivanov@hotmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-6402-5134>

Аннотация.

УШГН (установка штангового глубинного насоса) в условии нагрева пласта паром после ПЦО (пароциклической обработки) работает в широком диапазоне реологических свойств флюидов и температуры среды. На начальном этапе происходит добыча горячей нефтесодержащей жидкости с температурой порядка 200 °С и вязкостью несколько десятков сПз. В этот период также отбирается вся закаченная вода, которая поступила в пласт в виде пара в процессе пароциклической обработки. Через несколько месяцев эксплуатации, после остывания призабойной зоны, вязкость нефти увеличивается до нескольких сотен сПз. Также возрастает влияние стабильных эмульсий на свойства флюидов. Данные изменения приводят к росту нагрузок на насосное оборудование в процессе эксплуатации, что приводит к преждевременным отказам. Задача по обеспечению длительной эксплуатации УШГН с высокой наработкой на отказ является наиболее востребованной при данных условиях работы ГНО (глубинно насосное оборудование). Выполнен анализ причин низкой наработки на отказ с использованием большого массива информации, обширной базы данных по работе УШГН. На месторождении применяется однотипное насосное оборудование с изменением только диаметра плунжера в зависти от дебита. По итогам проведенного анализа определен участок месторождения, где необходимо вносить существенные изменения в параметрах насоса из-за повышенной вязкости нефти. В мировой практике в таких условиях использу-

ют УШГН с большей длинной хода сокращая количество ходов, увеличивая наработку на отказ. Опыт работы на аналогичных месторождениях в других регионах мира указывает на необходимость использования машинного обучения для улучшения показателей насоса.

Ключевые слова: установка штангового глубинного насоса, пароциклические обработки, высоковязкие нефти, пермо-карбоновая залежь, наработка на отказ, большие данные

Для цитирования: Иванов Д. А. Анализ причин низкой наработки на отказ насосного оборудования объекта с высоковязкой нефтью пермокарбоновой залежи // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 3. С. 157–179. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.8>

Финансирование: работа выполнялась в рамках договора между ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» и ООО «ЛУКОЙЛ – Коми» в 2023 году и в рамках договора между ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» и ООО «ЛУКОЙЛ – Пермь» в 2024 году по абонентскому обслуживанию.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.08.2024;
одобрена после рецензирования 20.09.2024;
принята к публикации 25.09.2024.

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

Research article

Analysis of the reasons for low mean time between failures of pumping equipment at a high-viscosity permo-carbon oil deposit

Denis A. Ivanov

LUKOIL-Engineering (3, Pokrovskiy Blvg., Blbd. 1b, Moscow, 109028, Russian Federation)

denis_a_ivanov@hotmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-6402-5134>

Abstract.

Sucker-rod pumping unit in operation after huff and puff cyclic steam injection operates in a wide range of rheological proper-

ties of fluids and medium temperatures. During the initial stage after steam injection, hot liquid fluids are extracted with a temperature of about 200°C and a viscosity of several tens of cP. During this period, all injected water is also pumped out of the reservoir, which entered the reservoir in the form of steam during steam injection phase. After several months of operation, after the bottom-hole zone cools down, the viscosity of the oil increases to several hundred cP. The influence of stable emulsions on the properties of fluids also increases. These changes lead to increased loads and torque on pumping equipment during operation, which leads to premature failures. The challenge to secure long-term operations with a high mean time between failures of pumping units is critical and demanding. The analysis of the main causes and trends of low mean time between failure using a large array of information and data was performed. Certain big data analysis approaches have been developed and presented and used to formulated qualitative and quantitative conclusions and recommendations. The field uses the same type of pumping equipment with only a change in the diameter of the plunger depending on the flow rate. Based on the results of the analysis, the area of the field was identified where it is necessary to make significant changes in the pump parameters due to the increased viscosity of the oil. In such conditions according to world practice longer stroke sucker-rod pumping unit is used reducing the number of strokes, increasing mean time between failure. Experience in similar fields in other regions of the world also indicates the need to use machine learning to improve pump performance.

Keywords: sucker-rod pumping unit, huff and puff cyclic steam injection, high-viscosity oils, permo-carbon deposit, mean time between failures, big data

For citation: Ivanov DA. Analysis of the reasons for low mean time between failures of pumping equipment at a high-viscosity permo-carbon oil deposit. Science. Innovations. Technologies. 2024;(3):157-179. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.3.8>

Funding: the work was carried out under the agreement between LUKOIL-Engineering LLC and LUKOIL – Komi LLC in 2023 and under the agreement between LUKOIL-Engineering LLC and LUKOIL – Perm LLC in 2024 as part of a service contract.

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

The article was submitted 17.08.2024;
approved after reviewing 20.09.2024;
accepted for publication 25.09.2024.

Введение

Промышленная разработка месторождений с традиционными запасами в Республике Коми ведется около ста лет. В регионе также имеются крупнейшие объекты по промышленной добыче высоковязких нефтей. Пермо-карбоновая залежь была открыта геологами в 60-х гг. и разрабатывается уже более 40 лет с начала 80-х гг. Месторождение имеет сложную геологию, в связи с наличием трещинно-каверно-пористого коллектора и высокой степени расчленённости. Геологические свойства, объемы бурения, средние дебиты и обводненность хорошо представлены в литературе и не приводятся в данной работе [1–4]. В начале 2000-х гг. на залежи начали проводить испытания различных технологий повышения нефтеотдачи пластов. Основным методом была признана разработка с применением тепловых методов нефтеотдачи, так как нефть пермо-карбоновой залежи является высоковязкой [5–8].

По итогам ввода парогенерирующих стационарных установок и линейных объектов для транспортировки теплоносителя к кустовым площадкам, роль ПЦО на залежи выросла до промышленных масштабов. На текущий момент, порядка 15 % всей добычи республики Коми и НАО приходится на один пермо-карбоновый объект с высоковязкой нефтью. Объем работ в области ПЦО и объем добычи за счет этого вида ГТМ стабильно увеличивается из года в год. До середины 2010-х гг. в разработку была введена только центральная часть месторождения. В период с 2015 по 2020 г. введена практически вся краевая часть месторождения, кратно увеличив объем запасов, введенных в разработку, за счет новых кустовых площадок в ранее не разрабатываемой краевой зоне. Новые зоны разрабатываются, наклонно-направленными скважинами с преимущественным применением ПЦО.

После паротепловых обработок призабойная зона остается нагретой в течении длительного периода. В этот период осуществлять отбор возможно только с помощью УШГН, так как все другие насосы не могут работать при такой температуре, что соответствует общей мировой практике. В этой связи, технологии и методы добычи нефти с помощью УШГН получили дальнейшее развитие. Эволюция технологий УШГН и новые решения хорошо представлены в литературе [9–11].

Материалы и методы исследований

В качестве исходной информации использованы данные работы всех ШГН на объекте, за последний пятилетний период. В анализе рассмотрены технологические режимы работы скважин и их геологические характеристики. За 5 лет всего было в работе около 2 тысяч ШГН. Общий рассмотренный фонд скважин составлял более 1 тыс. штук, т.е. большая часть фонда скважин.

За рассматриваемый период количество УШГН увеличилось примерно в два раза. Рост числа УШГН в основном связан с увеличением количества ПЦО (рис. 1). Кроме появления новой парогенерирующей инфраструктуры на месторождении начали применять новые технологии заканчивания скважин, что также позволило повысить эффективность добычи в целом, за счет снижения количества операций. Большая часть скважин имеет подземное и устьевое оборудование, предназначенное для закачки теплоносителя без необходимости демонтажа и подъема подземного оборудования. То есть закачка теплоносителя осуществляется через глубокий насос, а подъем жидкости осуществляется по тем же трубам что и закачка пара.

Целью проведенной аналитической работы было определение причин преждевременных отказов УШГН и подготовка рекомендаций. Средняя наработка за последние 5 лет выросла со 180 суток в 2018 г. до более чем 250 суток в 2021–2022 году, за счет введенных технологических новшеств, разработок и изменений. Тем не менее, наработка на отказ УШГН, в целом, по-прежнему является неудовлетворительной.

Период работы УШГН или наработка на отказ до замены или выхода его из строя зависит от очень большого количества факторов. Соответственно, нет возможности найти прямую зависимость от одного параметра. Тем не менее, одни параметры не имеют никакого влияния на отработанное время, а другие имеют слабое влияние, которое можно проанализировать. Для каждого УШГН рассмотрены следующие показатели: отработанные дни, частота и количество ходов, причина замены, коэффициент подачи, средний и начальный дебит нефти, объем отобранной нефти и жидкости за время работы УШГН, обводненность в разные периоды работы УШГН и средняя обводненность, давление в зоне отбора. Также дополнительно рас-

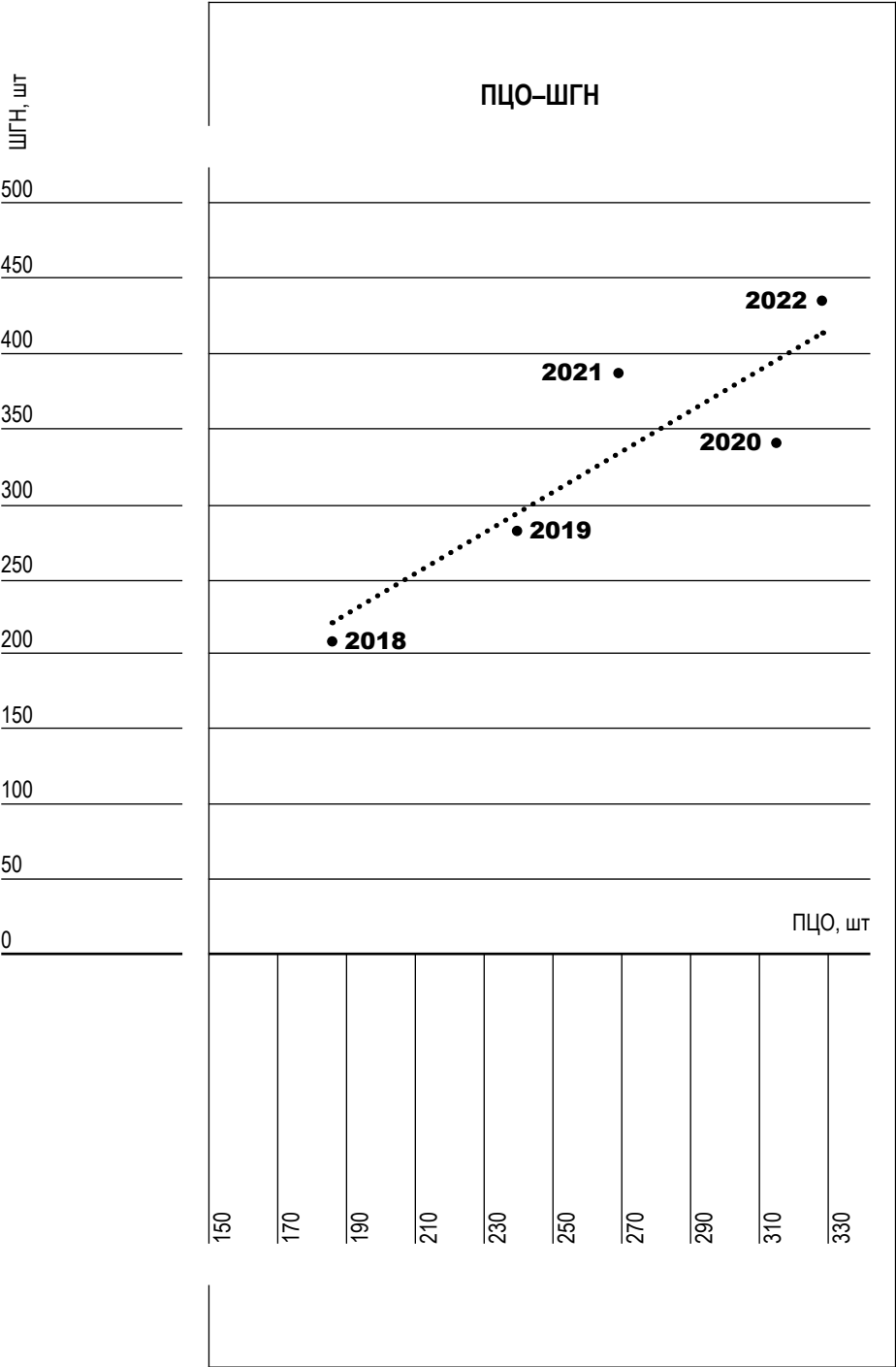


Рис. 1. Количество замен ШГН и количество ПЦО по годам.
Fig. 1. Number of sucker rod pumps used and huff and puff operation per year.

смотрены исторические данные скважины, включая накопленные отборы нефти и жидкости и накопленные объемы закачанного пара, и некоторые геологические параметры, включая толщины пластов. Применялся метод, схожий с применяемым в нейронных сетях, но в ручном табличном режиме с поиском возможных зависимостей и трендов. Подход основывается на построении зависимости практически всех рассмотренных параметров друг против друга. В большинстве случаев, как и ожидалось, отсутствует какая-либо зависимость.

При построении распределения наработки на отказ по средней обводненности (рис. 2) несмотря на то, что в целом данные выглядят хаотичными, имеется слабая тенденция. Данная тенденция имеет теоретические объяснения на базе ключевых физических принципов работы УШГН. Количество ходов УШГН до выхода из строя в связи с износом имеет прямую зависимость от нагрузки на насосное оборудование. УШГН на скважинах с очень высокой обводненностью работают со значительно меньшей нагрузкой. Для данного объекта в связи с тем, что вязкость нефти очень высокая, разница нагрузки между подъёмом воды или нефти очень высокая. В целом на основании первичного анализа сделан вывод о том, что неудовлетворительная наработка на отказ в большей степени относится к УШГН, которые работают с обводненностью менее 60 %.

Проведена группировка по кустовым площадкам с расчетом средней наработки на отказ для каждой кустовой площадки. Первый анализ проведен для всех кустовых площадок, где за последние 5 лет был задействован хотя бы один УШГН. Далее, количество анализируемых кустовых площадок было сокращена до 48 штук, где в течение последних 5 лет отработало минимум 5 УШГН, тем самым кусты с небольшим количеством отработанных УШГН были исключены из анализа. Для каждой кустовой площадки были рассчитаны средние показатели и проведен аналогичный анализ, как и для отдельных УШГН, включая построение зависимости средней наработки на отказ от среднего дебита нефти, обводненности и других параметров включая накопленные отборы. Средние показатели рассчитывались и анализировались только для анализируемых скважин с УШГН на рассматриваемых кустовых площадках. Для

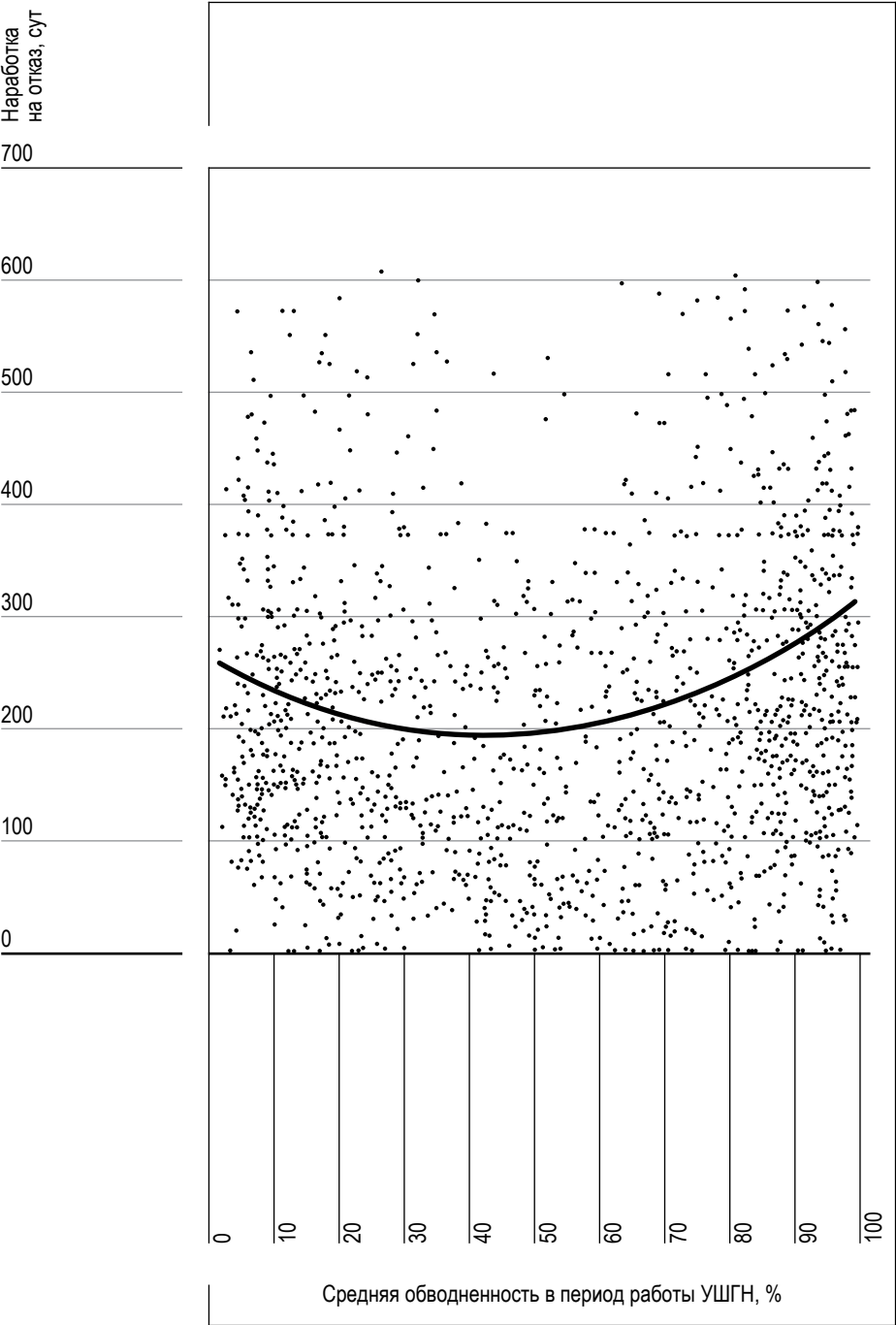


Рис. 2. Распределение наработки на отказ по средней обводненности.
Fig. 2. Distribution of mean time between failure vs average water-cut.

выбранных анализируемых кустовых площадок построен график зависимости средней обводненности от наработки на отказ и среднего дебита нефти от наработки на отказ (рис. 3А и рис. 3Б). По итогам проведённого группирования по кустовым площадкам и усреднения, взаимосвязь между наработкой на отказ и обводненностью, а также взаимосвязь между наработкой на отказ и дебитом становится более выраженной. Низкая наработка на отказ приходится на кустовые площадки с меньшей обводненностью. Кусты с меньшей наработкой на отказ в среднем имеют более высокий дебит по нефти. Данные зависимости имеют физическое объяснение, так как насосное оборудование, которое работает на более продуктивном участке с меньшим количеством воды будет иметь большую нагрузку и степень износа, что выражается в меньшей итоговой наработке на отказ.

Объединив все итоговые тренды проведена еще одна группировка кустовых площадок в три группы. Построена зависимость средней исторической накопленной добычи на скважину для рассматриваемых кустовых площадок от текущей обводненности (рис. 4). Данный график был использован для определения трех групп — группа с высокой обводненностью и высокой накопленной добычей, группа с высокой обводненностью и низкой накопленной добычей нефти и группа с низкой обводненностью и низкой добычей нефти. Далее кустовые площадки нанесены на карту в координатах ХУ в соответствии с группой. На карте также нанесена текущая обводненность (рис. 5).

Первая группа кустовых площадок находится в двух зонах на юге залежи и в западной части (обозначен квадратом). В группе отработано 389 УШГН и находится 15 кустов. Средняя наработка на отказ равна 170 суткам, что на 30 % ниже, чем в группе 2 и 3. Средняя обводненность составляет 41 %, что на 44 % ниже, чем в группе 2 и 3. Все кусты были введены после 2015 года (в основном 2018 г.). Средняя добыча за отработанное время УШГН была на 10 % выше, чем добыча группы 2 и 3. То есть более высокие дебиты компенсируют потери при меньшем времени работы УШГН и в среднем УШГН отбирают больший объем нефти. Вторая группа прилегает к первой группе и находится на флангах месторождения. Большая

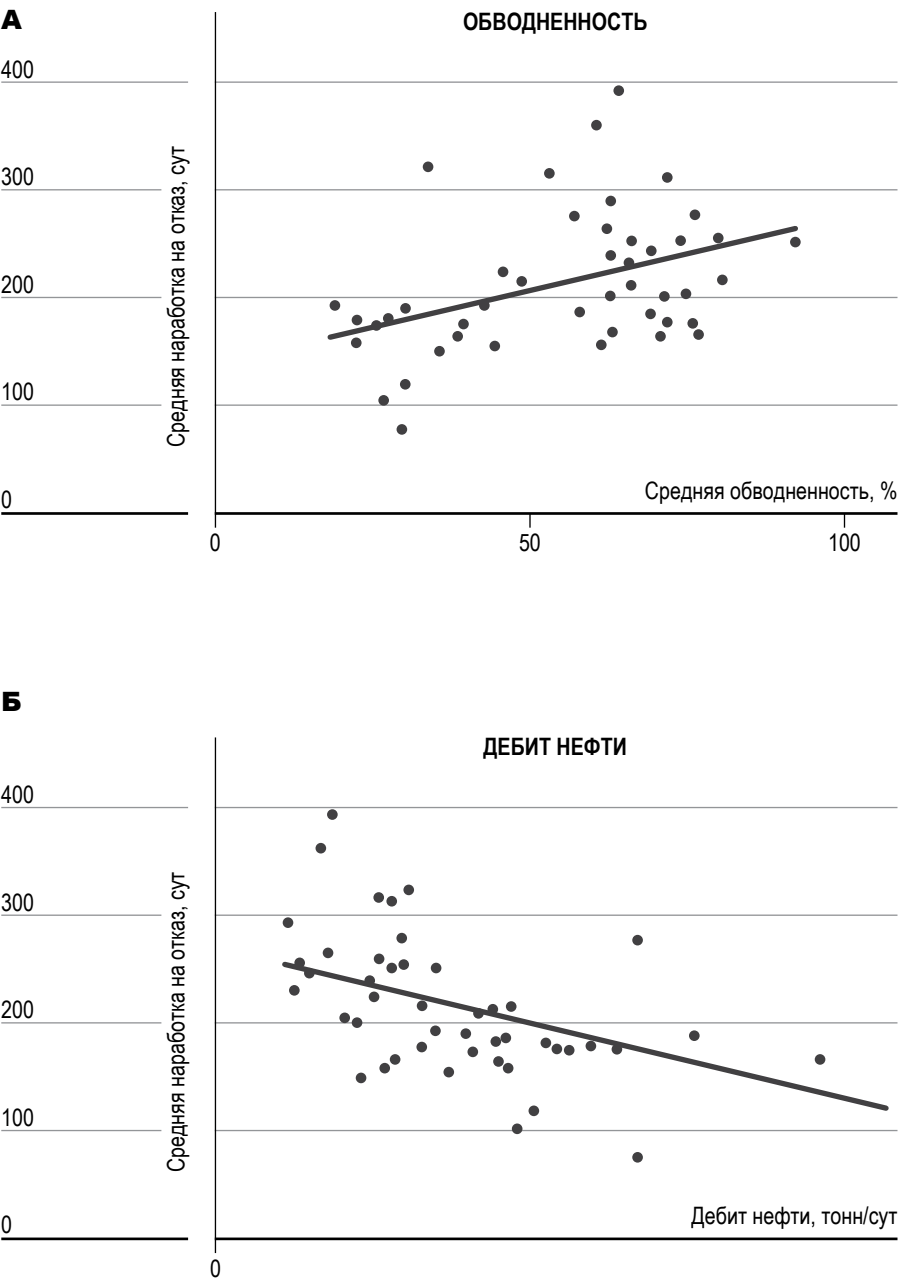


Рис. 3. Зависимость наработки от А) средней обводненности основных кустовых площадок; Б) от среднего дебита нефти основных кустовых площадок.
Fig. 3. Mean time failure dependency of А) Average pad water cut Б) Average pad oil rate.

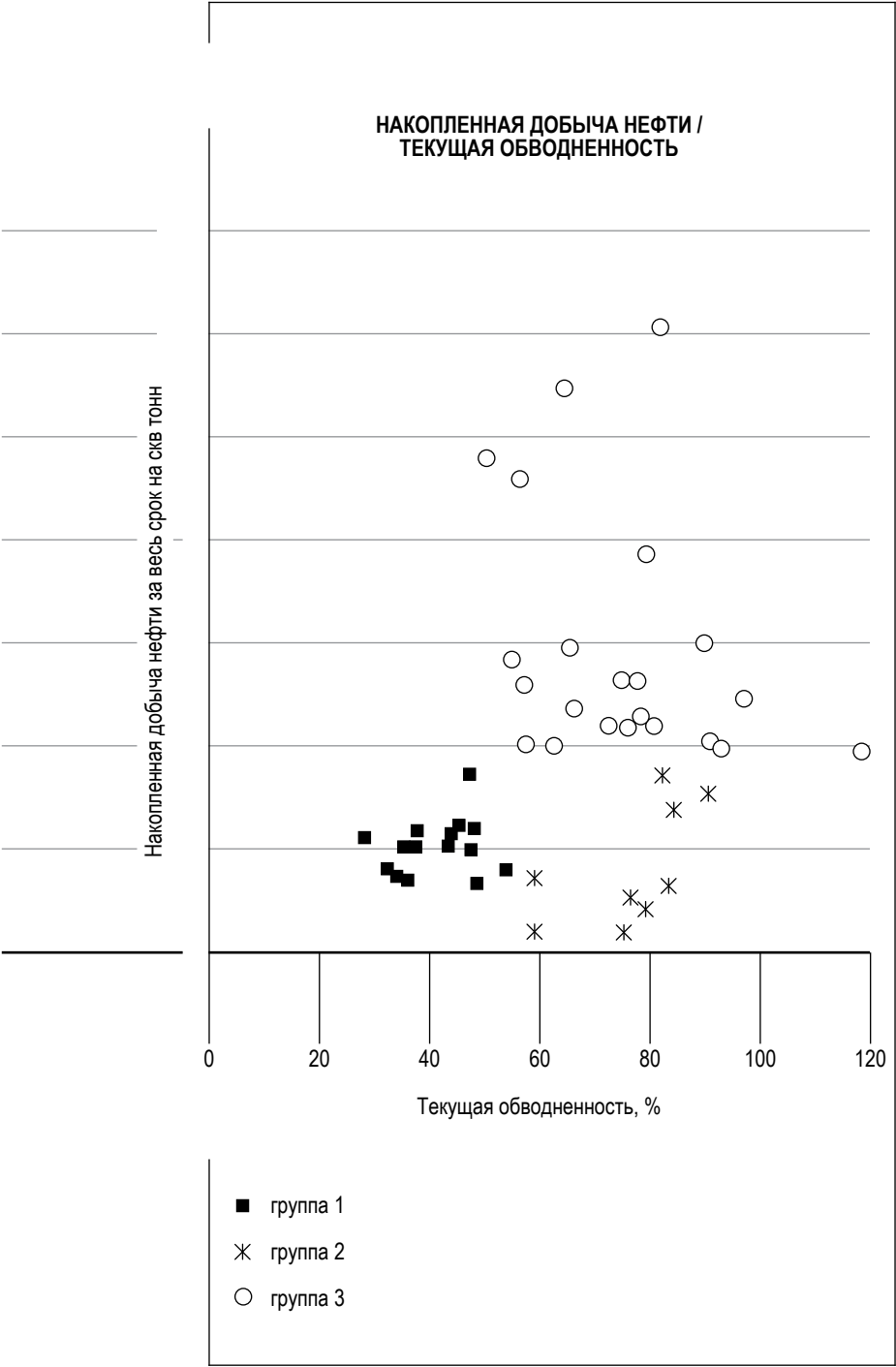


Рис. 4.

Средняя обводненность и накопленная добыча по кустам за все время.
Fig. 4. Average water-cut vs cumulative oil production per pad.

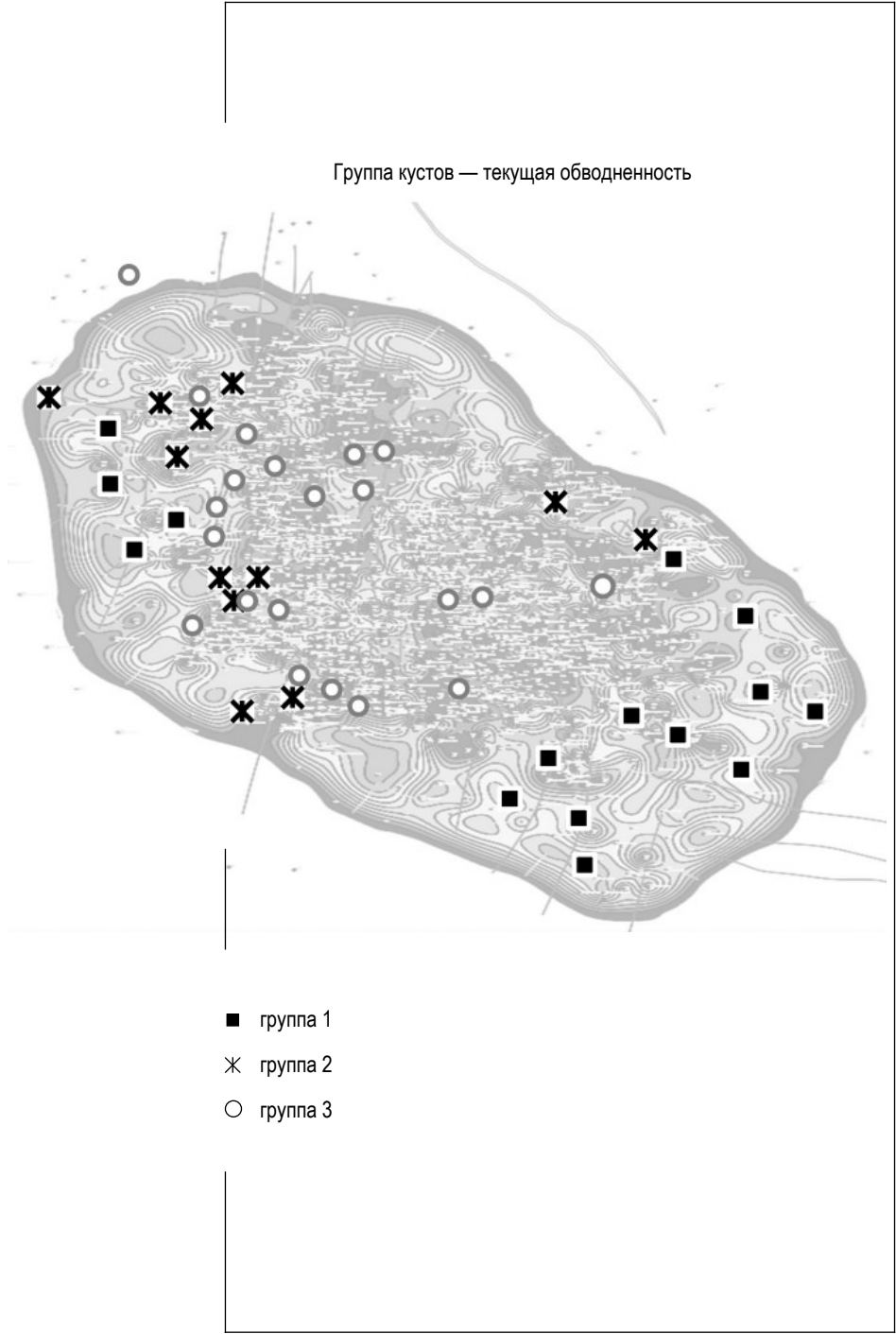


Рис. 5. Расположение кустовых площадок по группам на карте текущей обводненности.
Fig. 5. Pad location per group on a water-cut map.

часть скважин была введена за последние 10 лет, т.е. значительно позже центральной части (третья группа). Скважины в среднем работали в три раза меньше по времени, чем в зоне 3. При этом текущие извлекаемые запасы этой группы являются лучше, чем группы кустовых площадок в центре залежи, где выработка является очень высокой. Средняя обводненность в этой зоне схожа с центральной зоной (третья группа) и равна 74 %. Накопленная добыча на скважину за весь срок разработки в три раза меньше, чем в центральной зоне. Средняя наработка на отказ равна 236 суткам. В группе отработано 312 УШГН и находится 12 кустов. Третья группа скважин находится в центральной части месторождения в зоне с максимальными толщинами и начальными запасами. Эта зона была введена в эксплуатацию в первую очередь и имеет наиболее продолжительную историю разработки. Текущая выработка является очень высокой. В этой зоне было проведено максимальное число ПЦО за всю историю с наибольшим накопленным показателем по объему закаченного теплоносителя. Несмотря на высокую степень выработки и высокую обводненность равную 73 %, показатели работы УШГН являются удовлетворительными в части наработки и объему добычи за отработанный период. Большая часть скважин была введена в конце 80-х – начале 90-х гг. В группе из 21 куста отработали 460 УШГН за пять лет. Средняя наработка составила 242 суток. Скважины также расположены на минимальном расстоянии от объектов подготовки нефти. За счет меньшего расстояния на скважинах более низкое противодавление, что тоже имеет положительное влияние на работу УШГН.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведен первичный анализ работы УШНГ с выявлением основных возможных причин в неудовлетворительных показателях. В работе сформулированы основные направления, где необходимо проводить дальнейшие работы. Три группы скважин зоны имеют существенные различия в части технологических показателей и работы УШГН. В дальнейшем необходимо доработать понимание и проанализировать все геологические и технологические различия для выявления всех причин, что является необходимым

для принятия правильных технологических решений. В целом нагрузки, которые являются основной причиной в отказе, состоят из многих составляющих и не имеют 100 % корреляцию с таким показателем, как обводненность. Наличие низкой обводненности лишь повышает возможность возникновения осложнений и выхода оборудования из строя. Есть много других параметров, которые значительно усложняют работу оборудованию. Например, выпадение АСПО также повышает нагрузки и может привести к преждевременным отказам.

Направление по применению нейронных сетей для усовершенствования работы УШГН, включая повышение эффективности и производительности, развивается быстрыми темпами и широко применимо на практике [11–15]. В некоренных случаях нейронные сети, основанные на большом количестве данных и искусственном интеллекте, фактически заменяют работу оператора, что делает малодебитные скважины рентабельными в связи со снижением затрат на эксплуатацию. Все рассмотренные работы относятся к добыче нефти традиционным способом без закачки пара. Схожие технологические и геологические условия (высоковязкие нефти, УШГН и ПЦО) имеются на одном из месторождений в Кувейте, где применение новых алгоритмов существенно повысило продуктивность и снизило количество отказов ШГН [16, 17]. Наибольший акцент в работе на месторождении в Кувейте сделан для улучшения работы УШГН в условиях выпадения АСПО.

По результатам проведенного анализа работы УШГН на пермо-карбоновой залежи определены основные направления и параметры, которые можно взять за основу при формировании обучающих алгоритмов по улучшению работы УШГН, так как в основе должны лежать определенные физические принципы. В основе применяемых на практике нейронных сетей для управления работой УШГН лежат динамограммы. Сформированные библиотеки динамограмм для конкретных месторождений с характерными проблемами и осложнениями, используются для анализа работающего фонда. По итогам разделения месторождения на группы сформирована область, требующая наибольшего внимания для повышения наработки на отказ и других технологических показателей. Область

ограничена определенными кустовыми площадками на юге и западе месторождения. Потенциальную нейронную сеть для контроля УШГН необходимо сформировать только для одной области и одной группы скважин. Информация по работе УШГН в другой области (группа 2 и 3) вероятно не будет применима для улучшения работы в группе с наименьшей наработкой на отказ (группа 1 в краевой зоне). В целом для каждой из трех групп необходимо сформировать независимую нейронную сеть со своим алгоритмом решения.

В проведенной данной работе не рассмотрены динамограммы. Для создания нейронных сетей необходимо создать библиотеку динамограмм на основе фактической работы оборудования с более подробной диагностикой возникающих проблем в процессе эксплуатации, а не только выявления причин выхода из строя в конце.

Кроме введения усовершенствованных подходов к оперативному сбору данных и принятия решений на базе нейронных сетей, необходимо провести ревизию применяемого оборудования и технологий. Для добычи высоковязкой нефти в мире разработаны и применяются ШГН и верхние приводы с большим ходом [18,19]. В этом случае, для добычи одного объема нефти, потребуется меньшее количества качаний из-за большего хода. Снижение количества ходов снижает количество изменений нагрузок на сжатие и растяжение колонны штанг насосов, что повышает долговечность. Данные технологические изменения потребуют изменений в наземной части оборудования, включая верхний привод, что на практике является сложно-осуществимо.

Кроме технологической ревизии необходимо качественно и количественно пересмотреть геологические параметры объекта. На месторождениях с небольшими глубинами залегания продуктивных пластов в условиях низкой температуры (менее 40 °С) происходит процесс биодegradации с сопутствующим ростом вязкости нефти. Данные явления были количественно описаны для ряда месторождений сверх вязких нефтей в Венесуэле [20]. В процессе бактериальной деятельности образуются определенные биомаркеры, на базе которых определяется степень биодegradации. Были сформированы прогнозные модели, на базе которых можно рассчитать вязкость нефти зная степень биодegradации. Нефти, которые находятся бли-

же всего к водонефтяному контакту подвергаются максимальному темпу и степени биodeградации из-за наибольшей активности бактерий. Для рассматриваемого пермо-карбонового объекта в республике Коми вероятность существенной биологической активности является очень высокой (около 100 %) так как практически все месторождения высоковязких нефтей на малых глубинах, были сформированы с участием биodeградационных процессов. Т.е. из нефтематеринских пород мигрирует легкая нефть и заполняет ловушки, если ловушки находятся в условиях низких температур, то начинается биodeградация за счет чего плотность и вязкость нефти увеличивается из-за сокращения доли легких фракций бактериями. Краевая зона пермо-карбоновой залежи находится ближе к контакту и в соответствии с теорией биodeградации нефти должна быть подвержена более интенсивному биологическому процессу деградации с получением более вязких нефтей на выходе. Кроме более высоковязких нефтей, которые повышают нагрузки на оборудование, в этих зонах может быть более интенсивное выпадение АСПО. На момент проведения данной работы из краевых зон не было отобрано ни одной представительной без эмульсионной пробы нефти. Исследований в части определения степени биodeградации также не проводили. Соответственно нет лабораторного подтверждения описанной теории. Т.е. наличие более вязкой нефти на контуре является гипотетическим. Тем не менее сформулированные тезисы и гипотезы подтверждают необходимость рассмотреть разработку краевой зоны с применением УШГН с использованием более совершенных технологических решений, включая принятие решения по использованию нейронных сетей.

Заключение

Проведен сбор и анализ данных работы УШГН на пермо-карбоновой залежи после ПЦО. Анализ проведен используя общие подходы и методики применимые в нейронных сетях, но в ручном режиме. Алгоритм является прототипом для будущих полномасштабных проектов с формированием адаптивного алгоритма нейронной сети. Принцип применяемого алгоритма, следующий:

- формируются таблицы данных с показателями работы УШГН, технологические показатели работы скважин при работе УШГН и исторические показатели, геологические данные и координаты кустовых площадок;
- проводится анализ и поиск зависимостей и трендов между параметрами анализируя все возможные комбинации зависимостей. Итоговые тренды используются для группирования УШГН и скважин в соответствии с типом, местоположением, текущими и историческими технологическими показателями;
- сформированные группы составляют логические кластеры кустовых площадок для каждого из которых формируются свои решения в связи с разными условиями работы. Далее формируются итоговые заключения.

В работе представлены только итоговые основные результативные шаги без описания скрытых тупиковых шагов и расчетов. Проведен краткий обзор случаев применения аналогичных подходов с целью улучшения работы УШГН. Отмечено применение нейронных сетей для улучшения показателей добычи и эффективности работы УШГН для традиционных коллекторов. Для условий аналогичных пермо-карбоновой залежи с высоковязкой нефтью и закачкой пара, применяемые алгоритмы решаются и контролируются в ручном режиме из-за большого количества и типов проблем и осложнений. Выявленные тренды и зависимости позволяют указывать проблемные области, с увеличением вероятности осложнений или отказов работы УШГН.

Следует отметить существенную недостаточность исходных данных, особенно в части свойств и составов нефтей в краевых частях месторождения. Это не позволяет диагностировать осложнения с большей точностью и вероятностью и выстраивать логическую цепь решений. Также имеются недостатки в части разнообразия доступных технологических решений. По опыту работы со сложными флюидами на других объектах, в соответствии с проведенным обзором

ром, сделан вывод о необходимости применения УШГН с большим ходом. Для построения эффективного алгоритма принятия решений необходим большой набор технологических решений в виду большого разброса технологических и геологических условий на рассмотренном объекте. Итоговые нейронные сети должны включать в себя полную библиотеку динамограмм. Для каждой выделенной группы скважин, по итогам проведенной работы, необходимо построить отдельную независимую нейронную сеть с отдельным набором данных, корреляционных зависимостей и итоговых решений.

Список источников

1. Гутман И. С., Руднев С. А., Саакян М. И., Даниленко А. Н., Урсегов С. О., Прокушева С. А. Зоны развития коллекторов пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения // Недропользование XXI в. 2012. № 4. С. 28–35.
2. Пастухов И. А. Ретроспектива развития разработки залежи сверхвязкой нефти Усинского месторождения // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений, транспорта и переработки трудноизвлекаемых тяжёлых нефтей: Материалы всероссийской научно-технической конференции (с международным участием). Ухта, 2022. С. 87–91.
3. Тараскин Е. Н., Захарян А. З., Урсегов С. О. Адаптивное прогнозирование эффективности проведения геолого-технических мероприятий в скважинах пермо-карбоновой залежи Усинского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2017. № 07. С. 20–25. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-7-20-25>
4. Шмидтберг А. В. Опыт разработки пермо-карбоновой залежи сверхвязкой нефти Усинского месторождения // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: ООО «Аэтерна», 2022. С. 135–137.
5. Кувшинов И. В., Алтунина Л. К., Кувшинов В. А. Комбинированная обработка скважин химическими композициями различного назначения в сочетании с термическим воздействием // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2019. № 4. С. 473–482.
6. Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Кувшинов И. В., Стасьева

- Л. А., Чертенков М. В., Шкрабюк Л. С., Андреев Д. В. Физико-химические и комплексные технологии увеличения нефтеотдачи пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 26–29. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-7-26-29>
7. Kalinin S. A., Morozyuk O. A., Kosterin K. S. Experimental Study of Heavy Oil Displacement by Carbon Dioxide on Carbonated Cores // Russian Oil and Gas Technical Conference SPE Oxyabr 2020. SPE-201821-MS. <https://doi.org/10.2118/201821-MS>
 8. Алтунина Л. К., Кувшинов В. А., Кувшинов И. В., Стасьева Л. А., Чертенков М. В., Андреев Д. В., Карманов А. Ю. Увеличение нефтеотдачи пермо-карбоновой залежи высоковязкой нефти Усинского месторождения физико-химическими и комплексными технологиями (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2018. № 4. С. 462–476.
 9. Петров А. А. Анализ существующих приводов штангового глубинного насоса // Вестник магистратуры. 2018. № 4–5 (80). С. 45–48.
 10. Worth D., Al-Safran E., Choudhuri A., Al-Jasmi A. Assessment of artificial lift methods for a heavy oil field in Kuwait // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 180. P. 835–843. SPE-172883-MS. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.06.012>
 11. Kennedy D. M., Ghareed M. M. Performance Evaluations of the Different Sucker Rod Artificial Lift Systems // SPE Symposium: Production Enhancement and Cost Optimisation held in Kuala Lumpur, Malaysia, 7-8 November 2017. SPE-189231-MS. <https://doi.org/10.2118/189231-MS>
 12. Tian H., Deng S., Wang C., Ni X., Wang H., Liu Y, Ma M, Wei Y, Li X. A novel method for prediction of paraffin deposit in sucker rod pumping system based on CNN indicator diagram feature deep learning // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021. Vol. 206. 108986. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108986>
 13. Lv X-X., Wang H-X., Xin Z., Liu Y-X, Zhao P-C. Adaptive fault diagnosis of sucker rod pump systems based on optimal perceptron and simulation data // Petroleum Science. 2022. Vol. 19. Issue 2. P. 743–760. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.012>

14. Wang X., He Y., Li F., Dou X., Wang Z., Xu H., Fu L. A Working Condition Diagnosis Model of Sucker Rod Pumping Wells Based on Big Data Deep Learning // Presented at the International Petroleum Technology Conference, Beijing, China, March 2019. IPTC-19242-MS. <https://doi.org/10.2523/IPTC-19242-MS>
15. Peng Y. Artificial Intelligence Applied in Sucker Rod Pumping Wells: Intelligent Dynamometer Card Generation, Diagnosis, and Failure Detection Using Deep Neural Networks // SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Calgary, Alberta, Canada, 30 Sep - 2 October 2019. SPE-196159-MS. <https://doi.org/10.2118/196159-MS>
16. Quttainah R., Mehmood F., Mesbah H., Dange A., Sierra T. Sucker Rod Pump Design Modification to Avoid Pump Floating Phenomena in Heavy-Oil, Low API Wells to Enhance the Production Rate // SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference held in Mishref, Kuwait, 11-14 October 2015. SPE-175369-MS. <https://doi.org/10.2118/175369-MS>
17. AbdulHadi F., Al-Ajeel F., Sierra T., Mohamed A., Heshmat K. Improving Sucker Rod Pump Performance and Overall Production After Applying Continues Steam Injection in Heavy Oil Project-North Kuwait // SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition held in Kuwait City, Kuwait, 10-12 December 2018. SPE-193800-MS. <https://doi.org/10.2118/193800-MS>
18. Kennedy D. M., Ghareeb M. Ultra-Long Stroke and Intelligent Rod Pumping System for Producing Difficult Wells and/or Fluids // SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 17-19 October 2017. SPE-187028-MS. <https://doi.org/10.2118/187028-MS>
19. Spivey S., O'How D. Long-Stroke Rod Pumping Systems LSPS in High-Volume Unconventional Applications // SPE Middle East Artificial Lift Conference and Exhibition held in Manama, Bahrain, 28-29 November 2018. SPE-192497-MS. <https://doi.org/10.2118/192497-MS>
20. Landaeta G. S., Valencia L. E. Extra-Heavy Oil Viscosity Estimation Using PVT and Geochemical Analyses: Applications at Huyapari Field, Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela // SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 18-19 May 2017. <https://doi.org/10.2118/185495-MS>

References

1. Gutman IS, Rudnev SA, Saakyan MI, Danilenko AN, Ursegov SO, Prokusheva SA. Development zones of Permian-Carboniferous reservoirs of high-viscosity oil of the Usinskoye field. Nedropolzovanie XXIV = Subsurface use of the XXI century. 2012;(4):28-35. (In Russ.).
2. Pastuhov IA. Retrospective of the development of the extra-viscous oil deposit of the Usinskoye field. In Problems of geology, development and exploitation of deposits, transportation and processing of hard-to-recover heavy oils: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference (with international participation). Uhta; 2022;87-91. (In Russ.).
3. Taraskin EN, Zaharyan AZ, Ursegov SO. Adaptive forecasting of well work-over techniques on the example of the Permian-Carboniferous reservoir of the Usinskoye field. Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry. 2017;(07):20-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-7-20-25>
4. Shmidtberg AV. A case of development of the Permian-Carboniferous deposit of super-viscous oil of the Usinskoye field. In collection of articles from the International Scientific and Practical Conference. Ufa: «Aeterna» (Ufa). 2022;135-137. (In Russ.).
5. Kuvshinov IV, Altunina LK, Kuvshinov VA. Combined Well Treatment with Various Chemical Compositions and Thermal Methods. Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2019;(4):473-482. (In Russ.).
6. Altunina LK, Kuvshinov VA, Kuvshinov IV, Staseva LA, Chertentkov MV, Shkrabyuk LS, Andreev DV. Physical-chemical and complex EOR/IOR technologies for the Permian-Carboniferous deposit of heavy oil of the Usinskoye oil field. Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry. 2017;(7):26-29 (In Russ.). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-7-26-29>
7. Kalinin SA, Morozyuk OA, Kosterin KS. Experimental Study of Heavy Oil Displacement by Carbon Dioxide on Carbonated Cores. In Russian Oil and Gas Technical Conference SPE Oktyabr 2020. SPE-201821-MS. (In Russ.). <https://doi.org/10.2118/201821-MS>
8. Altunina LK, Kuvshinov VA, Kuvshinov IV, Staseva LA, Chertentkov MV, Andreev DV, Karmanov AYU. Increased oil recovery from the Permian-Carboniferous high-viscosity oil deposit of the Usinskoye field using physical-chemical and

- complex technologies (review). Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2018;(4):462-476. (In Russ.).
9. Petrov AA. Analysis of existing drives of a sucker-rod deep-well pump. Vestnik magistratury = Bulletin of magistracy. 2018;5-4(80):45-48 (In Russ.).
 10. Worth D, Al-Safran E, Choudhuri A, Al-Jasmi A. Assessment of artificial lift methods for a heavy oil field in Kuwait. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019;180:835-843. SPE-172883-MS. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.06.012>
 11. Kennedy DM, Ghareed MM. Performance Evaluations of the Different Sucker Rod Artificial Lift Systems. In SPE Symposium: Production Enhancement and Cost Optimisation held in Kuala Lumpur, Malaysia, 7-8 November 2017. SPE-189231-MS. <https://doi.org/10.2118/189231-MS>
 12. Tian H, Deng S, Wang C, Ni X, Wang H, Liu Y, Ma M, Wei Y, Li X. A novel method for prediction of paraffin deposit in sucker rod pumping system based on CNN indicator diagram feature deep learning. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2021;206:108986. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108986>
 13. Lv X-X, Wang H-X, Xin Z, Liu Y-X, Zhao P-C. Adaptive fault diagnosis of sucker rod pump systems based on optimal perceptron and simulation data. Petroleum Science. 2022;19:743-760. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.09.012>
 14. Wang X, He Y, Li F, Dou X, Wang Z, Xu H, Fu L. A Working Condition Diagnosis Model of Sucker Rod Pumping Wells Based on Big Data Deep Learning. Presented at the International Petroleum Technology Conference, Beijing, China, March 2019. IPTC-19242-MS. <https://doi.org/10.2523/IPTC-19242-MS>
 15. Peng Y. Artificial Intelligence Applied in Sucker Rod Pumping Wells: Intelligent Dynamometer Card Generation, Diagnosis, and Failure Detection Using Deep Neural Networks. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Calgary, Alberta, Canada, 30 Sep - 2 October 2019. SPE-196159-MS. <https://doi.org/10.2118/196159-MS>
 16. Quttainah R, Mehmood F, Mesbah H, Dange A, Sierra T. Sucker Rod Pump Design Modification to Avoid Pump Floating Phenomena in Heavy-Oil, Low API Wells to Enhance the Production Rate. In SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference held in Mishref, Kuwait, 11-14 October 2015. SPE-175369-MS. <https://doi.org/10.2118/175369-MS>

17. AbdulHadi F, Al-Ajeel F, Sierra T, Mohamed A, Heshmat K. Improving Sucker Rod Pump Performance and Overall Production After Applying Continuous Steam Injection in Heavy Oil Project-North Kuwait. In SPE International Heavy Oil Conference and Exhibition held in Kuwait City, Kuwait, 10-12 December 2018. SPE-193800-MS. <https://doi.org/10.2118/193800-MS>
18. Kennedy DM, Ghareeb M. Ultra-Long Stroke and Intelligent Rod Pumping System for Producing Difficult Wells and/or Fluids. In SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 17-19 October 2017. SPE-187028-MS. <https://doi.org/10.2118/187028-MS>
19. Spivey S, O'How D. Long-Stroke Rod Pumping Systems LSPS in High-Volume Unconventional Applications. In SPE Middle East Artificial Lift Conference and Exhibition held in Manama, Bahrain, 28-29 November 2018. SPE-192497-MS. <https://doi.org/10.2118/192497-MS>
20. Landaeta GS, Valencia LE. Extra-Heavy Oil Viscosity Estimation Using PVT and Geochemical Analyses: Applications at Huyapari Field, Orinoco Heavy Oil Belt, Venezuela. In SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Buenos Aires, Argentina, 18-19 May 2017. <https://doi.org/10.2118/185495-MS>

Информация об авторе

Денис Александрович Иванов — ведущий инженер отдела мониторинга добычи нефти и газа ЛУКОЙЛ-Инжиниринг, Researcher ID: LDG-6022-2024

Information about the author

Denis A. Ivanov — Lead Engineer, Oil and Gas Production Monitoring Department, LUKOIL-Engineering, ResearcherID: LDG-6022-2024



НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал
Северо-Кавказского федерального
университета

ISSN 2308–4758

Выпуск № 3, 2024 г.



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

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

Подписано в печать 25.09.2024 г. Выход в свет 02.10.2024 г.
Формат 70 × 108 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага
офсетная. Усл. печ. л. 15,75. 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.