

ISSN 0016-7762 (Print)
ISSN 2618-8708 (Online)

2025

Том 67, № 1
Vol. 67, #1

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ
И РАЗВЕДКА
Научно-методический журнал

Том 67, № 1
2025

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 4 раза в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 67, No. 1
2025

The journal has been published since 1958
Frequency: Quarterly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

Главный редактор

Керимов Вагиф Юнус оглы, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора

Кузнецов Николай Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия

Попов Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

Члены редакционной коллегии

Гаранин Виктор Константинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

Дроздов Дмитрий Степанович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

Дронов Андрей Викторович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Игнатьева Маргарита Николаевна, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Леонов Михаил Георгиевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Маслов Андрей Викторович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

Марин Юрий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Петров Владислав Александрович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Плечов Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

Самсонов Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Толстов Александр Васильевич, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

Фридовский Валерий Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

Серов Сергей Геннадьевич, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Иностранные члены редакционной коллегии

Амро Мухамед Муса, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

Баосун Ма, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай

Вердоа Массимо, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

Гулиев Ибрагим Саид оглы, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Етирмишли Гурбан Джалал оглы, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Фулун Нин, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай

GEOLOGY AND EXPLORATION

Хуанг Шаопенг, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США

Шестопалов Юрий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Евле, г. Евле, Швеция

Эппельбаум Лев Виленович, Dr. Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

Панов Юрий Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Члены редакционного совета

Гусев Павел Николаевич, главный редактор, газета «Московский комсомолец», г. Москва, Россия (по согласованию)

Игнатов Пётр Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Машковцев Григорий Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия (по согласованию)

Мустаев Рустам Наильевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Назарова Зинаида Михайловна, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Трубецкой Климент Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	4 раза в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	31.03.2025
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2024
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по пяти научным специальностям: 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки); 1.6.9. Геофизика (технические науки); 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки); 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (геолого-минералогические науки); 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (геолого-минералогические науки). РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory.

FOCUS AND SCOPE

Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

Editor-in-Chief

Vagif Y. Kerimov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Nikolay B. Kuznetsov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuri A. Popov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Editorial Board

Viktor K. Garanin, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Dmitry S. Drozdov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Andrey V. Dronov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Margarita N. Ignatyeva, Dr. Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Mikhail G. Leonov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Yuriy B. Marin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Petrov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Pavel Yu. Plechov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Samsonov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Konstantin Zh. Seminsky, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Sergey A. Tikhotskiy, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Tolstov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Sergey G. Serov, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Foreign members of the Editorial Board

Moh'd M. Amro, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

Ma Baosong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students, Sun YatSen University, Guangzhou, China

Massimo Verdoya, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

Ibrahim S. Guliev, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Gurban J. Yetirmishli, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Ning Fulong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

Shaopeng Huang, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA
Yury V. Shestopalov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden
Lev V. Eppelbaum, Dr. Sci. (Geophys.), Prof., Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

Yuri P. Panov, Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Members of the Editorial Council

Pavel N. Gusev, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomolets newspaper, Moscow, Russia

Petr A. Ignatov, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Grigoriy A. Mashkovtsev, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

Rustam N. Mustaev, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Zinaida M. Nazarova, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	quarterly
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	100 copies
Publication date	31.03.2025
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of Sciences in five scientific specialties should be published: 1.6.7. Engineering geology, permafrost and soil science (geological and mineralogical sciences); 1.6.9. Geophysics (technical sciences); 1.6.10. Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerogeny (geological and mineralogical sciences); 1.6.11. Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields (geological and mineralogical sciences); 2.8.3. Mining and oil and gas field geology, geophysics, surveying and subsurface geometry (geological and mineralogical sciences). Russian Science Citation Index (eLIBRARY.RU), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 8 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ ОТОРОЧЕК НА ПРИМЕРЕ ГОРЮЧКИНСКОГО И ЮЖНО-ГЕНЕРАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
Е.Н. ФЕДОСЕЕВА, Г.Н. ПОТЕМКИН
- 21 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАПАСОВ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В НЕФТЕГАЗОНОСНОМ БАССЕЙНЕ ИЛЛИЗИ
Д.В. АРЦЫБАСОВА, В.А. ШЕВЯКОВ
- 30 РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА
А.Г. МАЛОВ, Л.С. КУЛЕШОВА, Р.А. ГИЛЯЗЕТДИНОВ, Р.Ф. ЯКУПОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 41 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОСТРОВА ИТУРУП И ЕГО ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ
А.К. НАРАВАС, В.В. ДЬЯКОНОВ, Н.А. ПОГРЕБС
- 49 ПЕРВАЯ НАХОДКА ГИБЕСИТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БИРЮЗЫ БИРЮЗАКАН, СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН
Ш.Т. ВОСИХОВ, А.К. ЛИТВИНЕНКО, М.А. РАССОМАХИН
- 56 ДЖЕЛТУЛАКСКАЯ РОССЫПНАЯ СИСТЕМА ОКТЯБРЬСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА ПРИАМУРСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ
В.А. СТЕПАНОВ, А.В. МЕЛЬНИКОВ
- 67 ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭРОДИРОВАННОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЯМ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АКТОГАЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУНГУН
Т.П. МОРОЗОВА, В.В. ДЬЯКОНОВ

ГЕОИНФОРМАТИКА

- 76 ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ВЗАИМОДОПОЛНЕНИЯ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА
С.В. КОРНИЛКОВ, П.А. РЫБНИКОВ, Л.С. РЫБНИКОВА

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 86 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБЛАСТЕЙ СРЕДЫ, НАХОДЯЩИХСЯ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ГЕНЕРАТОРНОЙ ПЕТЛИ, НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ЗС₆ В МИКРОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ
П.В. НОВИКОВ
- 95 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МУТНОСТИ ВОД АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ
А.И. КОРОЛЬКОВА, А.А. ИВАНОВ

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 105 О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬТРОВ И ПРИФИЛЬТРОВЫХ ЗОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА
А.Г. ИВАНОВ, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ, Д.Д. ОРЕХОВ, Р.И. ГАВРИЛОВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 114 ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА (АЗЕРБАЙДЖАН)
З.Н. МЕХТИЕВА

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 126 ГЕОТОКСИКОЛОГИЯ КАК ВЕКТОР САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ РЕГИОНОВ
С.П. ЯКУЦЕНИ, Р.А. АСКАРОВ

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 8 ANALYSIS OF OIL RIM TRANSFORMATION: CASES OF GORYUCHKINSKOYE AND YUZHNO-GENERALSKOYE OIL FIELDS IN SARATOV OBLAST**
ELENA N. FEDOSEEVA, GRIGORIY N. POTEKIN
- 21 DISTRIBUTION PATTERS OF HYDROCARBON RESERVES IN THE ILLIZI OIL AND GAS BASIN**
DARIA V. ARCYBASOVA, VLADIMIR A. SCHEVYAKOV
- 30 METHODOLOGY FOR ACID TREATMENT DESIGN CONSIDERING STRUCTURAL FEATURES OF THE BOTTOMHOLE AREA**
ALEXANDER G. MALOV, LYUBOV S. KULESHOVA, RUSLAN A. GILYAZETDINOV, RUSTEM F. YAKUPOV

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 41 GEOLOGICAL STRUCTURE AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF ITURUP ISLAND**
ANTON K. NARAVAS, VICTOR V. DYAKONOV, NATALIA A. POGREBS
- 49 FIRST DISCOVERY OF GIBBSITE IN BIRYUZAKAN TURQUOISE DEPOSIT, NORTHERN TAJIKISTAN**
SHOHRUKH T. VOSHOV, ANDREY K. LITVINENKO, MIKHAIL A. RASSOMAKHIN
- 56 DZHELTULAK SYSTEM OF THE OKTYABRSKY ORE-PLACER NODE OF THE AMUR GOLD-BEARING PROVINCE**
VITALY A. STEPANOV, ANTON V. MELNIKOV
- 67 EROSION OF PORPHYRY COPPER DEPOSITS ESTIMATED BY QUANTITATIVE ELEMENTAL CONTENT ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF AKTOGAY AND SUNGUN ORE FIELDS**
TATIANA P. MOROZOVA, VICTOR V. DYAKONOV

GEOINFORMATICS

- 76 MAIN DIRECTIONS IN COMBINING DIGITIZATION AND GEOINFORMATION METHODS FOR SUPPORTING MINING PRODUCTION**
SERGEY V. KORNILKOV, PETR A. RYBNIKOV, LIUDMILA S. RYBNIKOVA

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 86 EFFECT OF DIELECTRIC CONTINUITY OF MEDIA IN IMMEDIATE PROXIMITY TO THE GENERATOR LOOP ON RESULTS OF NEAR-FIELD TRANSIENT ELECTROMAGNETIC SOUNDING IN THE MICROSECOND RANGE**
PETR V. NOVIKOV
- 95 REMOTE SENSING METHODS FOR WATER QUALITY ANALYSIS IN AVACHA BAY**
ALEXANDRA I. KOROLKOVA, ANDREY A. IVANOV

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 105 FEATURES OF MECHANICAL PULSE TREATMENT OF FILTERS AND NEAR-FILTER ZONES OF IN-SITU URANIUM LEACHING WELLS**
ALEXANDER G. IVANOV, YURI A. ARSENTIEV, DANILA D. OREKHOV, RUSLAN I. GAVRILOV

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 114 PETROCHEMICAL FEATURES OF UPPER JURASSIC DEPOSITS IN SOUTHEASTERN CAUCASUS (AZERBAIJAN)**
ZABITA N. MEHDIYEVA

GEOECOLOGY

- 126 GEOTOXICOLOGY AS A VECTOR OF SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL WELLBEING OF REGIONS**
SERGEY P. YAKUTSENI, RASUL A. ASKAROV



АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ ОТОРОЧЕК НА ПРИМЕРЕ ГОРЮЧКИНСКОГО И ЮЖНО- ГЕНЕРАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.Н. ФЕДОСЕЕВА¹, Г.Н. ПОТЕМКИН^{2,3,*}

¹ ФБУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых»
54, стр. 1, ул. Большая Полянка, г. Москва, 119180, Россия

² ООО «ИПНЭ»

13а, ул. Ярославская, г. Москва, 129366, Россия

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Газонефтяные и нефтегазоконденсатные залежи представляют собой сложные для изучения и освоения объекты, а запасы нефтяных оторочек, как правило, являются трудноизвлекаемыми. При опережающей выработке газовой шапки происходит техногенное переформирование нефтяных запасов, что существенно осложняет их извлечение и ставит неординарные задачи по геолого-промысловому мониторингу и обоснованию эффективных геолого-технологических мероприятий на таких объектах. Основное количество залежей с опережающей разработкой газовой шапки сосредоточено в пределах Западно-Сибирской, Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций, причем величина остаточных извлекаемых запасов в таких залежах превышает 1 млрд т.

Цель. Анализ процесса переформирования нефтяных оторочек на залежах бобриковского горизонта двух месторождений Саратовской области (Горючкинского и Южно-Генеральского) и определение основных факторов, влияющих на техногенное преобразование подгазовых запасов.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов использовались результаты геолого-промысловых исследований, данные по разработке, существующие геологические и фильтрационные модели. В качестве основного метода использован геолого-промысловый анализ с учетом результатов моделирования залежей.

Результаты. Рассматриваемые залежи бобриковских отложений Горючкинского и Южно-Генеральского месторождений вступили в интенсивную стадию переформирования нефтяных оторочек. Разработка этих залежей уже на начальном этапе характеризовалась активным образованием конусов воды, а позднее — перемещением нефти в ранее занимаемые газом части залежей. Залежи вступили в стадию интенсивного переформирования уже через 5—7 лет после начала разработки. Высокие фильтрационно-емкостные свойства и активность водонапорной системы способствовали достаточно эффективной выработке нефтяных запасов, причем даже без применения методов поддержания пластового давления не произошло значительной дегазации пластовой нефти.

Закключение. Понимание описанных процессов позволяет обосновать эффективные подходы по регулированию разработки, а также по извлечению нефти из переформированных залежей. Особенно это актуально для объектов, когда геологические условия не столь благоприятны, а процесс переформирования влечет необратимые негативные изменения.

Ключевые слова: нефтяная оторочка, техногенное переформирование залежи, геолого-промысловый анализ, газонефтяные залежи

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Федосеева Е.Н., Потемкин Г.Н. Анализ процесса переформирования нефтяных оторочек на примере Горючкинского и Южно-Генеральского месторождений Саратовской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-8-20> EDN: [BJMEEB](#)

Статья поступила в редакцию 10.02.2025

Принята к публикации 21.02.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

ANALYSIS OF OIL RIM TRANSFORMATION: CASES OF GORYUCHKINSKOYE AND YUZHNO-GENERALSKOYE OIL FIELDS IN SARATOV OBLAST

ELENA N. FEDOSEEVA¹, GRIGORIY N. POTEKIN^{2,3,*}

¹ State Commission on Mineral Reserves
54, p. 1, Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russia

² LLC "IPNE"
13A, Yaroslavskaya str., Moscow, 129366, Russia

³ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. Gas and oil, as well as gas condensate, deposits are challenging objects for research and development. Moreover, as a rule, oil rim reserves are difficult to extract. The advanced production of the gas cap leads to man-made transformations of oil reserves, which significantly complicates their extraction and poses extraordinary tasks for geological and field monitoring and justification of effective geological and technological measures at such facilities. A significant number of deposits, where such advanced development of the gas cap is practiced, are located within the West Siberian, Volga-Ural, and Timan-Pechora oil and gas provinces. The remaining recoverable reserves here exceed the amount of one billion tons.

Aim. Analysis of the transformation process of oil rim reserves in the Bobrikovsky horizon deposits of two fields — Goryuchkinskoye and Yuzhno-Generalskoye — in the Saratov Oblast (Russia), along with identification of the main factors affecting the transformation of sub-gas reserves.

Materials and methods. The results of geological and field research, development data, and existing geological and filtration models were used as source materials. Geological and commercial analysis was used as the main research method, taking into account the results of reservoir modeling.

Results. The considered deposits of the Bobrikovsky formation of the Goryuchkinskoye and Yuzhno-Generalskoye fields have entered an intensive stage of transformation of oil rims. Already at the initial stage, their development was characterized by an active formation of water cones and subsequent movement of oil into the sections previously occupied by gas. The deposits entered the stage of intensive transformation following 5–7 years of the commencement of development. The high reservoir properties and activity of the aquifer contributed to a fairly efficient production of oil reserves. Even without the use of reservoir pressure maintenance methods, significant degassing of oil did not occur.

Conclusion. An improved understanding the described processes makes it possible to substantiate effective approaches to regulating the development of deposits, as well as to extracting oil from transformed deposits. This is particularly relevant for objects operated under unfavorable geological conditions and when the transformation process entails irreversible negative changes.

Keywords: oil rim, deposit transformation, reservoir analysis, gas and oil deposits

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Fedoseeva E.N., Potemkin G.N. Analysis of oil rim transformation: Cases of Goryuchkinskoye and Yuzhno-Generalskoye oil fields in Saratov oblast. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-8-20> EDN: BJMEEB

Manuscript received 10 February 2025

Accepted 21 February 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Газонефтяные и нефтегазоконденсатные залежи являются сложными геологическими объектами с точки зрения их изучения и оценки промышленной значимости каждой фазы (нефтяной оторочки и газовой шапки), включая особенности подсчета начальных геологических запасов и обоснования извлекаемых запасов в рамках проектирования разработки эксплуатационных объектов. Особую важность приобретают вопросы выбора стратегии разработки таких объектов, а также необходимость более тщательного мониторинга разработки по сравнению с однофазными залежами углеводородов, поскольку процессы техногенного переформирования двухфазной залежи являются более сложными и труднорегулируемыми, а их понимание критически важно для повышения степени извлечения углеводородов.

В той или иной степени процессы переформирования отмечаются практически на каждой двухфазной залежи. В зависимости от интенсивности внедрения нефтяной оторочки в объемы, ранее занимаемые газовой шапкой, и синхронности процесса разработки авторы выделяют три стадии: начальная, умеренная и стадия интенсивного переформирования оторочки.

Прямыми признаками такого переформирования являются:

- появление нефти в продукции газовых скважин, первоначально работавших чистым газом (газоконденсатом);
- получение притока нефти при испытаниях газовых скважин, ранее остановленных по причине выработки запасов газа или по другим причинам (на зрелой стадии выработки газовой шапки);
- зафиксированное по промыслово-геофизическим исследованиям перемещение газонефтяного контакта (ГНК) и водонефтяного контакта (ВНК) вверх;
- изменение характеристик нефтенасыщенной части пласта по результатам замеров пластового давления и промыслово-геофизических исследо-

ваний в том числе снижение пластового давления и нефтенасыщенности, а также сокращение площади нефтеносности при отсутствии добычи нефти.

Также можно выделить и косвенные признаки:

- достаточно интенсивная и длительная выработка запасов газовой шапки;
- установленное по результатам бурения или повторных сейсмических исследований (сейсмомониторинг) перемещение нефтенасыщенных объемов;
- значительное изменение характеристик нефтяной оторочки, установленное по результатам фильтрационного моделирования.

В данной статье основное внимание уделено именно нефтяным оторочкам, подвергшимся существенным преобразованиям в результате опережающей выработки газовой шапки, то есть подвергшимся интенсивному переформированию.

Залежи на стадии интенсивного переформирования были выделены для нескольких месторождений Саратовской области (Горючкинское, Южно-Генеральское, Фурмановское и др.).

Рассматриваемые Горючкинское и Южно-Генеральское месторождения объединяет то, что газонефтяные залежи приурочены к бобриковскому горизонту и представлены антиклинальными складками с высокими фильтрационно-емкостными характеристиками. Залежи разрабатывались с 1950—1960-х годов, и через два-три десятилетия разработка была остановлена, запасы считались выработанными.

К настоящему времени технологии геологического изучения и разработки нефтегазовых залежей претерпели существенное развитие, что позволяет недропользователям возвращаться к таким объектам.

Актуальность рассматриваемого вопроса состоит еще и в том, что понимание процессов переформирования позволит оценить возможность выработки остаточных запасов нефти в техногенно измененных оторочках.

Особенности разработки залежей с нефтяными оторочками

Проблемы изучения и освоения залежей с нефтяными оторочками освещаются в научных публикациях с середины прошлого века, включая вопросы классификации как двухфазных залежей [1, 4, 7, 13], так и собственно нефтяных оторочек [5, 8, 9], особенности разведки и разработки оторочек [6, 10, 12], а также способы оценки их промышленной значимости и выбора оптимальной стратегии освоения [2, 3].

Сложность разработки таких запасов определяется их «контактной» структурой, которая создает условия для конусообразования в газовой шапке и водонасыщенной части, а при длительной разработке — для перемещения ВНК и ГНК в объеме залежи или крупных ее частей, что может приводить к защемлению нефти. Кроме того, как правило, такие залежи характеризуются близостью значений начального пластового давления и давления насыщения, а в ряде случаев — повышенной вязкостью нефти и низкой удельной плотностью запасов.

Для того чтобы преодолеть проблемы конусообразования, т.е. преждевременных прорывов газовой шапки и подошвенной воды, а также проблему разгазирования нефти, необходимо снижать депрессию на пласт, другими словами, применять более щадящие режимы работы скважин.

По этой причине, а также из-за большей удельной продуктивности и более уместной геометрии для условий ограниченной сверху и снизу оторочки, наиболее широко для этих целей применяются горизонтальные, в том числе многозабойные скважины, которые более эффективны и для условий повышенной вязкости нефти. При этом основным противовесом с точки зрения рентабельности является фактор удельной плотности запасов нефтяной оторочки.

Если рассматривать вопрос комплексно, не только с позиции конструкции скважин и технологий их эксплуатации, а с позиции системы разработки в целом, то рациональные стратегии обычно связывают с первоочередной выработкой нефтяной оторочки, а затем газовой шапки либо с одновременной разработкой нефтяной и газовой частей залежей. Оба подхода могут реализовываться как без дополнительного воздействия, так и с применением поддержания пластового давления, включая методики внутрипластового разделения нефтяной и газовой частей залежи, то есть барьерное заводнение.

На практике нередко применяется стратегия опережающего отбора газовой шапки (либо разра-

ботка только газовой шапки), что может быть обусловлено нерентабельностью оторочки, подчиненным значением залежи при преобладании запасов свободного газа на месторождении. Также в качестве экспериментальных предлагаются методы по управляемому переформированию маломощных нефтяных оторочек для повышения плотности запасов нефти путем создания направленного градиента пластовых вод с помощью нагнетательных скважин [15].

Наибольший негативный эффект при выработке нефтяных запасов проявляется, когда эксплуатируется только газовая шапка без какого-либо дополнительного воздействия либо темпы отбора оторочки значительно отстают, а применяемые методы воздействия (поддержание пластового давления или барьерные методы) неуместны или малоэффективны.

Если обратиться к данным государственного баланса РФ, из более чем 1200 залежей с нефтяными оторочками, выявленных на 327 месторождениях, признаки опережающей разработки газовых шапок имеют около 160 залежей на 63 месторождениях.

Для оценки отобраны залежи разрабатываемых месторождений с отбором от начальных извлекаемых запасов (НИЗ) газа более 25% и соотношением отборов от НИЗ газовой шапки и нефтяной оторочки более 1,25, а также залежи с полностью выработанными запасами газовой шапки при отборе от НИЗ нефти менее 90% (исключены залежи с полностью выработанными запасами нефти, залежи с запасами нефти менее 100 тыс. т или газа менее 100 млн м³ — доля настолько мелких залежей не превышает 5%).

Подавляющее количество таких залежей находится в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, суммарные остаточные извлекаемые запасы нефти (ОИЗ) превышают 960 млн т (рис. 1). К Волго-Уральской провинции относится 16 залежей с ОИЗ 117 млн т, причем около 90 млн т приурочено к Восточному участку Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.

Таким образом, на сегодняшний день вопрос изучения процесса переформирования нефтяных оторочек особенно важен для трех провинций: Западно-Сибирской, Волго-Уральской и Тимано-Печорской. Это не означает, что для других провинций проблема не актуальна, особенно для месторождений Восточной Сибири, содержащих значительные объемы подгазовых запасов [14].

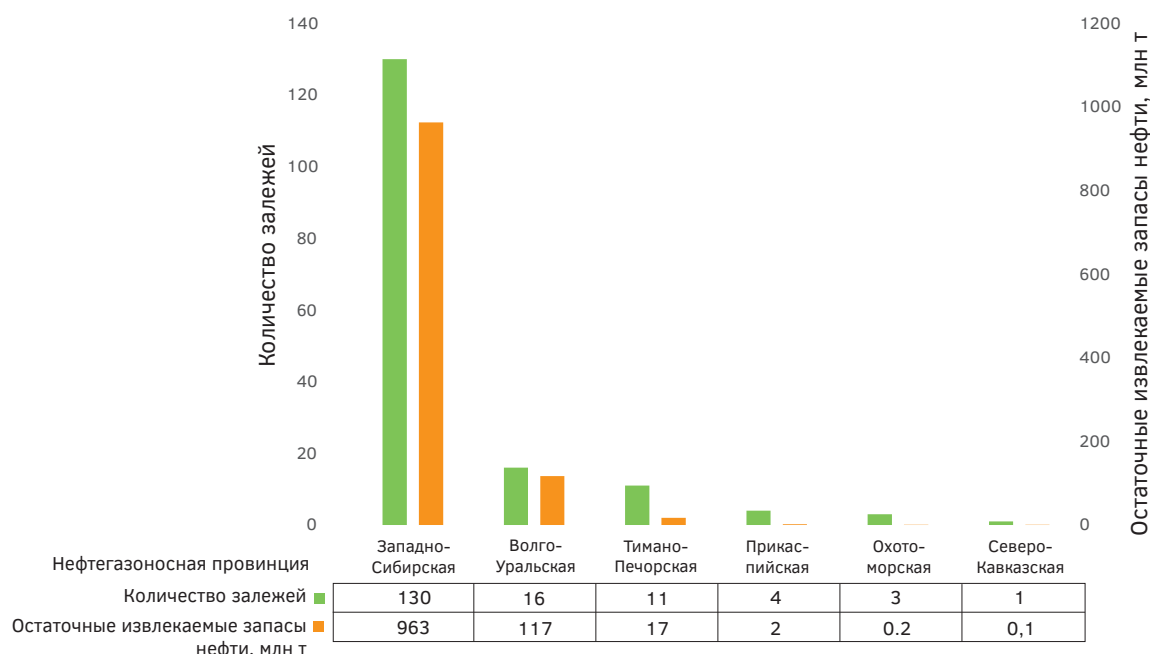


Рис. 1. Распределение остаточных извлекаемых запасов нефти и количества залежей с признаками опережающей разработки газовых шапок по нефтегазоносным провинциям России

Fig. 1. Distribution of residual recoverable oil reserves and the number of deposits with signs of advancing development of gas caps in the oil and gas provinces of Russia

Далее будет рассмотрена геолого-геофизическая характеристика и история разработки бобриковских отложений Горючкинского и Южно-Генеральского месторождений Саратовской области.

Горючкинское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Гагаринском районе Саратовской области.

Месторождение открыто в 1953 г. получением фонтана газа в скважине № 4 из бобриковских отложений (пласт C_{1bb}), где была открыта нефтегазоконденсатная залежь.

Пласт C_{1bb} представлен песчаниками мелко- и среднезернистыми, кварцево-слюдистыми неравномерно-глинистыми. Покрышкой для залежи углеводородов в пласте C_{1bb} являются плотные глинистые разности бобриковского горизонта и карбонатные и глинистые отложения нижней части тульского горизонта.

По результатам анализа кернового материала пористость песчаников изменяется от 12,0 до 29,0%. Среднее значение пористости составляет 20,5%. Численные значения коэффициента проницаемости образцов колеблются от 106 до 2660 мД при среднем значении 234 мД.

Залежь пласта C_{1bb} вскрыта 13-ю скважинами, глубина залегания кровли коллектора пласта

C_{1bb} составляет от 1853,0 м (абс. отм. -1616,9 м) до 1988,9 м (абс. отм. — 1624,8 м).

Уровень ГНК был принят по результатам интерпретации данных ГИС с учетом данных опробования на отметке -1628 м, уровень ВНК принят по результатам интерпретации данных ГИС с учетом данных опробования в скважинах № 12-р и 51-д на абс. отм. -1630,5 м.

Нефтяная оторочка относится к подстилающему типу (массивная полностью подстилаемая водой по классификации В.Е. Киченко [5], тип «А» по Н.М. Николаевскому и соавторам [8]), и, несмотря на относительно высокую неоднородность пласта, имеет хорошую гидродинамическую связь как с газовой шапкой, так и с подошвенной водой (рис. 2).

При опробовании в 1953 г. отложений бобриковского горизонта в скв. № 51-д в интервале глубин 1877—1880 м (абс. отм. -1628... -1631 м) был получен приток нефти дебитом 62 м³/сут. Максимальный первоначальный дебит нефти был получен при опробовании скв. № 12-р в 1955 г. — 64,4 м³/сут.

При опробовании в 1956 г. отложений бобриковского горизонта в скв. № 6-р в интервале глубин 1863,7—1867,7 м (абс. отм. -1621,7... -1625,7 м) был получен приток газа с большим

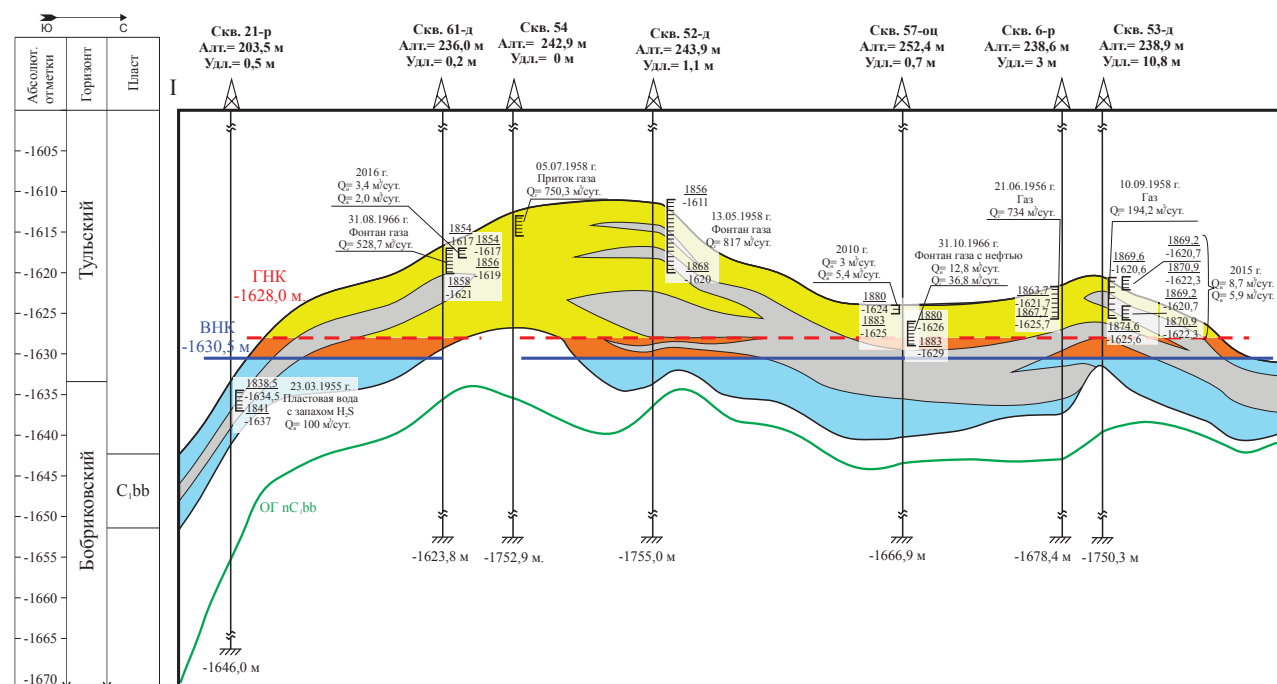


Рис. 2. Геологический профиль залежи бобриковского горизонта Горючкинского месторождения
Fig. 2. Geological section of the Bobrikov horizon deposit of the Goryuchkinskoye field

количеством распыленного конденсата (дебит газа — 734 тыс. м³/сут). Максимальный первоначальный дебит газа был получен при опробовании скв. № 4-р в 1963 г. — 867 тыс. м³/сут.

Запасы газа газовой шапки и конденсата бобриковского горизонта были списаны с госбаланса в 1973 году, запасы нефти — в 1991 году.

В 2010 г. была восстановлена и испытана скважина № 57-оц. Начальный дебит нефти по скважине изменялся в пределах 4,3—6,4 т/сут, обводненность достигала 61,8%.

В 2011 г. были подсчитаны и поставлены на государственный баланс ранее списанные запасы нефти и растворенного газа бобриковского горизонта. При площади нефтяной оторочки 8950 тыс. м² средневзвешенная по площади залежи нефтенасыщенная толщина составляет 1,6 м.

Разработка нефтяной части бобриковской нефтегазоконденсатной залежи была начата в июне 1956 г. вводом в эксплуатацию скважины № 12-р. В процессе эксплуатации скважины среднесуточный дебит нефти изменялся от 7,8 до 30,6 т/сут и наблюдался быстрый рост газового фактора с 300 до 1200 м³/т, что свидетельствует о прорыве газом газовой шапки в нефтяные скважины и начале процесса расформирования нефтяной оторочки. В связи с высоким газовым фактором

в октябре 1956 г. скважина была остановлена и переведена на вышележащий горизонт.

До 1958 г. залежь находилась в консервации. В апреле 1958 г. началась эксплуатация газовой шапки с попутным извлечением нефти. Скважина № 51-д проработала два года с дебитами нефти 10—15 т/сут. В процессе эксплуатации газовый фактор увеличился с 246,5 до 1400—2000 м³/т. Скважина работала с пластовой водой и в октябре 1960 г. полностью обводнилась, что характеризует этап интенсивного переформирования нефтяной оторочки.

Разработка газовой шапки велась четырьмя скважинами (№ 4-р, 52-д, 53-д, 54-д). Суточный отбор газа в период постоянной добычи составлял в среднем 1,2 млн м³. Проявление газового режима отмечалось только в начальный период эксплуатации. В дальнейшем было зафиксировано продвижение пластовой воды в залежь, что привело к обводнению скважин. Скважины № 54-д и 4-р сразу после появления пластовой воды прекратили фонтанировать, скважины № 52-д и 53-д продолжали работать с пластовой водой. Продвижение воды было неравномерным, о чем свидетельствует порядок обводнения скважин — первой обводнилась сводовая скважина № 54-д, затем к ноябрю 1961 г. поочередно обводнились все скважины.

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

В 1962 г. были пробурены три оценочные скважины на газовую шапку. Скважина № 62-д, расположенная на восточном крыле, вскрыла кровлю коллектора на отметке ниже ВНК (абсолютная отметка -1631,5 м), и при опробовании была получена пластовая вода. В скважине № 57-д, расположенной в северной части залежи, был получен приток газа с нефтью. В скважине № 61-д, расположенной в присводовой части южной структуры, был получен фонтан газа.

Скважина № 57-оц работала нефтью с водой до 1986 г., затем в 1987 г. была ликвидирована. Скважина № 61-д эксплуатировалась с газовой части залежи до 1968 г.

С 1986 г. залежь бобриковского горизонта Горючкинского месторождения находилась в консервации. Накопленная добыча из залежи за рассматриваемый период составила: 120 тыс. т нефти, 672 млн. м³ газа и 18,3 тыс. т конденсата.

В 2010 г. была восстановлена и испытана скважина №57-оц. Начальный дебит нефти по скважине изменялся в пределах 4,3—6,4 т/сут, обводненность достигала 61,8%. Испытание скважины свидетельствует о миграции нефтяной части

залежи вверх по структуре антиклинальной складки вследствие интенсивного переформирования нефтяной оторочки.

В 2011 г. был выполнен оперативный подсчет запасов и составлен проект пробной эксплуатации залежи. В соответствии с утвержденным вариантом проектного документа разработку залежи предусматривалось осуществлять на естественном режиме вытеснения скважинами: № 57-оц, находящейся в эксплуатации, и скважиной № 51-д, подлежащей восстановлению из ликвидированного фонда. В 2014 г. скважина № 51-д была выведена из ликвидации и опробована в продуктивной части бобриковской залежи, из скважины № 51-д была получена пластовая вода.

В 2021 году в эксплуатации находилось пять скважин 6, 54, 57, 53, 61, выведенных из ликвидации, со средним дебитом 13,5 т/сут по нефти и 36 т/сут по жидкости. Было извлечено 13,1 тыс. т нефти и 65,7 тыс. т жидкости.

Динамика показателей разработки показана на рисунках 3 и 4, карты накопленных отборов — на рисунках 5 и 6.

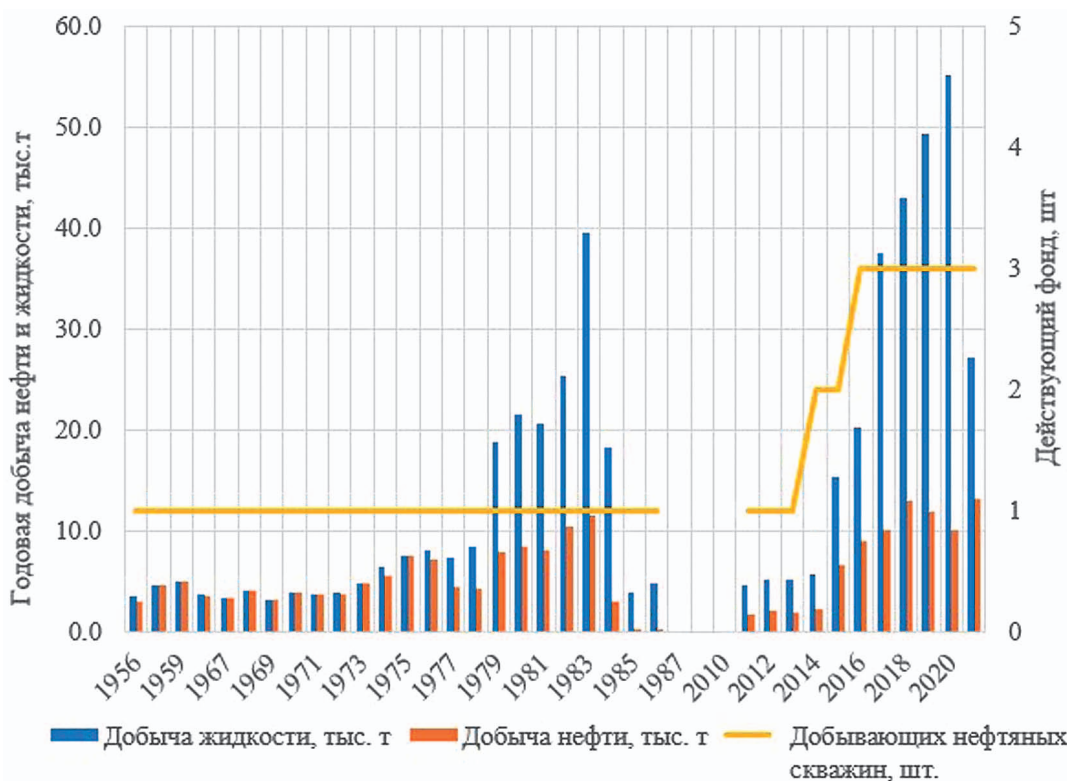


Рис. 3. Динамика основных технологических показателей разработки нефти пласта C1bb Горючкинского месторождения

Fig. 3. The dynamics of the main technological parameters of the oil development of the C1bb reservoir of the Goryuchkinskoye field



Рис. 4. Динамика основных технологических показателей разработки газа пласта C1bb Горючкинского месторождения

Fig. 4. The dynamics of the main technological parameters of the gas development of the C1bb reservoir of the Goryuchkinskoye field

Интенсивный отбор газа до полной выработки газовой шапки на начальной стадии разработки залежи инициировал процесс перемещения нефтяных объемов в купольную часть складки. При этом особенности строения залежи (оторочка подстилающего типа) вкупе с активным природным энергетическим режимом позволили достаточно долго сохранять удовлетворительные темпы отбора нефти. Возобновление разработки нефти после периода консервации (1987—2011 гг.) указывает на существенную степень трансформации исходной нефтяной оторочки с существенным сокращением площади газоносности. Этот факт также подтверждается в работе [11], в которой освещены особенности моделирования и подсчета запасов переформированной залежи на Горючкинском месторождении.

Южно-Генеральское нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Энгельсском районе Саратовской области.

Месторождение открыто в 1963 г. получением фонтана газа в скважине № 3 из бобриковских отложений (пласт C₁bb), была открыта газовая залежь с нефтяной оторочкой (восточный купол). В 1972 г. на западном куполе в отложениях бобриковского горизонта была открыта газонефтяная залежь.

Пласт C₁bb представлен кварцевыми песчаниками с прослоями аргиллитов. Покрышкой для залежи углеводородов в пласте C₁bb являются плотные глинистые разности бобриковского горизонта.

По данным интерпретации методов ГИС средневзвешенное значение коэффициента пористости нефтенасыщенных пропластов-коллекторов составляет 0,21 д. ед., а величина коэффициента нефтенасыщенности равна 0,77 д. ед. Коэффициент песчаности — 0,83 д. ед.; коэффициент расчлененности — 3,8 д. ед.

В 1963 г. при опробовании скважины № 3 была выявлена газовая шапка бобриковской залежи и получен дебит газа 96,9 тыс. м³/сут на 7-мм штуцере. При опробовании из скважины наблюдался вынос большого количества конденсата.

При опробовании бобриковских отложений в скважине № 5 в интервале перфорации 1371—1377 м (абс. отм. -1328,2...-1334,2 м) был получен приток газа дебитом 78,4 тыс. м³/сут с содержанием большого количества конденсатно-нефтяной смеси.

Уровень ГНК был принят на абс. отметке -1334 м, ВНК — -1337 м по результатам интерпретации данных ГИС с учетом данных опробования скважин.

Нефтяная оторочка залежи западного купола относится к подстилающему типу (массивная полностью подстилаемая водой по классификации В.Е. Киченко [5], тип «А» по Н.М. Николаевскому и соавторам [8]), на восточном куполе установлена кольцевая оторочка [5], тип «А» [8] (рис. 7). Пласт на Южно-Генеральском месторождении достаточно однороден, оторочки имеют хорошую гидродинамическую связь как с газовой шапкой, так и с подошвенной водой.

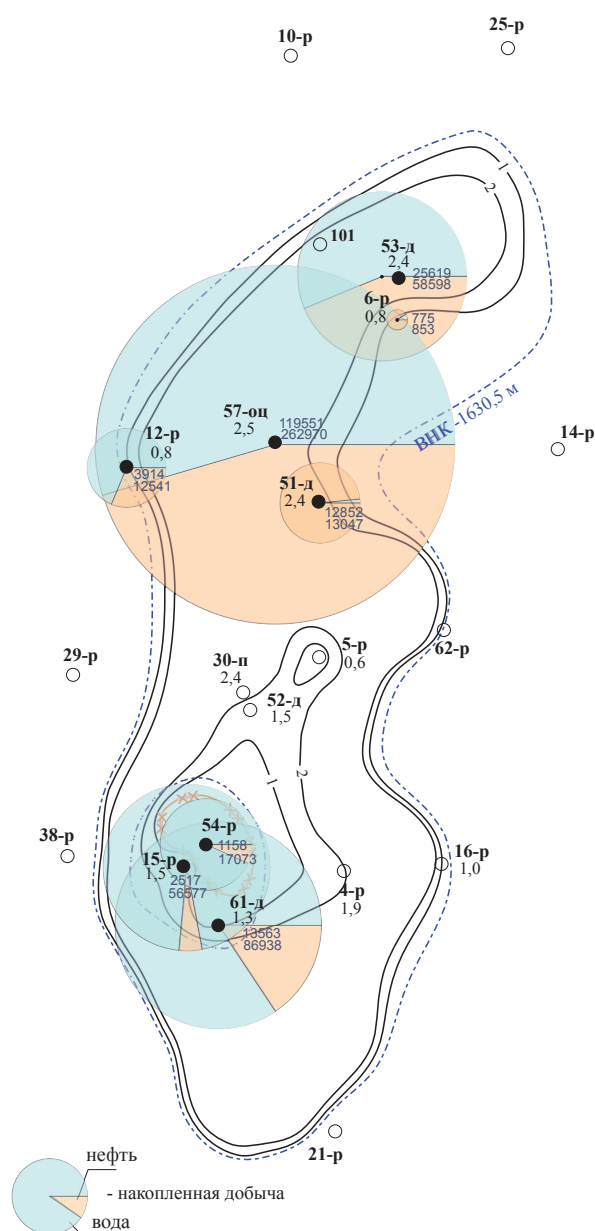


Рис. 5. Карта накопленных отборов нефти пласта C1bb Горючкинского месторождения
Fig. 5. Cumulative oil production map of C1bb reservoir of the Goryuchkinskoye field

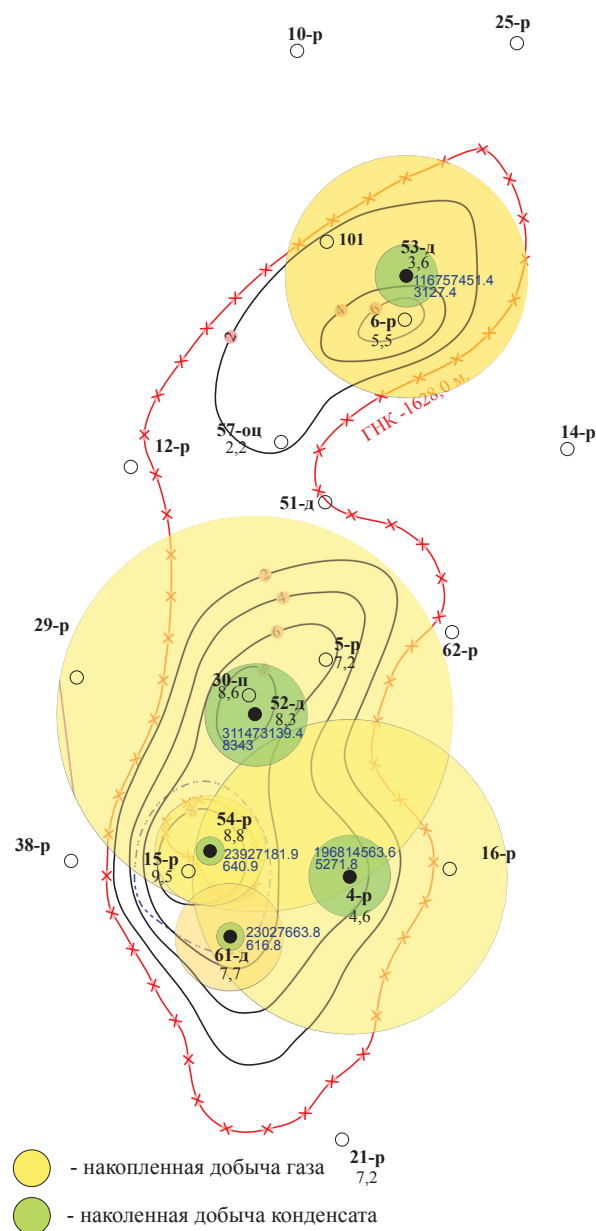


Рис. 6. Карта накопленных отборов газа пласта C1bb Горючкинского месторождения
Fig. 6. Cumulative gas production map of C1bb reservoir of the Goryuchkinskoye field

В период 1969—1970 г. при опробовании скважин № 14 и 15 были получены промышленные притоки свободного газа из терригенных отложений бобриковского горизонта.

В 1965 г. опробованием скважины № 11 была установлена нефтяная оторочка залежи восточного купола бобриковского горизонта. В интервале перфорации 1371—1373 (абс. отм. -1334,4...-1336,4)

из отложений бобриковского горизонта был получен приток нефти дебитом 21,7 м³/сут.

Разработка нефтяной оторочки залежи восточного купола бобриковского горизонта проводилась с марта 1971 г. скважиной 11. Начальный среднесуточный дебит скважины по нефти составлял 24,2 т/сут. В октябре 1971 г. скважину 11 остановили по причине высокой обводненности

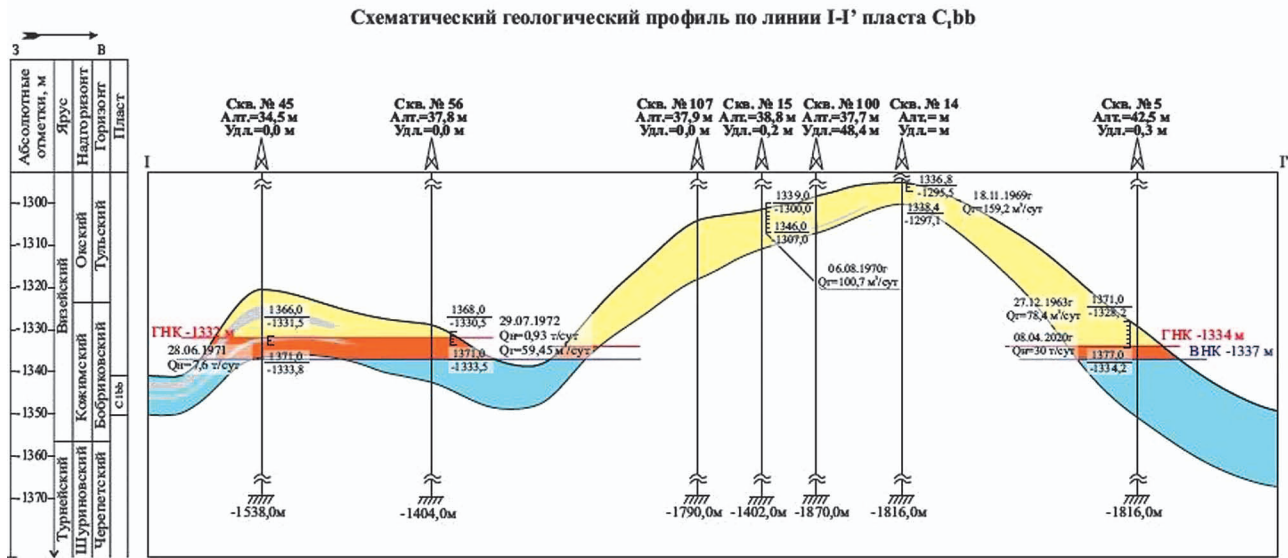


Рис. 7. Геологический профиль по залежи бобриковского горизонта Южно-Генеральского месторождения
Fig. 7. Geological section of the Bobrikov horizon deposit of the Yuzhno-Generalskoye field

добываемой продукции и вывели в консервацию. За время эксплуатации скважиной отобрано 3,2 тыс. т нефти, 3,5 тыс. т жидкости.

Разработка залежи осуществлялась при проявлении газового режима. Величина начального пластового давления, замеренного в скважине 3 в 1963 г. до ввода залежи в разработку, составляла 14,9 МПа. В период с 1969 по 1973 г. наблюдалось снижение пластового давления с 13,5 до 12,6 МПа. В период 1975—1977 г. скважины эксплуатировались периодически, в связи с чем наблюдалось восстановление пластового давления до 13,2—13,3 МПа. В период 1978—1980 гг. величина пластового давления стабилизировалась и в среднем по залежи составила 13,6 МПа.

Последние замеры пластового давления, выполненные в скважине № 3 в 1985 г., показали его частичное восстановление до величины 14,1 МПа (рис. 8).

В 1987 г. залежь восточного купола бобриковского горизонта была закончена разработкой. Запасы газа, конденсата и нефти были полностью списаны с государственного баланса в 1989 году.

В апреле 2020 г. была восстановлена и испытана скважина № 5 Южно-Генеральская. В процессе освоения из интервала реперфорации 1371—1377 м (абс. отм. -1328,2...-1334,2 м) отложений бобриковского горизонта был получен приток нефти дебитом 30 м³/сут, однако ранее, в 1963 году, в этом же интервале был получен

приток газа с большим количеством нефти и конденсата, дебитом 78,4 тыс. м³/сут. Результаты опробования, проведенного в апреле 2020 года, подтверждают наличие лишь нефтяной залежи в пласте C₁bb бобриковского горизонта (восточный купол), что свидетельствует о стадии интенсивного переформирования нефтяной оторочки.

Замеры пластового давления, выполненные в период 1983—1985 гг. в скважине № 45, показывают на его восстановление до значения, в среднем составляющего 14,3 МПа.

Из-за отсутствия замеров по скважинам проследить динамику пластового давления за период разработки залежи с 1986 по 1997 г. не представляется возможным. Далее, с 1998 по 2010 г., месторождение было законсервировано, а в 2011 г. пластовое давление, замеренное в скважине № 56, составило 14,2 МПа. По сравнению с первоначальным значением пластовое давление ниже всего на 0,4 МПа, или 2,7%.

Анализ динамики пластового давления и технологических показателей разработки залежи бобриковского горизонта показывает на проявление водонапорного режима работы залежи при высокой активности законтурных вод, внедрение которых предотвратило резкое падение пластового давления в зоне отбора и наряду с высокими значениями фильтрационно-емкостных свойств коллекторов привело к интенсивному переформированию нефтяной оторочки и миграции нефтяной части залежи в купол антиклинальной структуры.

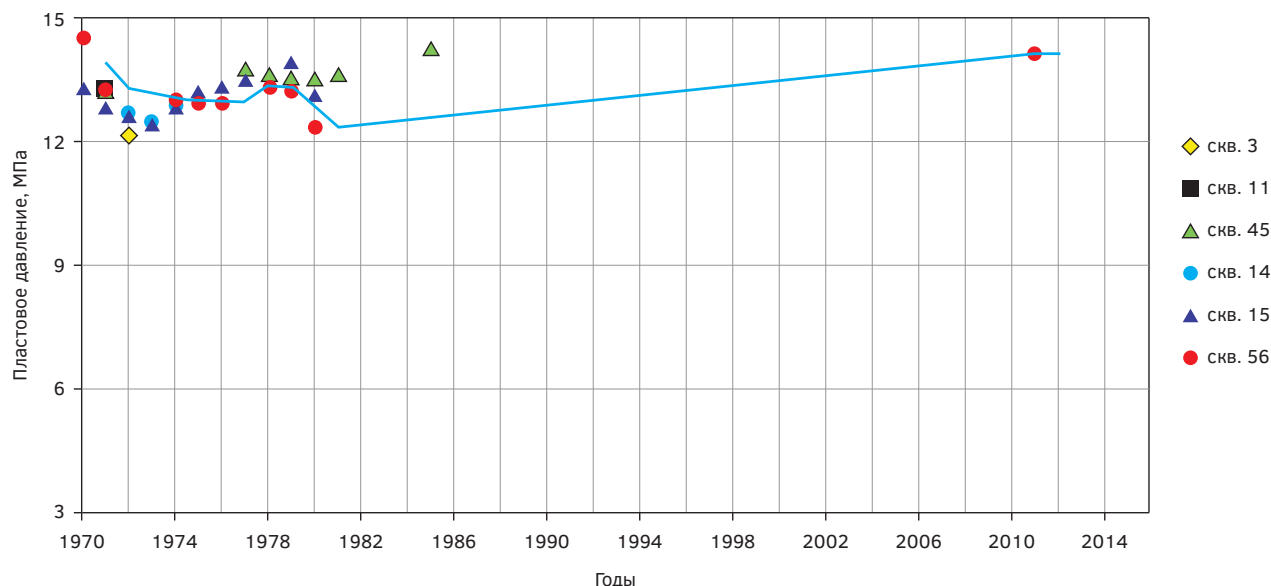


Рис. 8. Динамика пластового давления по скважинам залежи бобриковского горизонта Южно-Генеральского месторождения

Fig. 8. The reservoir pressure dynamics in the wells of the Bobrikov horizon of the Yuzhno-Generalskoye field

Выводы

В пределах Западно-Сибирской, Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций значительное количество двухфазных залежей подверглись опережающей разработке газовой шапки, что с высокой вероятностью указывает на ту или иную степень переформирования нефтяных оторочек. Величина остаточных извлекаемых запасов в таких залежах превышает 1 млрд т.

В рассматриваемых залежах бобриковских отложений Горюшкинского и Южно-Генеральского месторождений Саратовской области за счет опережающей выработки газовых шапок произошло существенное переформирование нефтяных оторочек, стадию которого можно оценить как интенсивную.

Разработка этих залежей уже на начальном этапе характеризовалась активным образованием конусов воды, а позднее — перемещением нефти в ранее занимаемые газом части залежей.

По нашей оценке, залежи вступили в стадию интенсивного переформирования уже через 5—7 лет после начала разработки.

Особенности строения конкретных залежей, а именно высокие коллекторские свойства и хорошая энергетика водонапорной системы, позволили достаточно эффективно вести разработку нефтяных запасов, в том числе после периода консервации. Кроме того, активность водонапорной системы предотвратила экстремальную дегазацию пластовой нефти даже без применения поддержания пластового давления.

В большинстве случаев, когда геологические условия не столь благоприятны, процесс переформирования влечет необратимые изменения, негативно влияющие на величину конечного нефтеизвлечения. Понимание этих процессов позволяет обосновать эффективные подходы по регулированию разработки, а также по извлечению нефти из переформированных залежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аяганова А.И. Классификация двухфазных углеводородных залежей в связи с их промышленной разведкой на примере месторождений Мангышлака. Вестник Казахстанско-Британского технического университета. 2023. № 20(4). С. 118—126.
2. Баженов Д.Ю., Архипов В.Н., Полковников Ф.И., Логинова Д.С. Оптимизация технологии разработки нефтяных оторочек. Недропользование XXI век. 2016. № 4(61). С. 60—67.
3. Буракова С.В., Изюмченко Д.В., Минаков И.И., Истомин В.А., Кумейко Е.Л. Проблемы освоения тонких нефтяных оторочек газоконденсатных залежей Восточной Сибири. Вести газовой науки. 2013. № 16. С. 124—133.

4. Дурмишьян А.Г. Газоконденсатные месторождения. М.: Недра, 1979. 335 с.
5. Киченко В.Е. Нефтеносность нижне-среднеюрских отложений севера Западной Сибири: дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2004. С. 134—140.
6. Козлов Н.Ф. Разработка технологии эксплуатации скважин, дренирующих нефтяные оторочки (на примере Оренбургского и Олейниковского месторождений): дисс. ... канд. техн. наук. М., 1984. 207 с.
7. Мустафинов А.Н. Классификация залежей углеводородов по фазовому состоянию и соотношению объемов газообразной и жидкой фаз в пласте. Геология нефти и газа. 1962. № 12. С. 47—50.
8. Николаевский Н.М., Розенберг М.Д., Шейн П.Н. Принципы промышленной оценки и разработки нефтяной оторочки газовых месторождений. М.: ГОСИНТИ, 1960. 139 с.
9. Плотников А.А., Подгорнов А.В., Виноградов В.Л., Шурова М.Я. Геологическое моделирование газоконденсатных залежей нижнего мела Уренгойского месторождения. Газовая промышленность. Обзор. инф. Сер. Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. Вып. 10. М.: ИРЦ Газпром, 1989. 31 с.
10. Плотников А.А., Царев В.В., Шурова М.Я. Методы ускоренной промышленной разведки и освоения газовых залежей с нефтяной оторочкой. Газовая промышленность. Обзор. инф. Сер. Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. Вып. 1 М.: ИРЦ Газпром, 1990. 28 с.
11. Пороскун В.И., Френкель С.М., Шик Н.С. и др. Особенности оценки запасов переформировавшихся нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных залежей (на примере Горючкинского месторождения). Недропользование XXI век. 2012. № 5(36). С. 40—43.
12. Савченко В.П., Зыкин М.Я. О методике разведки газовых залежей с нефтяной оторочкой. Геология нефти и газа. 1966. № 12. С. 7—10.
13. Самарцев В.Н. К вопросу классификации залежей, содержащих нефть и свободный газ. Труды ВНИИ, вып. 33. М.: Недра, 1968. С. 10—14.
14. Федосеева Е.Н., Потемкин Г.Н., Дронова К.П. Анализ распределения запасов и параметров нефтяных оторочек на месторождениях России. Молодые — наукам о Земле: в 5 т. Материалы XI Международной научной конференции. М.: Изд-во МГРИ, 2024. Т. 3. С. 51—54.
15. Яковлев Ю.И. Гидрогеологические механизмы искусственного переформирования газовых залежей. Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2011. № 2(4). С. 7.

REFERENCES

1. Ayaganova A.I. Classification of two-phase hydrocarbon deposits in connection with their industrial exploration using the example of Mangyshlak deposits. Kazakh-British Technical University Bulletin. 2023. No. 20(4). P. 118—126 (In Russ.).
2. Bazhenov D.Yu., Arkhipov V.N., Polkovnikov F.I., Loginova D.S. Optimization of oil rim development technology. Subsoil use of the XXI century. 2016. № 4(61). P. 60—67 (In Russ.).
3. Burakova S.V., Izyumchenko D.V., Minakov I.I., Istomin V.A., Kumeyko E.L. Problems of developing thin oil rims of gas condensate deposits in Eastern Siberia. News of gas science. 2013. No. 16. P. 124—133 (In Russ.).
4. Durmishyan A.G. Gas condensate fields. Moscow: Nedra, 1979. 335 p. (In Russ.).
5. Kichenko V.E. Oil content of the Lower-Middle Jurassic deposits of the north of Western Siberia: Diss. ... Candidate of Geol.-Mineral. Sciences. Moscow: LLC "VNIIGAZ", 2004. P. 134—140 (In Russ.).
6. Kozlov N.F. Development of technology for the operation of wells draining oil rims (on the example of the Orenburg and Oleinikovskoye fields): Diss. ... Candidate of Technical Sciences. Moscow, 1984. 207 p. (In Russ.).
7. Mustafinov A.N. Classification of hydrocarbon deposits by phase state and the ratio of volumes of gaseous and liquid phases in the reservoir. Geology of Oil and Gas. 1962. No. 12. P. 47—50 (In Russ.).
8. Nikolaevsky N.M., Rosenberg M.D., Shane P.N. Principles of industrial assessment and development of the oil fringe of gas fields. Moscow: GOSINTI, 1960. 139 p. (In Russ.).
9. Plotnikov A.A., Podgornov A.V., Vinogradov V.L., Shurova M.Ya. Geological modeling of gas condensate deposits of the Lower Cretaceous of the Urengoy deposit. Gas Industry. Overview. inf. Ser. Geology and exploration of gas and gas condensate fields. Issue 10. Moscow: IRC Gazprom, 1989. 31 p. (In Russ.).
10. Plotnikov A.A., Tsarev V.V., Shurova M.Ya. Methods of accelerated industrial exploration and development of gas deposits with an oil rim. Gas Industry. Overview. inf. Ser. Geology and exploration of gas and gas condensate fields. Issue 1. Moscow: IRC Gazprom, 1990. 28 p. (In Russ.).
11. Poroskun V.I., Frenkel S.M., Shik N.S., et al. Features of estimating reserves of reformed oil rims of oil and gas condensate deposits (on the example of the Goryuchkinskoye field). Subsoil use of the XXI century. 2012. № 5(36). P. 40—43 (In Russ.).
12. Savchenko V.P., Zykin M.Ya. On the methodology of exploration of gas deposits with an oil rim. Geology of oil and gas. 1966. № 12. P. 7—10 (In Russ.).
13. Samartsev V.N. On the classification of deposits containing oil and free gas. VNII Bulletin. Issue 33. Moscow: Nedra, 1968. P. 10—14 (In Russ.).
14. Fedoseeva E.N., Potemkin G.N., Dronova K.P. Analysis of the distribution of reserves and parameters of oil

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND PROSPECTING OF HYDROCARBON RESERVES

rims in Russian fields. Young — to Earth Sciences: in 5 vol. Materials of the XI International Scientific Conference. Moscow: MGRI Publishing House, 2024. Vol. 3. P. 51—54 (In Russ.).

15. Yakovlev Yu.I. Hydrogeological mechanisms of artificial reshaping of gas deposits. Geo-resources, geo-energy, and geopolitics. 2011. No. 2(4). P. 7 (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Федосеева Е.Н. — собрала исходные данные и провела геолого-промысловый анализ для подготовки статьи, разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Потемкин Г.Н. — разработал концепцию статьи, определил научно-методологические подходы к подготовке статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Elena N. Fedoseeva — collected data and conducted reservoir analysis for the preparation of the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Grigory N. Potemkin — developed the concept of the article, defined scientific and methodological approaches to the preparation of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Федосеева Елена Николаевна — начальник управления извлекаемых запасов ФБУ «ГКЗ». 54, стр. 1, ул. Большая Полянка, г. Москва, 119180, Россия
e-mail: fedoseeva@gkz-rf.ru
тел.: +7 (495) 780-30-54
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1444-6745>

Elena N. Fedoseeva — Head of the Department for Recoverable Reserves of State Commission on Mineral Reserves. 54, p. 1, Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russia
e-mail: fedoseeva@gkz-rf.ru
tel.: +7 (495) 780-30-54
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1444-6745>

Потемкин Григорий Николаевич* — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора по геологии ООО «ИПНЭ»; доцент МГРИ. 13а, ул. Ярославская, г. Москва, 129366, Россия
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, 117997, Россия
e-mail: potemkingn@mgri.ru
тел.: +7 (495) 139-68-19
SPIN-код: 4229-0832
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

Grigory N. Potemkin* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Deputy General Director for Geology of IPNE LLC, Associate Professor of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 13A, Yaroslavskaya str., Moscow, 129366, Russia
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: potemkingn@mgri.ru
tel.: +7 (495) 139-68-19
SPIN code: 4229-0832
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

ОРИГИНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 553.98

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-21-29>EDN: [EDRNX](#)ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАПАСОВ ЗАЛЕЖЕЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ В НЕФТЕГАЗОНОСНОМ БАССЕЙНЕ ИЛЛИЗИ

Д.В. АРЦЫБАСОВА*, В.А. ШЕВЯКОВ

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
65, корп. 1, пр. Ленинский, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Нефтегазоносный бассейн (НГБ) Иллизи является одним из основных нефтегазоносных регионов Алжира. Здесь уже открыты крупные месторождения нефти и газа, однако его потенциальные ресурсы еще не исчерпаны. По оценкам АО «Зарубежгеология» прогнозные ресурсы нефти в целом по Алжиру, включая бассейн Иллизи, составляют 837,8 млн т, газа — 1470,3 млрд³. Для научно обоснованного выбора дальнейших направлений геологоразведочных работ на нефть и газ необходимо знать закономерности их размещения в литосфере.

Цель. Выявление закономерностей размещения и условий формирования месторождений нефти и газа в НГБ Иллизи на основе статистического анализа распределения извлекаемых запасов углеводородов (УВ) по месторождениям, региональным нефтегазоносным комплексам и глубинам.

Материалы и методы. Статистическое распределение запасов залежей УВ было проведено на основе информации электронной базы данных Information Handling Services (IHS, 2017) по нефтяной и газовой промышленности мира. Дополнительные данные о геологическом строении и нефтегазоносности НГБ Иллизи брались из литературных источников.

Результаты. На территории бассейна Иллизи установлена значительная неравномерность распределения извлекаемых запасов УВ (уникальное месторождение Тин Фуйе-Табанкорт и 7 крупных месторождений содержат 75% всех извлекаемых запасов УВ НГБ). Основным источником УВ месторождений НГБ Иллизи являются нефтегазоматеринские породы силурийских формаций Танеззут (порядка 60% всех извлекаемых запасов УВ концентрируется в непосредственной близости от этих отложений — над и под ними). Наибольшая концентрация запасов УВ наблюдается в интервале глубин 1—2 км (72% от общего количества извлекаемых запасов УВ в НГБ Иллизи). Такое соотношение глубины основного нефтегазоаккумуляции и существующих представлений о глубинах основных зон нефтегазообразования (ГЗН и ГЗГ) свидетельствует о значительных эрозионных процессах в постпалеозойское время.

Заключение. В работе изучены закономерности размещения извлекаемых запасов УВ и на этой основе сделаны выводы об условиях формирования месторождений нефти и газа НГБ Иллизи.

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн Иллизи, глубинная зональность, литолого-стратиграфическая зональность, нефтяные системы, углеводороды, извлекаемые запасы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Арцыбасова Д.В., Шевяков В.А. Закономерности размещения запасов залежей углеводородов в нефтегазоносном бассейне Иллизи. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):21—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-21-29> EDN: [EDRNX](#)

Статья поступила в редакцию 05.12.2024

Принята к публикации 26.02.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

DISTRIBUTION PATTERS OF HYDROCARBON RESERVES IN THE ILLIZI OIL AND GAS BASIN

DARIA V. ARCYBASOVA*, VLADIMIR A. SCHEVYAKOV

*National University of Oil and Gas "Gubkin University"
65, bld. 1, Leninsky Ave., Moscow 119991, Russia*

ABSTRACT

Background. The Illizi oil and gas basin is a key oil and gas region of Algeria. Although large oil and gas fields have been discovered in this region, its potential resources remain to be exhausted. According to the estimates of Zarubezhgeologiya JSC, the forecast oil and gas resources in Algeria as a whole, including the Illizi basin, amount to 837.8 million and 1,470.3 billion tons, respectively³. In order to determine directions for further geological exploration of oil and gas resources, their distribution patterns in the lithosphere should be elucidated.

Aim. To determine distribution patterns and formation conditions of oil and gas deposits in Illizi basin by carrying out a statistical analysis of distribution of recoverable hydrocarbon reserves (HC) by deposits, regional oil and gas complexes, and occurrence depths.

Materials and methods. The statistical distribution of hydrocarbon reserves was conducted using the data of the Information Handling Services (IHS, 2017) electronic database for the global oil and gas industry. Additional data on the geological structure and hydrocarbon potential of the Illizi basin were taken from literature sources.

Results. The Illizi basin demonstrates a significant unevenness in the distribution of recoverable HC reserves. Here, the unique Tin Fuye-Tabancourt deposit and seven large deposits contain 75% of all recoverable HC reserves. The main source of HC deposits are the oil and gas mother rocks of the Silurian Tanezzuft formations, with about 60% of all recoverable HC reserves being concentrated in their immediate vicinity. The greatest concentration of HC reserves is observed in the depth range of 1–2 km (72% of the total recoverable HC reserves in the Illizi basin). The data on the accumulation depth of the main oil and gas areas and the current knowledge of the depth of oil and gas generation indicates significant erosion processes in the post-Paleozoic.

Conclusion. The revealed distribution patterns of recoverable HC reserves in the Illizi basin allowed the authors to draw conclusions about the formation conditions of oil and gas fields.

Keywords: Illizi oil and gas bearing basin, depth zonation, lithologic-stratigraphic zonation, oil systems, hydrocarbons, recoverable reserves

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Arcybasova D.V., Schevyakov V.A. Distribution patters of hydrocarbon reserves in the Illizi oil and gas basin. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):21—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-21-29> EDN: [EDRNX](https://www.edrnxp.ru)

Manuscript received 05 December 2024

Accepted 26 February 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Введение

Нефтегазоносный бассейн (НГБ) Иллизи расположен на территории Африканского континента в восточной части Алжирской Сахары. Административно приурочен к юго-востоку Алжира и крайнему западу Ливии.

В тектоническом отношении НГБ представляет собой одноименную структурную террасу, которая

с юга ограничена массивом Хоггар (Hoggar Massif), с запада — выступом Амгид (Amguid ridge), который разделяет бассейн от НГБ Муйдир (Mouydir basin), а с востока границей НГБ Иллизи является гряда Тихембока (Tihemboka Arch). На севере бассейн граничит с НГБ Беркине (Berkine basin) (рис. 1) [3]. Территория бассейна Иллизи, в свою очередь, разделяется на ряд более мелких

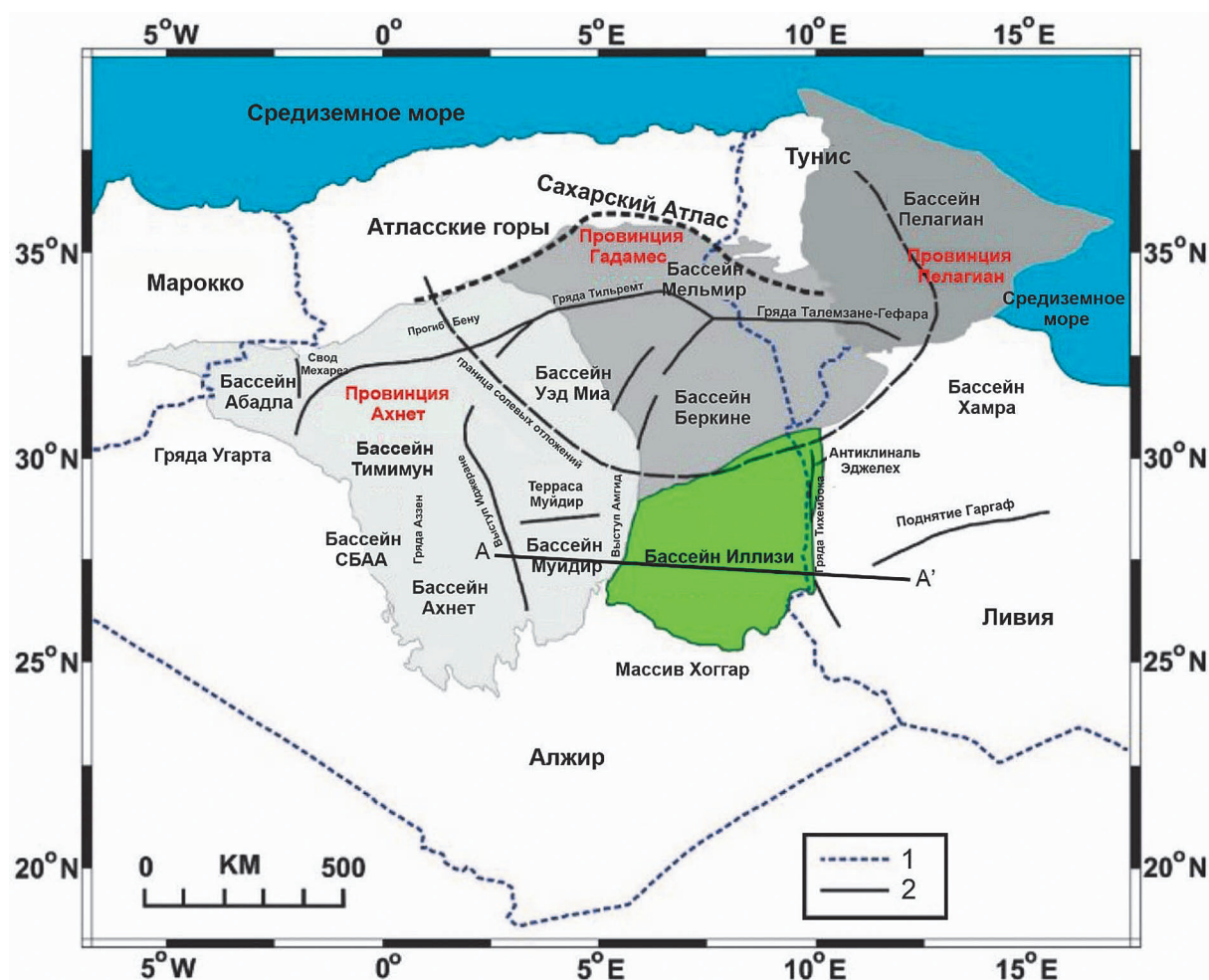


Рис. 1. Расположение бассейна Иллизи [11]: 1 — государственные границы; 2 — оси основных структур

депрессий и впадин, простирающихся в меридиональном направлении [1].

В строении НГБ Иллизи выделяются протерозойский кристаллический фундамент и осадочный чехол. Мощность осадочного чехла достигает более 3 км, увеличивается с юга к северу и западу. Стратиграфически осадочный чехол представлен породами палеозойских, мезозойских и кайнозойских отложений. В разрезе фиксируются поверхности стратиграфического несогласия (рис. 2). Полностью в разрезе отсутствуют пермские отложения [14]. Литологически разрез представлен в большей части терригенными породами (песчаники и глинистые сланцы), реже встречаются карбонатные породы (известняки и мергели) [12, 2].

Методы и материалы исследования

Для достижения поставленной цели был применен статистический анализ — метод, позволяющий

выявлять различные закономерности, тренды и связи в изучаемом явлении.

Фактическим материалом для исследования служила информация, полученная с электронной базы данных Information Handling Services (IHS, 2017) по нефтяной и газовой промышленности мира [14], а также данные по тектонике, стратиграфии и нефтегазоносности НГБ Иллизи [5—15].

Нефтегазоносность

НГБ Иллизи достаточно хорошо изучен геологически. К настоящему времени в нем открыто более 150 нефтегазоконденсатных, газоконденсатных, газовых и нефтяных месторождений. Из них к категории уникальных с извлекаемыми запасами более 300 млн т.у.т. относится одно месторождение Тин Фуйе-Табанкорт (Tin Fouye-Tabankort), к крупным с запасами более 30 млн т.у.т. семь месторождений: Альпар (Alrar), Зарзаитин (Zarzaitine), Тигентурин

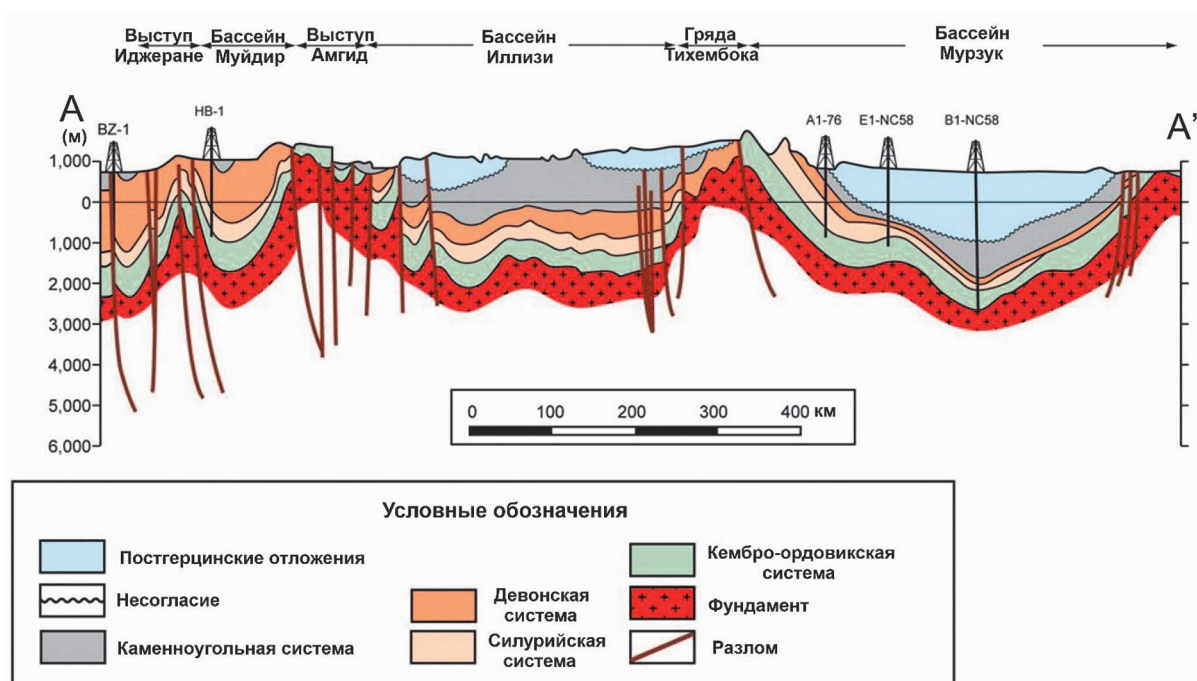


Рис. 2. Региональный геологический разрез от выступа Иджеране до бассейна Мурзук [14]

Fig. 2. Regional geological cross-section from the Ijjeran high to the Murzuk basin [14]

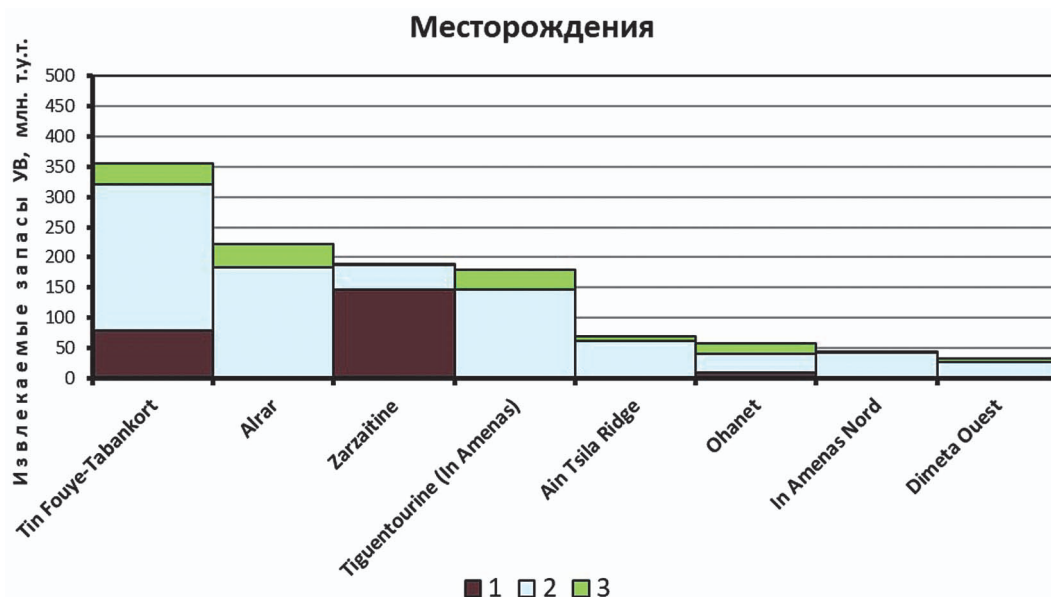


Рис. 3. Распределение извлекаемых запасов УВ по уникальному и крупным месторождениям [14]: 1 — нефть; 2 — газ свободный и растворенный; 3 — конденсат

Fig. 3. Distribution of recoverable hydrocarbon reserves by unique and large deposits [14]: 1 — oil; 2 — gas free and dissolved; 3 — condensate

(Tiguentourine), Айн Тсила Ридж (Ain Tsila Ridge), Оханет (Ohanet), Ин Аменас Норд (In Amenas Nord) и Димета Оуст (Dimeta Ouest) (рис. 3).

Уникальное (Тин Фуйе-Табанкорт) и крупные месторождения содержат 75% всех извлекаемых запасов углеводородов НГБ Иллизи. Все

остальные месторождения (95% от общего числа открытых месторождений) относятся к категории средних, мелких и очень мелких.

По соотношению запасов газа и нефти НГБ Иллизи относится к нефтегазоносным. Месторождения УВ содержат от одной до шести залежей.

Литолого-стратиграфическая зональность

В пределах НГБ Иллизи промышленные скопления УВ выявлены в палеозойских отложениях, а именно в кембрийских, ордовикских, силурийских, девонских и каменноугольных. Пласты-коллекторы представлены терригенными породами — песчаниками. Покрышками, как правило, служат глинистые сланцы [10].

По анализу нефтей, Тиссотом [13] и другими [6] были выделены три нефтяных системы (региональных нефтегазоносных комплексов (РНГК)). Нефти I и II систем очень похожи друг на друга и отличаются только зрелостью. Их различие определяется только стратиграфическим положением залежей.

Система I включает в себя отложения кембрия, ордовика и нижнюю часть формации Танеззуфт (Tanezzuft Formation 1). Региональной покрышкой РНГК являются аргиллиты нижней части формации Танеззуфт силурийского возраста. Формация распространена по всему бассейну, а ее мощность варьирует от 200 до 500 м.

Залежи УВ в нижележащих кембро-ордовикских отложениях связаны с коллекторами формаций Аргис Граптолит (Argiles a Graptolithes Formation), Гара Луки (Gara Louki Formation), Тамаджерт (Tamadjert Formation), Эджех (Edjeleh Formation) и песчаниками Хасси Лейла (Hassi Leila Sandstone Formation). Пористость коллекторов составляет 7—14%, проницаемость — до 250 мД

[14]. Наибольшее количество запасов УВ сосредоточено в отложениях формации Аргис Граптолит (рис. 4).

Региональная покрышка комплекса — нижняя часть формации Танеззуфт — является и основной нефтегазоматеринской породой (НГМП). Начальное содержание ТОС (общее содержание органического углерода) было довольно высоким, но в настоящее время данный показатель колеблется от менее чем 2% на востоке, повышаясь до 4% на севере и 8% на западе. Тип керогена — I или II. Степень зрелости органического вещества (ОВ) варьирует от $R_o = 1,1\%$ в центральной части бассейна и до $R_o = 1,75\%$ на юго-западе и северо-востоке [6].

В составе нефтегазоносного комплекса можно выделить и второстепенную НГМП — глинистые отложения ордовикского возраста, которые имеют ограниченный генерационный потенциал. Содержание ТОС в НГМП колеблется от 0,5 до 1,0%, за исключением районов месторождений Стах и Тамаданет, где значения ТОС варьируют от 1,0 до 2,0%. ОВ является сапропелевым, тип керогена II [5].

Малла и др. [8] предполагают, что ордовикская НГМП, вероятно, находится в зоне газообразования, за исключением центра бассейна Иллизи, где они находятся в зоне нефтеобразования.

РНГК обладает высокой продуктивностью. Его общие извлекаемые запасы УВ составляют около

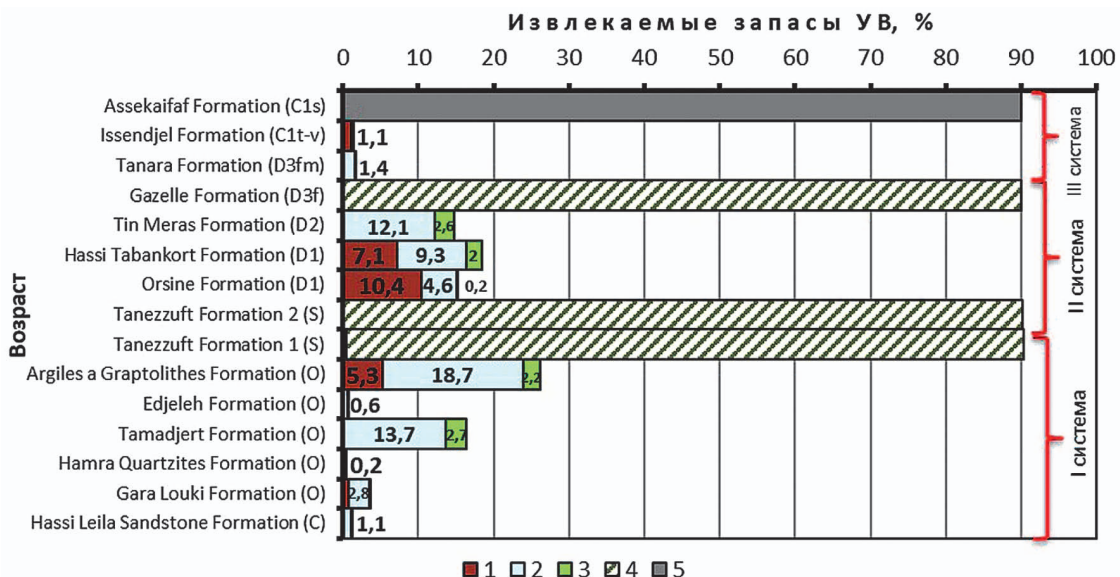


Рис. 4. Распределение извлекаемых запасов УВ по нефтяным системам [14]: 1 — нефть; 2 — газ свободный и растворенный; 3 — конденсат; 4 — НГМП; 5 — покрышка

Fig. 4. Distribution of recoverable hydrocarbon reserves across oil systems [14]: 1 — oil; 2 — gas free and dissolved; 3 — condensate; 4 — NGMP; 5 — seal

50% всех запасов бассейна Иллизи, из них запасы нефти — 6,3%, газа — 37,2% и конденсата — 5,1% (рис. 4).

Система II включает в себя отложения верхней части формации Танеззуфт (Tanezzuft Formation 2) и отложения нижнего и среднего девона. Региональной покрывкой комплекса служат глины франского возраста формации Газеле (Gazelle Formation), которые рядом исследователей относятся к нефтегазоматеринским [6].

Глины формации Газеле характеризуются толщиной от 25 до 110 м. Содержание ТОС в них варьирует от менее 2% на юго-востоке до 4—6% на севере и западе. Степень зрелости ОВ увеличивается от $R_o = 1,1\%$ в центральной части бассейна до $R_o = 1,3\%$ в его северо-восточной части [6].

Залежи УВ сосредоточены в девонских песчанистых отложениях формаций Орсин (Orsine Formation), Хасси Табанкорт (Hassi Tabankort Formation) и Тин Мерас (Tin Meras Formation). Коллекторы обладают пористостью 18—25% и проницаемостью в несколько дарси [9]. Наибольшее количество запасов нефти комплекса сосредоточено в его нижней части (формация Орсин) — 10,4% от всех извлекаемых запасов УВ бассейна (рис. 4).

Основой НГМП II нефтегазоносного комплекса является верхняя часть формации Танеззуфт, распространенная на всей территории бассейна Иллизи. ОВ формации относится к сапропелевому типу (кероген II). Значения отражательной способности витринита (R_o) изменяются от 1,1% в северной и центральной частях бассейна до более чем 1,75% на северо-востоке [6].

Извлекаемые запасы УВ комплекса составляют около 48% от запасов всего бассейна, из них запасы нефти — 17,7%, газа — 26% и конденсата — 4,7%.

Система III включает в себя отложения от фаменского яруса формации Танара (Tanara Formation) до отложений серпуховского возраста. Региональной покрывкой служат глинистые отложения серпуховского возраста формации Ассекайфаф (Assekaifaf Formation) (рис. 4).

Залежи УВ приурочены к отложениям фаменского возраста формации Танара, а также к отложениям нижнего карбона формации Иссенджель (Issendjel Formation). Коллекторы имеют пористость от 15 до 22% и проницаемость 50—300 мД [6].

В составе РНГК ряд исследователей [14] глинистые отложения визейско-турнейского возраста формации Иссенджель выделяют как второстепенные НГМП для бассейна Иллизи.

ОВ формации относится преимущественно к гумусовому типу (кероген III типа). В бассейне Иллизи визейско-турнейские глины достигают максимальной толщины 800 м в скважине Хасси Табтаб 1. Среднее значение ТОС колеблется от 0,5 до 1,0%. НГМП находятся в основном в зоне нефтеобразования с T_{max} в пределах 435—450 °С за исключением трех областей, где они являются незрелыми: центральные, северные и восточные области [6].

Основным источником УВ для III РНГК часто считают нижележащие отложения формации Газеле [6].

По содержанию запасов УВ III РНГК является наименее продуктивным. Его общие извлекаемые запасы составляют 3% от всех запасов бассейна, из них на нефть приходится 1,3%, газ — 1,5% и конденсат — 0,1%.

Анализ построенного графика распределения запасов УВ по РНГК позволяет сделать следующие выводы:

- 60% всех извлекаемых запасов УВ концентрируется в непосредственной близости от нефтегазоматеринских пород силурийских формаций Танеззуфт (рис. 4) — над и под ними, что говорит о том, что основным источником УВ месторождений НГБ Иллизи являются именно эти породы. При этом первичная миграция из них была как восходящей, так и нисходящей. Нефтегазоматеринские породы ордовикского возраста, формация Газеле (Gazelle Formation) и Иссенджель (Issendjel Formation), внесли незначительный вклад в генерацию УВ и могут считаться второстепенными;
- I и II РНГК относятся к сингенетичным комплексам, при этом формирование залежей УВ II РНГК, возможно, происходило в основном за счет вертикальной миграции из нефтегазоматеринских пород, залегающих в его подошвенной части (Танеззуфт (Tanezzuft Formation 2)), а в его верхней части преобладают газовые залежи;
- III РНГК, вероятно, является эпигенетичным, и залежи в нем формировались за счет вертикальной миграции из залегающих ниже отложений.

Глубинная зональность

В настоящее время на территории НГБ Иллизи залежи жидких и газообразных углеводородов были выявлены в широком диапазоне глубин — от поверхности до 4 км.

В целом по бассейну Иллизи извлекаемые запасы свободного и растворенного газа значительно превышают запасы всех других типов УВ вместе взятых и составляют около 65%.

Наибольшая концентрация запасов УВ сосредоточена в интервале глубин 1—2 км, что составляет 72% от общего количества извлекаемых запасов УВ в НГБ Иллизи. При этом на нефть приходится 11,0%, свободный и растворенный газ — 52,1% и конденсат — 9,1% (рис. 5).

На интервал глубин до 1 км приходится 18,6% от всех извлекаемых запасов УВ бассейна. Из них на нефть приходится 12,5%, что несколько выше, чем в интервале глубин 1—2 км (рис. 5).

Третье место по концентрации запасов УВ занимает интервал глубин 2—3 км, где сосредоточено около 10% всех извлекаемых запасов УВ бассейна (рис. 5).

Из сопоставления распределения запасов УВ по глубинам с зональностью процессов нефтегазообразования по Б.А. Соколову четко видно, что зоны максимальной концентрации запасов УВ в бассейне Иллизи расположены значительно выше (на 2—3 км) главной зоны нефтеобразования («нефтяного окна») и главной зоны газообразования (рис. 5).

Такое соотношение в разрезе зон нефтегазоаккумуляции и зон нефтегазообразования, вероятно, свидетельствует о значительно больших палеоглубинах залегания палеозойских отложений бассейна Иллизи и выводе их на меньшие глубины в результате значительных эрозионных процессов.

Заключение

Из приведенного анализа распределения извлекаемых запасов УВ по месторождениям, региональным нефтегазоносным комплексам и глубинам можно сделать следующие выводы.

1. Бассейн Иллизи характеризуется значительной неравномерностью распределения запасов по месторождениям. Уникальное (Тин Фуйе-Табанкорт) и 7 крупных месторождений содержат 75% всех его извлекаемых запасов углеводородов.

2. 60% всех извлекаемых запасов УВ концентрируется в непосредственной близости от нефтегазоматеринских пород силурийских формаций Танезуфт — над и под ними, что говорит о том, что основным источником УВ месторождений НГБ Иллизи являются именно эти породы. При этом первичная миграция из них была как восходящей, так и нисходящей.

3. Наибольшая концентрация запасов УВ сосредоточена в интервале глубин 1—2 км, что составляет 72% от общего количества извлекаемых запасов УВ в НГБ Иллизи.

4. В НГБ Иллизи наблюдается значительное несоответствие степени зрелости ОВ основной нефтегазоматеринской породы (фармация Танезуфт) с R_o от 1,1 до 1,75% и глубиной основной зоны концентрации извлекаемых запасов УВ (1—2 км), что с учетом наличия больших перерывов в осадконакоплении может свидетельствовать о значительно больших здесь палеоглубинах залегания НГМП.

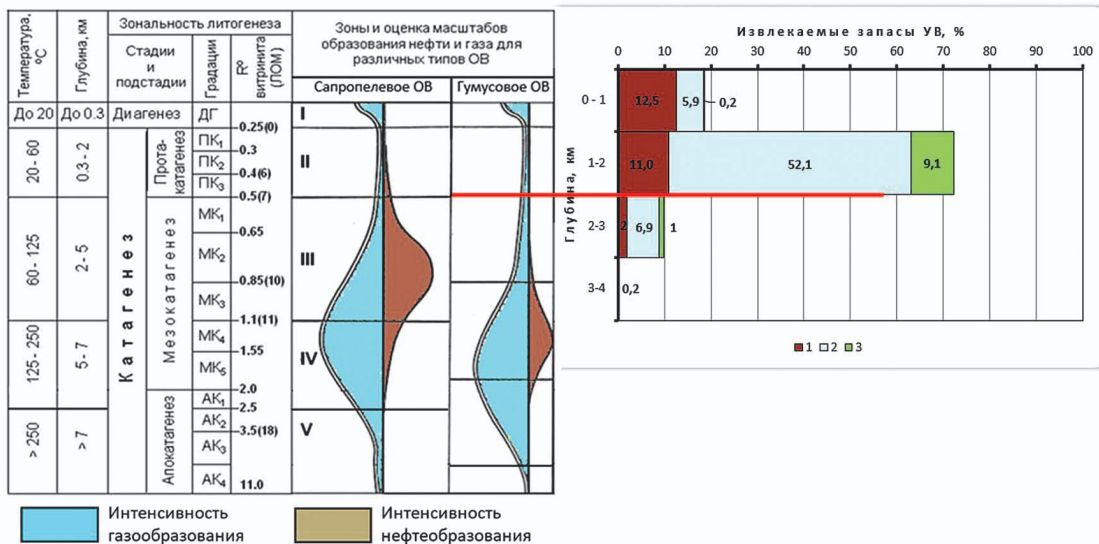


Рис. 5. Соотношение зон образования нефти и газа (по Б.А. Соколову) с графиком распределения извлекаемых запасов УВ по глубинам в НГБ Иллизи [4, 14]: 1 — нефть; 2 — газ свободный и растворенный; 3 — конденсат
Fig. 5. Correlation of oil and gas formation zones (according to B.A. Sokolov) with the distribution graph of recoverable hydrocarbon reserves by depth in the Illizi oil and gas basin [4, 14]: 1 — oil; 2 — gas free and dissolved; 3 — condensate

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакиров А.А., Варенцов М.И., Бакиров Э.М. Нефтегазоносные провинции и области зарубежных стран. М.: Недра, 1971. 544 с.
2. Высоцкий В.И., Голенкова Н.П., Тимонин Л.С. Нефтегазоносные бассейны развивающихся стран Африки, Ближнего и Среднего Востока (в связи с решением практических вопросов сотрудничества в проведении геологоразведочных работ на нефть и газ). Отчет по теме ХУ 124-2-5/79, 1981. 277 с.
3. Габдуллин Р.Р. Нефтегазоносные бассейны мира. Конспект лекций геологического факультета МГУ, 2011. 387 с.
4. Шевяков В.А., Тихомиров Д.О. Перспективы нефтегазоносности Томинского лицензионного участка Бузулукской НГО. Сборник научных трудов «Актуальные вопросы поисков и разведки месторождений нефти и газа», 2017. 174—181 с.
5. Adeola A.O., Akingboye A.S., Ore O.T., Adewole A.H., Olawade D.H., Ogunyele A.C. Crude oil exploration in Africa: socio-economic implications, environmental impacts, and mitigation strategies. *Environment Systems and Decisions*. 2022. Vol. 42. P. 26—50.
6. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut. Paleozoic petroleum system of North Africa. Geological Society, London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
7. Galeazzia S., Pointb O., Haddadib N., Matherc J., Druesne D. Regional geology and petroleum systems of the Illizi-Berkine area of the Algerian Saharan Platform: An overview. *Marine and Petroleum Geology*. 2010. Vol. 27. P. 143—178.
8. Klett T.R. Total Petroleum Systems of the Illizi Province, Algeria and Libya—Tanezzuft-Illizi. Geological Survey, 2000. 79 p.
9. Lang J., Dixon R.J., Le Heron D.P., Winsemann J. Depositional architecture and sequence stratigraphic correlation of Upper Ordovician glaciogenic deposits, Illizi Basin, Algeria. Geological Society, London, Special Publications. 2012. Vol. 368. P. 293—317.
10. Redfern J., English K.L., English J.M., Hollis C., Corcoran D.V., Oxtoby N., Cherif R.Y. Remobilization of deep basin brine during exhumation of the Illizi Basin, Algeria. *Marine and Petroleum Geology*. 2016. Vol. 78. P. 679—689.
11. Tissot B., Espitaue J., Deroo G., Tempere C. Origin and migration of hydrocarbons in the eastern Sahara (Algeria). 1984. Origin and migration of hydrocarbons in the eastern Sahara (Algeria). *Petroleum Geochemistry and Basin Evaluation*. American Association of Petroleum Geologists. 1984. Vol. 35. P. 315—324.
12. Ysbaaa S., Benayada S., Chaouchia R., Haddoucheb O., Kacimic A., Kaddour H. Sedimentological characteristics and reservoir quality prediction in the Upper Ordovician glaciogenic sandstone of the In-Adaoui-Ohanet gas field, Illizi basin, Algeria. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019. Vol. 179. P. 159—172.
13. Zazouna R.S., Mahdjoub Y. Strain analysis of Late Ordovician tectonic events in the In-Tahouite and Tamadjert Formations (Tassili-n-Ajjers area, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*. 2011. Vol. 60. P. 63—78.
14. Information Handling Services. Режим доступа: <https://www.zema.global/datavendor/information-handling-services> (дата обращения 05.12.2024).
15. АО «Зарубежгеология». Режим доступа: <http://zargeo.com> (дата обращения 05.12.2024).

REFERENCES

1. Bakirov A.A., Varentsov M.I., Bakirov E.M. Oil and gas provinces and regions of foreign countries. Moscow, Nedra Publ., 1971. 544 p. (In Russian).
2. Vysotsky V.I., Golenkova N.P., Timonin L.S. Oil and Gas Bearing Basins of Developing Countries of Africa, the Near and Middle East (in Connection with the Solution of Practical Issues of Cooperation in Conducting Geological Exploration for Oil and Gas). Related Report HU 124-2-5/79, 1981. 277 p. (In Russian).
3. Gabdullin R.R. Oil and gas basins of the world. Abstract of lectures of the Faculty of Geology of Moscow State University, 2011. 387 p. (In Russian).
4. Shevyakov V.A., Tikhomirov D.O. Prospects for oil and gas potential of the Tominsky license area of the Buzuluk oil and gas field. Collection of scientific papers «Topical Issues of Prospecting and Exploration of Oil and Gas Fields», 2017. P. 174—181 (In Russian).
5. Adeola A.O., Akingboye A.S., Ore O.T., Adewole A.H., Olawade D.H., Ogunyele A.C. Crude oil exploration in Africa: socio-economic implications, environmental impacts, and mitigation strategies. *Environment Systems and Decisions*. 2022. Vol. 42. P. 26—50.
6. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut. Paleozoic petroleum system of North Africa. Geological Society, London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
7. Galeazzia S., Pointb O., Haddadib N., Matherc J., Druesne D. Regional geology and petroleum systems of the Illizi-Berkine area of the Algerian Saharan Platform: An overview. *Marine and Petroleum Geology*. 2010. Vol. 27. P. 143—178.
8. Klett T.R. Total Petroleum Systems of the Illizi Province, Algeria and Libya—Tanezzuft-Illizi. Geological Survey, 2000. 79 p.
9. Lang J., Dixon R.J., Le Heron D.P., Winsemann J. Depositional architecture and sequence stratigraphic correlation of Upper Ordovician glaciogenic deposits, Illizi Basin, Algeria. Geological Society, London, Special Publications. 2012. Vol. 368. P. 293—317.
10. Redfern J., English K.L., English J.M., Hollis C., Corcoran D.V., Oxtoby N., Cherif R.Y. Remobilization of deep basin brine during exhumation of the Illizi Basin,

- Algeria. Marine and Petroleum Geology. 2016. Vol. 78. P. 679—689.
11. Tissot B., Espitaue J., Deroo G., Tempere C. Origin and migration of hydrocarbons in the eastern Sahara (Algeria). 1984. Origin and migration of hydrocarbons in the eastern Sahara (Algeria). Petroleum Geochemistry and Basin Evaluation. American Association of Petroleum Geologists. 1984. Vol. 35. P. 315—324.
 12. Ysbaaa S., Benayada S., Chaouchia R., Haddoucheb O., Kacimic A., Kaddour H. Sedimentological characteristics and reservoir quality prediction in the Upper Ordovician glaciogenic sandstone of the In-Adaoui-Ohanet gas field, Illizi basin, Algeria. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 179. P. 159—172.
 13. Zazouna R.S., Mahdjoub Y. Strain analysis of Late Ordovician tectonic events in the In-Tahouite and Tamadjert Formations (Tassili-n-Ajjers area, Algeria). Journal of African Earth Sciences. 2011. Vol. 60. P. 63—78.
 14. Information Handling Services. URL: <https://www.zema.global/datavendor/information-handling-services> (date 05.12.2024).
 15. JSC «Zarubezhgeologiya». URL: <http://zargeo.com> (date 05.12.2024)

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Арцыбасова Д.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Шевяков В.А. — внес вклад в работу при разработке методики и результатов исследования, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Daria V. Arcybasova — developed the article concept, prepared the text and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Vladimir A. Shevyakov — contributed to the development of the methodology and results of the study, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Арцыбасова Дарья Викторовна * — ассистент кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». 65, корп. 1, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: darya.arcybasova@mail.ru
SPIN-код: 8321-9240
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9607-1965>

Daria V. Arcybasova* — assistant department of oil and gas prospecting and exploration National University of Oil and Gas “Gubkin University”. 65, bld. 1, Leninsky Ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: darya.arcybasova@mail.ru
SPIN-code: 8321-9240
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9607-1965>

Шевяков Владимир Алексеевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». 65, корп. 1, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: schevyakov2017@yandex.ru
SPIN-код: 4414-8836

Vladimir A. Shevyakov — Cand. Sci. (Geol.-Min.), associate professor department of oil and gas prospecting and exploration National University of Oil and Gas “Gubkin University”. 65, bld. 1, Leninsky Ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: schevyakov2017@yandex.ru
SPIN-code: 4414-8836

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА

А.Г. МАЛОВ, Л.С. КУЛЕШОВА, Р.А. ГИЛЯЗЕТДИНОВ*, Р.Ф. ЯКУПОВ

*Институт нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет
в г. Октябрьском»*

54а, ул. Девонская, г. Октябрьский 452607, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На текущий момент одной из ключевых задач недропользователей является оптимизация процесса отбора остаточных запасов нефти и совершенствование процедур проведения различных мероприятий, направленных на увеличение производительности скважин. В пределах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и сопредельных нефтеносных территорий наиболее распространенными методами обработки призабойной зоны пласта являются различные технологии кислотных обработок. Несмотря на это, существующие инструменты, используемые при проектировании и планировании данных операций, не позволяют учитывать сразу несколько различных факторов, оказывающих влияние на эффективность воздействия, что накладывает определенные трудности и является источником формирования различного рода неопределенностей.

Цель. Разработка методических основ повышения эффективности компьютерного моделирования различных технологий кислотных обработок в условиях неоднородных карбонатных коллекторов турнейского яруса Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

Материалы и методы. Комплексирование результатов эксплуатации более чем 100 скважин различного назначения с использованием известных научно-методических основ обработки и интерпретации геолого-промысловых данных.

Результаты. Предложены эмпирические формулы для расчета времени очистки пласта после воздействия, объемов высокопродуктивной зоны скважин и результативности реализации на них кислотных обработок.

Ключевые слова: кислотная обработка, геолого-статистическое моделирование, карбонатные коллекторы турнейского яруса, замедлители реакции, призабойная зона пласта

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Малов А.Г., Кулешова Л.С., Гилязетдинов Р.А., Якупов Р.Ф. Разработка методологии проектирования кислотных обработок с учетом особенностей строения призабойной зоны пласта. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(1):30—40. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-30-40> EDN: [EIIYSU](https://www.edn.ru/)

Статья поступила в редакцию 17.09.2024

Принята к публикации 14.02.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

METHODOLOGY FOR ACID TREATMENT DESIGN CONSIDERING STRUCTURAL FEATURES OF THE BOTTOMHOLE AREA

ALEXANDER G. MALOV, LYUBOV S. KULESHOVA, RUSLAN A. GILYAZETDINOV*, RUSTEM F. YAKUPOV

*Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky Branch
54a, Devonskaya str., Oktyabrsky 452607, Russia*

ABSTRACT

Background. Optimization of the development of residual oil reserves and procedures aimed at increasing well productivity represents a principal task of subsoil exploitation. Within the Volga–Ural oil and gas province and adjacent oil-bearing zones, acid treatment technologies are among the most common methods for processing the bottomhole reservoir area. However, the existing tools used in the design and planning of these operations neglect several factors that affect their effectiveness, which imposes certain limitations.

Aim. To develop a methodology for increasing the effectiveness of computer simulation of acid treatment technologies applied under the conditions of heterogeneous carbonate reservoirs of the Tournaisian stage of the Volga–Ural oil and gas province.

Materials and methods. Generalization of the results of operation of more than 100 wells for various purposes using standard approaches for processing and interpreting of geological and field data.

Results. Empirical formulas for calculating the duration of reservoir cleaning after treatment, volumes of the highly productive area of wells, and the effectiveness of acid treatments in these areas are presented.

Keywords: acid treatment, geological and statistical modeling, carbonate reservoirs of the Tournaisian stage, reaction retarders, bottomhole area

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Financial disclosures: no financial support was provided for this study.

For citation: Malov A.G., Kuleshova L.S., Gilyazetdinov R.A., Yakupov R.F. Methodology for acid treatment design considering structural features of the bottomhole area. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):30–40. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-30-40> EDN: [EIIYSU](https://www.edn.ru/)

Manuscript received 17 September 2024

Accepted 14 February 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Введение

В современных условиях разработки нефтяных месторождений процесс проведения кислотных обработок тесно сопряжен с рисками недостижения прогнозных показателей [1, 2]. Несмотря на это ежегодно на скважинах месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (ВУНГП) проводятся тысячи мероприятий по обработке призабойной зоны пласта (ПЗП), успешность которых значительно варьирует, особенно при воздействии на карбонатные коллекторы. Неоднозначность полученных результатов

в данном тектонико-стратиграфическом комплексе предопределяет необходимость не только осуществления более детального подхода к процедурам проектирования кислотных обработок, но и разработке соответствующей методологии, позволяющей учитывать области ПЗП с улучшенными фильтрационными свойствами и динамику процесса очистки ПЗП от продуктов реакции. С учетом сложного геологического строения залежей карбонатных коллекторов роль алгоритмов, позволяющих обоснованно подбирать тот или иной дизайн обработок, возрастает, поэтому особое внимание

необходимо уделять вопросам их своевременной актуализации, что позволит создать надежный и опорный инструмент обработки геолого-промысловых данных [3—5].

Материалы и методы

Объектом исследования выступают карбонатные коллекторы турнейского яруса, залегающие в пределах крупных и средних месторождений ВУНГП и обуславливающие значительный резерв перспективных для освоения ресурсов. Геолого-промысловая база для моделирования получена в результате комплексирования данных эксплуатации по более чем 100 скважинам различного назначения.

На сегодняшний день одним из наиболее распространенных и доступных в финансовом плане методов повышения производительности скважин являются различные технологии кислотных обработок. Эффективность данного воздействия зависит от большого числа факторов, учет которых осложнен различной природой их возникновения. Важным аспектом, необходимым для реализации результативного кислотного воздействия, является наличие реального представления о кинетике и динамике процессов взаимодействия раствора с горными породами в различный период времени [6]. С переходом на механизированный способ добычи нефти и развитием систем поддержания пластового давления процедура планирования кислотных обработок практически не претерпела изменений в вопросах подбора скважин-кандидатов, составов и технико-технологических аспектов реализации операций. Ключевым направлением, необходимым для совершенствования научно-методических аспектов проектирования кислотных обработок, является учет строения призабойной зоны пласта, который в совокупности с данными геофизических и гидродинамических исследований позволит повысить успешность мероприятий и осуществлять их адресную корректировку.

К геологическим особенностям карбонатных коллекторов турнейского яруса стоит отнести высокую трещиноватость пород, нелинейно распределенную в пределах общего разреза пласта [7]. В период длительной эксплуатации добывающих скважин фильтрационные каналы призабойной зоны пласта подвергаются глубокой кольтматации, воздействие на которую осложнено многоступенчатым механизмом ее формирования. Это требует закачки значительно больших объемов кислотного состава [8]. Кроме этого, в области ПЗП,

непосредственно прилегающей к стволу скважины, в результате многократных предыдущих кислотных обработок образуется область с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), которая отделяет область кольтматации ПЗП от ствола скважины. Исходя из вышесказанного предложим методологию количественно-качественной характеристики зон с улучшенными ФЕС для снижения рисков нерелевантного проектирования операций по закачке соляно-кислотных составов.

На начальном этапе происходит определение объема области ПЗП с улучшенными ФЕС (V). Численный расчет параметра предлагается осуществлять при помощи формулы (1) с учетом следующих условий: рассматриваемые скважины эксплуатируются с забойным давлением ниже давления насыщения; пластовое давление в зоне отбора запасов превышает давление насыщения:

$$V = \frac{V_1 \cdot (P_1 - P_0)}{P_2 - P_0}, \quad (1)$$

где V_1 — суммарный объем жидкости, поглощенной при проведении ремонтных работ (в том числе промывка, райбирование, долив, глушение), м^3 ; P_1 — давление насыщения, атм. ; P_0 — забойное давление до воздействия, атм. ; P_2 — забойное давление перед проведением перфорационных работ, атм.

На втором этапе для достоверного определения объема продуктивной зоны с учетом нелинейного характера протекания пластовых процессов производится построение зависимости, отражающей результативность проникновения кислотного агента в пласт исходя из времени выхода скважины на максимальный оптимальный дебит (МОД). Один из возможных ее вариантов представлен на рисунке 1.

Результаты

Для более детального изучения механизма протекания процесса проанализируем ряд составов, широко используемых при обработке залежей турнейского яруса Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [9, 10]. Первый состав представлен классической 13% соляной кислотой и антикоррозионной добавкой ПБ-5. В пределах объекта исследования он активно применяется как для добывающего, так и для нагнетательного фондов скважин. Средний прирост дебита нефти после закачки варьируется от 0,9 до 3,2 т/сут при времени выхода на МОД от 65 до 307 сут. Второй и третий составы отличаются от первого и в целом между собой процентным содержанием интенсификаторов,

которые снижают скорость протекания химической реакции и позволяют закачиваемой кислоте в активной фазе достигнуть целевого интервала. Отметим, что эффективность данных композиций в условиях объекта исследования при вторичных обработках примерно на 24% выше по сравнению с результатами первичного воздействия, что обусловлено наличием тесной взаимосвязи между временем нейтрализации соляной кислоты в пласте и удельной результативности обработок.

Помимо этого, на успешность кислотного воздействия в условиях турнейского яруса оказывает влияние также толщина пласта и ее производные показатели [11]. При воздействии на пласт малой и средней толщины глубина проникновения закачиваемого агента зависит от величины, представленной отношением эффективной нефтенасыщенной толщины к пористости. Она численно характеризует уровень гидродинамической связанности фильтрационных каналов. С увеличением пористости продуктивного пласта классический кислотный состав в активной фазе распределяется неравномерно, исходя из чего более четверти его объема лишь смачивает поверхность горных пород, а в некоторых случаях ограничено взаимодействует с ними, что приводит к нарушению механизмов протекания реакции и формированию плотных нерастворимых осадков, снижающих площадь эффективного дренирования скважины. При достаточно большой толщине радиус распространения кислотного состава зависит преимущественно от неоднородности пласта и доли пород-коллекторов в общей толщине пласта. Пористость и эффективная нефтенасыщенная толщина в данном случае играют второстепенную роль, обуславливая лишь степень насыщения горных пород кислотным составом и потенциально возможное число пропластков, пригодных для вовлечения их в процесс разработки.

Интерпретация и анализ коэффициента продуктивности позволяют обоснованно принимать управленческие решения в различных направлениях деятельности, связанной с проектированием и эксплуатацией нефтяных месторождений [12]. Отношение коэффициента продуктивности скважины к объему области ПЗП с улучшенными ФЕС позволяет рассмотреть в одной плоскости исследования различные факторы, влияющие на конечный результат — запускной дебит скважин после обработок. В различных работах многими авторами отмечено [13—17], что в процессе выхода скважин на режим после освоения тренд изменения дебита нефти может быть достоверно

описан базовыми математическими моделями без необходимости привлечения инструментов многомерного геолого-промыслового анализа. Это необходимо учитывать при определении степени взаимосвязи между эффективностью воздействия и различными параметрами. Рассмотрим на примере одной из скважин, вскрывших отложения турнейского яруса, динамику изменения исследуемых показателей после закачки обычного кислотного состава. На рисунке 1 отражена зависимость $K_{\text{прод}} / V$ от времени выхода скважин на МОД.

При анализе кривой надежно выделяются четыре интервала, в которых показатель по оси ординат принимает наибольшее возможное значение при текущем временном периоде t . Первоначальный рост значения $K_{\text{прод}} / V$ обусловлен дренированием области ПЗП с улучшенными ФЕС. Достижение первичного максимального экстремума функции зафиксировано при $t = 27$ сут, что свидетельствует о полном выносе остатков нейтрализованного кислотного состава и значительном изменении гидродинамических условий в пористой среде. Дальнейшее снижение показателя $K_{\text{прод}} / V$ позволяет сказать о постепенном подключении удаленных фильтрационных каналов к процессам притока. Наименьшее значение экстремума функции, описывающее тренд выхода скважины на максимальный оптимальный дебит, получено после 106 суток работы скважины с момента ее освоения, что является возможным признаком стабилизации параметров пластовых систем. Это также отражает и незначительное увеличение на 17% параметра $K_{\text{прод}} / V$.

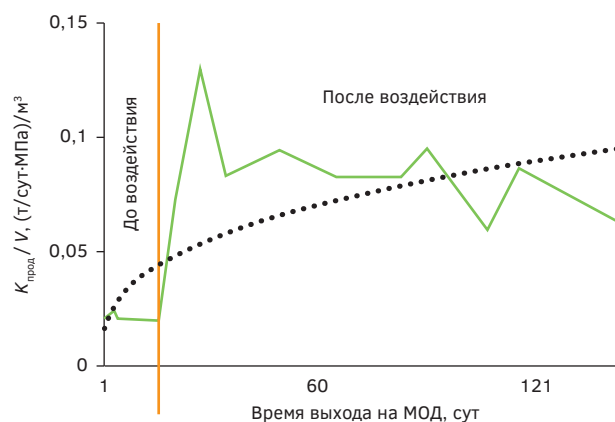


Рис. 1. Динамика выхода скважины на режим после проведения успешной классической кислотной обработки

Fig. 1. Dynamics of well output after successful classical acid treatment

Исходя из этого отметим, что при проведении классической кислотной обработки выход скважины на МОД сопровождается следующими процессами: 20% времени от общей продолжительности работы скважины до момента достижения оптимальных технологических показателей приходится на вынос остатков кислотного состава и различных отложений продуктов реакции (в рассматриваемом варианте успешность данного процесса велика в связи с отсутствием наибольших экстремумов функции $K_{\text{прод}} / V = f(t)$); 70% времени отведено на формирование воронки депрессии и активации фильтрационных каналов; оставшиеся 10% времени направлены на выравнивание гидродинамического равновесия в системе «скважина — пласт». Аналогичные расчеты были проведены и для других скважин объекта исследования. Обобщенная математическая модель, наилучшим образом описывающая степень и уровень взаимосвязи между исследуемыми показателями, имеет следующий вид:

$$K_{\text{прод}} / V = 0,0311e^{-0,013t}, \quad (2)$$

где t — время эксплуатации скважин после воздействия, сут.; $K_{\text{прод}} / V$ — комплексный показатель, характеризующий результативность проникновения кислотного агента в пласт с учетом объема высокопродуктивной зоны, 1/сут·МПа·м.

Сопоставляя значения фактического дебита нефти до воздействия и в момент выхода скважины на МОД ($t = 165$ сут) с показателями продуктивности за аналогичный временной период, объемом высокопродуктивной зоны, рассчитанной по формуле 1, установлено, что эффективность

проведения классических кислотных обработок ($\mathcal{E}_k$) в % может быть определена исходя из следующего отношения при стандартизированных данных:

$$\mathcal{E}_k = (Q_0 + \left(\frac{\sum_{i=j}^k Q_i}{\sum_{i=q}^w Q_i} \right)) / (K_{\text{прод}} / V) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где Q_0 — дебит нефти до обработки; Q_i — дебит нефти после обработки в различные периоды времени t исходя из следующих обозначений:

j, k — граничные значения времени t , при которых функция $K_{\text{прод}} / V = f(t)$ достигает локальных максимумов (верхние пики кривой см. рис. 1);
 q, w — граничные значения времени t , при которых функция $K_{\text{прод}} / V = f(t)$ достигает локальных минимумов (нижние пики кривой см. рис. 1).

На основании результатов определения параметра $\mathcal{E}_k$ можно производить количественно-качественную оценку эффективности вовлечения в процесс дренирования продуктивных зон залежей. Это позволит при проектировании кислотных обработок осуществить детальное технико-экономическое обоснование необходимости реализации воздействия. При величине $\mathcal{E}_k < 25\%$ полная часть области ПЗП с улучшенными ФЕС подвержена воздействию, что ограничивает дальнейшее движение кислотного состава вглубь целевых зон (исходя из интерпретации графиков выхода скважин на режим). Добавление различных замедлителей реакции (например, при обработке сильно трещиноватых залежей турнейского яруса) приводит к смещению равновесия реакции кислоты с горными породами, что необходимо компенсировать при помощи регулирования технологических параметров проведения операции. На рисунке 2 отражены кривые выхода скважин на МОД при проведении кислотных обработок в схожих геолого-физических условиях с интенсификаторами в различных концентрациях, и ниже представлены уравнения, обеспечивающие достоверный уровень взаимосвязи между параметрами.

Состав 1:

$$K_{\text{прод}} / V = 2 \cdot 10^{-6} t^2 - 0,0004t + 0,1507; \quad (4)$$

Состав 2:

$$K_{\text{прод}} / V = 0,0138 \ln t + 0,139. \quad (5)$$

Для первого состава объем интенсификаторов составляет менее пятой части от общего объема закачиваемого раствора в пласт. Изменение величины $K_{\text{прод}} / V$ характеризуется существенной нелинейностью по сравнению с вариантом тренда

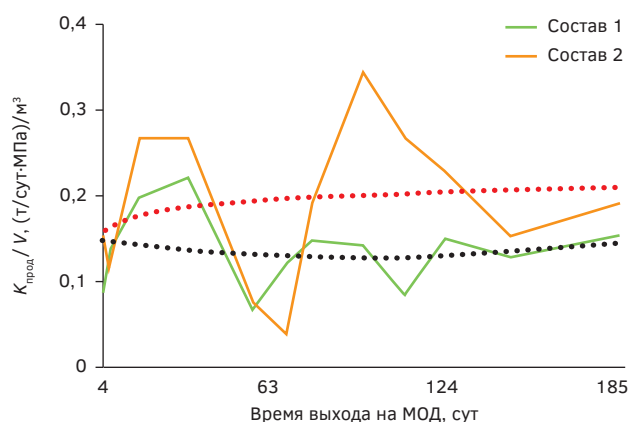


Рис. 2. Динамика выхода скважин на режим после проведения кислотных обработок с замедлителями реакции

Fig. 2. Dynamics of wells entering the regime after acid treatments with reaction retarders

для классической кислотной обработки. Время очистки призабойной зоны от продуктов реакции меньше и составляет примерно четверть от общего времени выхода скважин на МОД. Стабилизация коэффициента продуктивности происходит сразу после завершения процедуры выноса различных компонентов, о чем свидетельствует незначительный прирост значений по оси ординат. Во втором составе объем интенсификаторов составляет не менее трети от общего продавливаемого в целевую зону залежи объема. В период до $t = 34$ сут происходит первичная очистка каналов, расположенных вблизи интервалов перфорации в связи с отсутствием их контактирования с нагнетаемым раствором. Затем, в зависимости от степени насыщения кислотного состава интенсификаторами, происходит стабилизация процессов в пластовых условиях и до $t = 96$ сут осуществляется уже вторичный процесс выноса остатков реакции и различных композиций, образовавшихся в результате проведения воздействия. Исходя из этого увеличение объема интенсификаторов на 25% приводит к увеличению времени полноценной очистки призабойной зоны пласта более чем в 4,5 раза. Особое внимание необходимо уделить механизму данного процесса, в частности, наличию двухступенчатой стадии его реализации. С учетом этого, скорректируем формулу (3) для расчета эффективности кислотного воздействия при добавлении в различной концентрации замедлителей:

$$\mathcal{E}'_k = (Q_0 + \left(\frac{\sum_{i=j}^k Q_i}{\sum_{i=q}^w Q_i} - \sum_{i=e}^r Q_i \right)) / (K_{\text{прод}} / V) \cdot 100\%, \quad (6)$$

где e, r — граничные значения времени t , при которых значение функции $K_{\text{прод}} / V = f(t)$ остается неизменным.

Произведем апробацию полученных формул (5)—(6) на примере объектов, приуроченных к карбонатным коллекторам турнейского яруса. Первичное разделение скважин произведем исходя из вида обработки: классическое воздействие или с добавлением интенсификаторов. Для первой выборки данных используем алгоритм построения кривых выхода скважин на МОД. Наибольшее количество локальных максимумов составляет 6 единиц при максимальном значении $K_{\text{прод}} / V$, равном 0,29. Среднее время достижения скважинами оптимальных технологических показателей составляет 193 сут. С использованием предложенной модели

(5) рассчитаем эффективность реализации кислотных обработок. 15% скважин от общего числа дренируют менее 5% целевых пропластков, несмотря на наличие прироста дебитов нефти после закачки, составляющего от 2,3 до 3,4 т/сут.

Важно отметить, что и при анализе продолжительности эффекта для данных скважин не было отмечено каких-либо отклонений от среднего темпа падения показателей, что позволяет заключить следующее: причиной недостижения целевых показателей может являться ранее реагирование кислотного состава с горными породами в области ПЗП с улучшенными ФЕС, в результате чего глубина избирательного проникновения состава в пласт на 50% меньше по сравнению с планируемой величиной. Исходя из этого рекомендуется рассмотреть возможности проведения обработки при увеличенных скоростях и объемах закачки растворов. Это позволит при смещении химического баланса взаимодействия из-за различных причин увеличить интенсивность воздействия. Схожие по величине приросты зарегистрированы и в случаях, когда успешность кислотных обработок находится в интервалах от 50 до 94%, что является подтверждением вышепредставленных заключений. Потенциально возможное значение прироста дебита нефти после выхода скважин на МОД для достижения значения $\mathcal{E}_k > 70\%$ примерно в 1,3—1,7 раза выше фактических. При применении классических технологий обработки средняя эффективность по залежам карбонатных коллекторов турнейского яруса составила 62,4%. Зависимость, полученная в результате обобщения геолого-промысловых данных, которая может быть использована при проектировании обычных кислотных обработок по залежам турнейского яруса, имеет следующий вид:

$$K_{\text{прод}} / V = 0,0421e^{-0,0017t}. \quad (7)$$

Наилучшие результаты по эффективности воздействия получены на скважинах с начальным дебитом нефти от 2,4 до 3,6 т/сут при значении обводненности добываемой продукции в пределах 62—79%. Среднее значение $\mathcal{E}_k$ составило 91,5%. С увеличением обводненности до величины 90% и более, а также повышения дебита нефти от 1,4 до 2,5 пункта эффективность воздействия снижается до 21%, что свидетельствует о наличии взаимосвязи между текущими технологическими показателями эксплуатации скважин. При сопоставлении фактической суммарной дополнительной добычи нефти с прогнозными значениями, рассчитанными при условии достижения

порогового значения эффективности воздействия не менее 70%, установлено, что в результате проведения классических кислотных обработок величина отклонения между ними составляет 27,3%, или в среднем 4,4 тонны нефти в пересчете на одну скважину.

Для скважин, обработка которых осуществлялась с использованием составов комбинированного происхождения (добавление замедлителей реакции), лишь 5% от общего числа скважин дренируют менее 5% от целевых для воздействия участков и размещение кислотного состава происходит преимущественно в области ПЗП с улучшенными ФЕС. Средние приросты дебитов нефти составляют от 3,7 до 8,4 т/сут при времени полной очистки призабойной зоны пласта и стабилизации параметров пластовых систем от 73 до 134 суток. Продолжительность первой ступени выноса компонентов реакции наименьшая при закачке составов с высоким содержанием интенсификаторов и равняется 4,4 суток. Наибольшая по времени стабилизация значений $K_{\text{прод}} / V$ ($t = 76$ сут) установлена при проведении обработки на скважине 217 месторождения N, территориально расположенной в пределах нефтеносных площадей западной части Республики Башкортостан. Пласт характеризуется значительной неоднородностью по пористости и высоким показателем неоднородности, в результате чего применение замедлителей реакции позволило получить эффективность воздействия 96,4% и превышение в 2,3 раза фактического дебита нефти по сравнению с прогнозным. Причиной этого является не только большая продолжительность второй ступени реагирования, но и правильно подобранные технико-технологические параметры реализации воздействия. При средней концентрации интенсификаторов в закачиваемом составе получен наименьший удельный прирост дебитов нефти после обработки и, следовательно, низкие значения $\mathcal{E}'_k$ (менее 33%).

Анализируя динамику выхода соответствующих скважин на МОД, установили, что характер протекания реакции взаимодействия кислотного состава с горными породами схож с классическим воздействием. Среднее значение эффективности воздействия комбинированными составами варьирует от 54,4 до 89,7% в зависимости от величины концентрации дополнительных компонентов, вводимых в состав кислоты. По скважинам, вскрывшим отложения турнейского яруса с небольшой перфорированной толщиной, установлено высокая результативность применения агентов

с высокой концентрацией замедлителей. За счет ограниченного по вертикали расстояния при нагнетании на повышенных скоростях происходит омывание полного объема порового пространства и с учетом значительно развитой трещиноватости залежи происходит формирование фильтрационных каналов различной протяженности и ориентации. При перфорированной толщине более 5 м и идентичных технологических параметрах проведения операции кислотный состав воздействует в основном на нижнюю часть нефтенасыщенной толщины за счет условно прямолинейной траектории движения.

Для повышения эффективности обработок в данном случае может быть предложена предварительная глубокая перфорация преимущественно малой плотностью, что позволит увеличить интенсивность фильтрации жидкости. Результативность воздействия 70% и выше получена при обработке скважин с малой и высокой концентрациями интенсификаторов в кислотном составе при следующих показателях: дебит нефти от 4,3 до 5,2 т/сут при обводненности не более 82% и не менее 36%. Формулы, которые могут быть успешно использованы при проектировании дизайна кислотных обработок с интенсификаторами, имеют следующий вид:

- малая концентрация замедлителей:

$$K_{\text{прод}} / V = 0,1894 t^{0,029}; \quad (8)$$

- средняя концентрация замедлителей:

$$K_{\text{прод}} / V = 0,0029 \ln t + 0,2045; \quad (9)$$

- высокая концентрация замедлителей:

$$K_{\text{прод}} / V = -0,0018 t + 0,194. \quad (10)$$

Отклонение фактической суммарной дополнительной добычи нефти от прогнозного значения, полученного при учете возможности достижения эффективности воздействия не менее 70%, наибольшее при средней концентрации замедлителей и составляет 34%, или 7,2 т/сут в пересчете на одну скважину.

Выводы

Проведенные исследования, посвященные созданию методологии для обоснования применения различных технологий соляно-кислотного воздействия в условиях залежей карбонатных коллекторов турнейского яруса Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, позволили получить следующие результаты:

- предложен перечень эмпирических формул, позволяющий облегчить процедуру

анализа динамики выхода скважин на максимальный оптимальный дебит и надежно установить время очистки призабойной зоны пласта от продуктов реакции;

- установлен тип и характер взаимосвязи между временем достижения скважиной оптимальных технологических показателей и отношением продуктивности к объему высокопродуктивной зоны;

- на основе комплексирования геолого-промысловой информации и обработки ее при помощи известных статистических алгоритмов установлены эмпирические формулы прогнозирования эффективности воздействия при классической кислотной обработке (3) и обработке с использованием различных замедлителей реакции (6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батыршин Э.С., Николаев А.А., Николаева Д.Р., Тимиров Ю.И., Саметов С.П. Новые сведения о кинетике реакции соляная кислота — карбонатная порода при наличии примесей сепиолита/пальгорскита. Нефтяное хозяйство. 2024. № 8. С. 42—47. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-8-42-47
2. Галкин В.И., Колтырин А.Н. Обоснование прогнозной величины прироста дебита нефти после применения ГТМ с помощью статистического метода. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 2. С. 81—86. DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3857
3. Гилязетдинов Р.А., Кулешова Л.С. О влиянии показателей неоднородности на эффективность прогнозирования коэффициента продуктивности (на примере залежей в карбонатных коллекторах Урало-Поволжья). Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. № 2(87). С. 170—179. DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-2-170-179
4. Гилязетдинов Р.А., Кулешова Л.С., Мухаметшин В.Ш. Снижение рисков при разработке трудноизвлекаемых запасов жидких углеводородов с использованием комплексного анализа геолого-промысловых данных. Известия Уральского государственного горного университета. 2024. № 1(73). С. 106—113. DOI: 10.21440/2307-2091-2024-1-106-113
5. Глущенко В.Н., Хижняк Г.П., Мелехин А.А. Перспективные направления совершенствования кислотных составов и методов воздействия на призабойную зону пласта. Недропользование. 2023. Т. 23. № 3. С. 122—132. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.3.3
6. Дерендяев Р.А., Новиков В.А. Обоснование выбора скважин для проведения бесподходных кислотных обработок и прогнозирования технологической эффективности мероприятий. Нефтепромысловое дело. 2022. № 3(639). С. 31—40. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-31-40
7. Дзюбенко А.И., Жемчугова Т.А., Черных И.А. Информационный способ выбора действующих скважин для проведения на них геолого-технологических мероприятий. Недропользование. 2023. Т. 23. № 2. С. 77—84. DOI: 10.15593/2712-8008/2023.2.4
8. Дьячков А.А., Галимов Р.Г., Фуфаев С.А. Влияние снижения забойного давления ниже давления насыщения на коэффициент продуктивности в условиях низкопроницаемых коллекторов тюменской свиты на примере месторождения Шаимского района. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2023. № 10(382). С. 42—48. DOI: 10.33285/2413-5011-2023-10(382)-42-48
9. Ерохин Г.С., Нуров С.Р., Вагизов А.М., Гареев А.Т., Азарова Т.П., Якупов Р.Ф. Эффективность системы поддержания пластового давления и пути ее совершенствования на каширо-подольских отложениях Арланского месторождения. Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 7. С. 44—48. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-7-44-48
10. Кулаков Д.П., Хадимуллин Р.Р. Особенности проведения геолого-технических мероприятий в условиях карбонатного коллектора с непроницаемой матрицей. Нефтяное хозяйство. 2023. № 7. С. 31—35. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-7-31-35
11. Мухаметшин В.В., Кулешова Л.С., Гилязетдинов Р.А., Кириллов А.И. О необходимости снятия неопределенностей при использовании геолого-промысловой информации для оценки продуктивности залежей. Нефть. Газ. Новации. 2024. № 3(280). С. 58—64.
12. Наугольнов М.В., Растегаева Е.В., Зулькарнцев Р.З., Асмандияров Р.Н. Факторный анализ успешности геолого-технических мероприятий как инструмент повышения качества геолого-гидродинамических моделей. ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2019. № 1(11). С. 34—38. DOI: 10.24887/2587-7399-2019-1-34-38
13. Никитина О.В., Кучерова Е.А., Санникова Ю.О. Анализ комплекса технологических решений по заканчиванию и освоению нефтяных скважин с трудноизвлекаемыми запасами. Управление техносферой. 2023. Т. 6. № 2. С. 259—272. DOI: 10.34828/UdSU.2023.74.64.011
14. Сидоров С.В., Ризванова З.М. Обоснование граничных значений открытой пористости и газопроницаемости с использованием данных потоковых исследований для карбонатных коллекторов порового типа. Георесурсы. 2023. Т. 25. № 4. С. 115—120. DOI: 10.18599/grs.2023.4.8
15. Силин М.А., Магадова Л.А., Давлетшина Л.Ф., Юнусов Т.И. Хелатные реагенты в процессах стимуляции добычи в карбонатных коллекторах. Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20. № 3. С. 29—45. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-3-29-45
16. Харисов М.Н., Мухаметшин В.Ш., Малов А.Г., Якупов Р.Ф., Кулешова Л.С. Об определении коэффициента эффективности закачки в карбонатных коллекторах

месторождений Республики Башкортостан.
Нефтяное хозяйство. 2024. № 5. С. 116—120. DOI:
10.24887/0028-2448-2024-5-116-120

17. Юмачиков А.Б., Фудашкина М.В., Мальшаков Е.Н.,
Вилков М.Н., Хакимов И.И., Солодовников К.В.

Новые подходы к технологии обработки приза-
бойной зоны без постановки бригады ремонта
скважин. Известия высших учебных заведений.
Нефть и газ. 2024. № 3(165). С. 125—134. DOI:
10.31660/0445-0108-2024-3-125-134

REFERENCES

1. Batyrshina E.S., Nikolaev A.A., Nikolaeva D.R., Timirov Yu.I., Sametov S.P. New information on the kinetics of the hydrochloric acid — carbonate rock reaction in the presence of impurities of sepiolite/palygorskite. *Oil industry*. 2024. No. 8. P. 42—47. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-8-42-47
2. Galkin V.I., Koltyrin A.N. Substantiation of the predicted value of the increase in oil production after the use of GTM using a statistical method. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2023. Vol. 334. No. 2. P. 81—86. DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3857
3. Gilyazetdinov R.A., Kuleshova L.S. Influence of heterogeneity indicators on productivity index prediction efficiency (on example of carbonate reservoir deposits in the Ural-Volga region). *Earth sciences and subsoil use*. 2024. No. 47(2). P. 170—179 (In Russ.). DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-2-170-179
4. Gilyazetdinov R.A., Kuleshova L.S., Mukhametshin V.Sh. Risk reduction in the development of hard-to-recover reserves of liquid hydrocarbons using a comprehensive analysis of geological and field data. *Bulletin of the Ural State Mining University*. 2024. No. 1(73). P. 106—113 (In Russian). DOI: 10.21440/2307-2091-2024-1-106-113
5. Glushchenko V.N., Khizhnyak G.P., Melekhin A.A. Perspective Directions for Improving Acid Compositions and Methods of Influence on the Bottomhole Formation Zone. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2023. Vol. 23. No. 3. P. 122—132 (In Russian). DOI: 10.15593/2712-8008/2023.3.3
6. Derendyaev R.A., Novikov V.A. Substantiation of the choice of wells for conducting waste-free acid treatments and forecasting the technological effectiveness of measures. *Oilfield business*. 2022. No. 3(639). P. 31—40 (In Russian). DOI: 10.33285/0207-2351-2022-3(639)-31-40
7. Dziubenko A.I., Zhemchugova T.A., Chernykh I.A. Informational Method of Selecting Operating Wells for Stimulation. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2023. Vol. 23. No. 2. P. 77—84 (In Russian). DOI: 10.15593/2712-8008/2023.2.4
8. Dyachkov A.A., Galimov R.G., Fufaev S.A. The effect of reducing bottom-hole pressure below saturation pressure on the productivity coefficient in conditions of low-permeability reservoirs of the Tyumen formation on the example of the Shaimsky district deposit. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2023. No. 10(382). P. 42—48 (In Russian). DOI: 10.33285/2413-5011-2023-10(382)-42-48
9. Erokhin G.S., Nurov S.R., Vagizov A.M., Gareev A.T., Azarova T.P., Yakupov R.F. Efficiency of reservoir pressure maintenance system and ways to improve it on carbonate sediments of the Arlanskoye oil field // *Exposition Oil Gas*. 2023. No. 7. P. 44—48 (In Russian). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-7-44-48
10. Kulakov D.P., Khamidullin R.R. Features of geological and technical measures in the conditions of a carbonate reservoir with an impermeable matrix. *Oil industry*. 2023. No. 7. P. 31—35. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-7-31-35
11. Mukhametshin V.V., Kuleshova L.S., Gilyazetdinov R.A., Kirillov A.I. On the need to remove uncertainties when using geological and field information to assess the productivity of deposits. *Oil. Gas. Innovations*. 2024. No. 3(280). P. 58—64 (In Russian).
12. Naugolnov M.V., Rastegaeva E.V., Zulkarniev R.Z., Asmandiyarov R.N. Factor analysis of the success of geological and technical measures as a tool for improving the quality of geological and hydrodynamic models. *Proneft. Professionally about oil*. 2019. No. 1(11). P. 34—38 (In Russian). DOI: 10.24887/2587-7399-2019-1-34-38
13. Nikitina O.V., Kucheroва E.A., Sannikova Yu.O. Analysis of a complex of technological solutions for completion and development of oil wells with hard-to-recover reserves // *Management of the technosphere*. 2023. Vol. 6. No. 2. P. 259—272 (In Russian). DOI: 10.34828/UdSU.2023.74.64.011
14. Sidorov S.V., Rizvanova Z.M. Substantiation of the boundary values of open porosity and gas permeability using data from flow studies for pore-type carbonate reservoirs. *Georesources*. 2023.V. 25. No. 4. P. 115—120 (In Russian). DOI: 10.18599/grs.2023.4.8
15. Silin M.A., Magadova L.A., Davletshina L.F., Yunusov T.I. Chelate reagents in the processes of stimulation of production in carbonate reservoirs. *Oil and gas business*. 2022. Vol. 20. No. 3. P. 29—45 (In Russian). DOI: 10.17122/ngdelo-2022-3-29-45
16. Kharisov M.N., Mukhametshin V.Sh., Malov A.G., Yakupov R.F., Kuleshova L.S. On determining the efficiency coefficient of injection in carbonate reservoirs of deposits of the Republic of Bashkortostan. *Oil industry*. 2024. No. 5. P. 116—120. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-5-116-120
17. Yumachikov A.B., Fudashkina M.V., Malshakov E.N., Vilkov M.N., Khakimov I.I., Solodovnikov K.V. New approaches to the technology of acid treatment of the bottomhole zone without setting up of workover. *Oil and Gas Studies*. 2024. No. 3. P. 125—134 (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-3-125-134

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Малов А.Г. — внес вклад в работу при выводе эмпирической формулы определения объема обла- сти ПЗП с улучшенными ФЕС на основе известных данных давлений и объемов поглощения жидкости при различных операциях, обосновал необходи- мость детального изучения обработок с замедлите- лями реакции по результатам комплексного анали- за геолого-промысловых данных и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Кулешова Л.С. — разработала концепцию ста- тьи, сформировала научно-методическое обос- нование необходимости применения получен- ных моделей для решения задач повышения эффективности различных кислотных обработок, окончательно утвердила публикуемую версию ста- тьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гилязетдинов Р.А. — произвел построе- ние различных моделей и рисунков в статье, про- вел литературный анализ существующих подходов к вопросам, связанным с оценкой эффективности классических кислотных обработок и обработок с использованием интенсификаторов, и согласен принять на себя ответственность за все аспек- ты работы.

Якупов Р.Ф. — провел геолого-технологические обоснование необходимости повышения эффек- тивности реализации кислотных обработок в пре- делах залежей карбонатных коллекторов турней- ского яруса Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, внес вклад в разработку эмпириче- ских зависимостей определения результативности закачки агентов и согласен принять на себя ответ- ственность за все аспекты работы.

Alexander G. Malov — contributed to the work in deriving an empirical formula for determining the volume of a highly productive zone based on known pressure data and liquid absorption volumes during various operations, justified the need for a detailed study of treatments with reaction retarders based on the results of a comprehensive analysis of geological and field data and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Lyubov S. Kuleshova — developed the concept of the article, formed a scientific and methodological justification for the need to use the obtained models to solve problems of increasing the efficiency of var- ious acid treatments, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibil- ity for all aspects of the work.

Ruslan A. Gilyazetdinov — built various models and drawings in the article, conducted a literary analysis of existing approaches to issues related to evaluating the effectiveness of classical acid treat- ments and treatments using intensifiers and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Rustem F. Yakupov — conducted a geological and technological substantiation of the need to improve the efficiency of acid treatments within the depos- its of carbonate reservoirs of the Tournaisian tier of the Volga-Ural oil and gas province, contributed to the development of empirical dependencies for de- termining the effectiveness of pumping agents and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Малов Александр Геннадьевич — преподаватель кафедры разведки и разработки нефтяных и газо- вых месторождений Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной техни- ческий университет в г. Октябрьском».
54а, Девонская ул., г. Октябрьский 452607, Россия
e-mail: oioeliks@yandex.ru
SPIN-код: 4892-6001
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6714-5610>

Alexander G. Malov — Lecturer at the Department of Exploration and Development of Oil and Gas Fields, Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky Branch.
54a, Devonskaya str., Oktyabrsky 452607, Russia
e-mail: oioeliks@yandex.ru
SPIN-code: 4892-6001
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6714-5610>

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ / GEOLOGY AND EXPLORATION OF HYDROCARBON DEPOSITS

Кулешова Любовь Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет в г. Октябрьском».

54а, Девонская ул., г. Октябрьский 452607, Россия

e-mail: markl212@mail.ru

SPIN-код: 4274-3886

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2975-3666>

Гилязетдинов Руслан Альбертович* — научный сотрудник кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет в г. Октябрьском».

54а, Девонская ул., г. Октябрьский 452607, Россия

e-mail: gilyazetdinov_2023@mail.ru

SPIN-код: 1824-4198

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1931-7035>

Якупов Рустем Фазылович — кандидат технических наук, доцент кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений Института нефти и газа ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет в г. Октябрьском».

54а, Девонская ул., г. Октябрьский 452607, Россия

e-mail: rustem_geolog@mail.ru

SPIN-код: 3720-6843

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8666-7460>

Lyubov S. Kuleshova — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Oil and Gas Field Exploration and Development, Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky Branch.

54a, Devonskaya str., Oktyabrsky 452607, Russia

e-mail: markl212@mail.ru

SPIN-code: 4274-3886

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2975-3666>

Ruslan A. Gilyazetdinov* — Researcher of the Department of Oil and Gas Field Exploration and Development, Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky Branch.

54a, Devonskaya str., Oktyabrsky 452607, Russia

e-mail: gilyazetdinov_2023@mail.ru

SPIN-code: 1824-4198

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1931-7035>

Rustem F. Yakupov — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Oil and Gas Field Exploration and Development, Institute of Oil and Gas of the Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrsky Branch.

54a, Devonskaya str., Oktyabrsky 452607, Russia

e-mail: rustem_geolog@mail.ru

SPIN-code: 3720-6843

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8666-7460>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОСТРОВА ИТУРУП И ЕГО ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ

А.К. НАРАВАС, В.В. ДЬЯКОНОВ*, Н.А. ПОГРЕБС

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изложена история открытия Курильского архипелага и основные геологические особенности его строения с позиции развития палеовулканических сооружений; особенности магматического строения острова Итуруп. Изложены перспективы промышленной рудной минерализации и индустриального развития.

Цель. Привлечь внимание инвесторов к проблеме развития промышленной инфраструктуры острова Итуруп, занимающего выгодное положение в этой экономической зоне.

Материалы и методы. Проведен анализ существующих материалов по истории освоения, геологическому строению и перспективам развития энергетической и горнодобывающей отраслей промышленности.

Результаты. Стратиформные месторождения свинца и цинка являются одновозрастными (олигоцен) независимо от возраста вмещающих карбонатных пород.

Заключение. Остров Итуруп является перспективным и надежным местом для развития энергетической отрасли на базе геотермальной деятельности, широко представленной в вулканических структурах острова. Это даст толчок к развитию добычи минеральных ресурсов.

Ключевые слова: островная дуга, остров Итуруп — ОИ, вулканизм, сера, рений, геотермальная энергетика

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Наравас А.К., Дьяконов В.В., Погребс Н.А. Геологическое строение острова Итуруп и его промышленное освоение. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):41—48. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-41-48> EDN: [EUFPXO](https://www.edn.ru/EUFPXO)

Статья поступила в редакцию 01.03.2024

Принята к публикации 18.02.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

GEOLOGICAL STRUCTURE AND INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF ITURUP ISLAND

ANTON K. NARAVAS, VICTOR V. DYAKONOV*, NATALIA A. POGREBS

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. The history of the Archipelago of Kuril Islands and its geological structure are discussed from the perspective of the development of paleovolcanic structures. The magmatic

Известия высших учебных заведений
Геология и разведка
2025;67(1):41—48

structure of Iturup Island is analyzed. Prospects for industrial ore mineralization and industrial development are outlined.

Aim. To attract the attention of investors to the problem of developing the industrial infrastructure of Iturup Island, which occupies a favorable position in this economic area.

Materials and methods. Available materials on the history of exploration, geological structure, and industrial prospects of the area under study are reviewed.

Results. Stratiform deposits of lead and zinc are of the same age (Oligocene), regardless of the age of the host carbonate rocks.

Conclusion. The geothermal activity of Iturup Island, widely represented in its volcanic structures, is a promising site for the development of the energy industry and extraction of mineral resources.

Keywords: island arc, Iturup Island, volcanism, sulfur, rhenium, geothermal energy

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Naravas A.K., Dyakonov V.V., Pogrebs N.A. Geological structure and industrial development of Iturup Island. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):41—48. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-41-48> EDN: [EUFPXO](#)

Manuscript received 01 March 2024

Accepted 18 February 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

История открытий, изучения и заселения

Курильские острова долгое время не были известны и объединялись в довольно неопределенное понятие Эзо (северные земли). На японской карте, датируемой 1730 г., Курил еще нет вообще. Видимо, к середине XVIII столетия японцы продвинулись только по побережью Матмая. Судя по японским источникам, приводимым в книге А. Позднеева (1909), о существовании островов Кунашир и Итуруп в Японии стало известно после 1750 г. По описанию сотника И. Чёрного, незадолго до его путешествия в середине 60-х годов XVIII столетия японцы стали посещать о-в Кунашир. Остров Итуруп (ОИ), по-видимому, был одновременно посещен И. Чёрным и японцами. На о-ве Уруп первый японец-чиновник Могамы Токунаи побывал в 1786 г., а более северные острова были посещены позже, только в XIX столетии. В 1799 г. японцы начали колонизировать Итуруп (Эторофу — яп.). Наконец, между Японией и Россией была установлена граница по проливу, разделяющему острова Уруп и Итуруп. По Симодскому трактату от 26.01.1855 эта граница была признана юридически.

После итогам окончания Второй мировой войны в 1945 г. все Курильские острова были включены в состав СССР. Оспариваемая японцами территория на сегодня составляет 5 тыс. кв. км, а с учетом 200-мильной экономической зоны — уже 200 тыс. кв. км.

Геология Курило-Камчатской зоны

Проблема происхождения и развития островных дуг в последние десятилетия привлекает к себе пристальное внимание ученых. После изучения Курильских островов постепенно появилась концепция о «сквозькоровом» характере вулканизма, о его связи непосредственно с большими глубинами — с верхней мантией Земли.

В районе Курило-Камчатской зоны наблюдаются многие геологические аномалии: мощные колебательные движения земной коры; наивысшая сейсмическая активность из всей территории России; аномально высокие значения силы тяжести и магнитного поля, а также самое разнообразное и сложное строение недр [4].

Детали строения подводной части Курильской гряды островов, дна Охотского моря и прилегающих частей Тихого океана были изучены главным образом экспедициями Института океанологии АН СССР на э/с «Витязь» в 1949—1959 гг. (Безруков, Удинцев, 1954; Удинцев, 1954, 1955, 1957; Канаев и Ларина, 1959; Затонский и др., 1961; Горшков, 1967).

Цепь Курильских островов протягивается от южной оконечности Камчатки до о-ва Хоккайдо, как бы объединяя эти две области и в то же время отделяя внутреннее Охотское море от Тихого океана. В целом гряда островов образует слегка

выпуклую к Ю-В дугу, которая входит в систему островных дуг, опоясывающих с востока материк Азии. Наблюдается разделение на внутреннюю Большую и внешнюю Малую Курильские гряды. Гряда Малых Курильских островов опирается на хребет Витязь, также сложенного вулканическими породами мезо-кайнозойского возраста. Все острова Курильской гряды по существу являются только вершинами крупного магматического сооружения, скрытого ниже уровня моря.

Малая Курильская гряда является продолжением п-ова Немуро (о-ва Хоккайдо) и тянется в С-В направлении на 105 км. Сюда входит 8 небольших островков (Танфильева, Анучина, Юрий, Дёмина, Зелёный, Полонского, Лисьи и Шишки) высотой не более 30—40 м и о-в Шикотан, имеющий довольно значительные размеры (9×28 км) и высоту 413 м. Далее к С-В от о-ва Шикотан тянется подводный хребет Витязь.

Большая Курильская гряда протягивается на 1150 км от мыса Лопатки на Камчатке до п-ва Сиретоко на Хоккайдо; сюда входит 16 более или менее крупных островов и ряд скал, из которых скалы Каменные Ловушки обычно также прибавляют к числу островов. Особенности подводного рельефа, строение земной коры и морфология островов позволяют разбить Большую Курильскую гряду на три части: северную, центральную и южную. В свою очередь, Северные Курильские острова широким Четвертым Курильским проливом делятся на две части — северную и южную.

Ряд островов, лежащих к западу от основной цепи (Алаид, Ширинки, Маканруши, скалы Авось, Экарма, Чиринкотан и Броутона), обычно также относят к Большой Курильской гряде, однако детали подводного рельефа и петрохимические отличия их позволяют выделить эту группу островов как самостоятельную — Западную зону Большой Курильской гряды.

Самые крупные российские острова Курильского архипелага — Итуруп, Парамушир и Кунашир.

Вулканизм в пределах Курило-Камчатской области выступает как важнейший рельефообразующий фактор наряду с тектоникой, создающей аккумулятивные вулканические горы [1].

У берегов большинства островов Большой Курильской гряды отчетливо выражена береговая отмель, край которой расположен на глубине в среднем 130—140 м.

Со стороны Охотского моря хребет Витязь чётко ограничен глубоководной Курильской котловиной. Склоны хребта имеют сравнительно крутой уклон (до 10—20°). Местами переход ко дну котловины выра-

жен довольно резким переломом, но в большинстве случаев склоны хребта в нижней части выхолаживаются и постепенно переходят в дно котловины. Магматические породы хребта Витязь в целом представлены базальтами и андезитами.

Плоское дно котловины имеет очертания сильно вытянутой плоскости С-В простирания шириной около 70 км и длиной около 1500 км. Максимальной глубины Курильская котловина достигает в месте к Ю-В от пролива Буссоль, глубиной до 9717 м (рис. 1).

Превышение вулканов в этой части дуги над дном желоба составляет более 10 км.

Курило-Камчатский жёлоб имеет пологий V-образный поперечный профиль. Средняя глубина дна желоба 7,5—8 км. Северо-западный склон достигает высоты 6—8 км, а юго-восточный — всего 2—3 км. Крутизна склонов хребта Витязь в верхней части не превышает 5—6°. С глубины ниже 2000 м. склоны повсеместно разбиты тектоническими уступами и ступенями. Склоны уступов достигают уклонов в 45° и более, а на поверхности ступеней уклон составляет всего несколько минут. Почти повсюду дно жёлоба представляет узкую ровную поверхность аккумулятивного выравнивания. Самое глубокое место представляет собой локальную конусообразную котловину С-В простирания, с плоским дном, шириной до 1 км и в средней части не превышает 5 км, лишь к поверхности расширяясь до 8—10 км.

Подводная вулканическая деятельность в пределах Охотоморского склона Курильского архипелага представлена 126 подводными вулканическими сооружениями. В пределах Охотского моря (за пределами Курильской котловины) действующих вулканов пока не выявлено. Но магматическая деятельность в Охотском море носит непрерывный характер с позднего мела до сегодняшнего дня. Чётко устанавливаются два этапа вулканизма — с раннемелового базальт-андезитового состава, сменившегося в конце позднего мела — дацит-риолитовым.

В Тихоокеанской акватории, прилегающей к Курильскому архипелагу, вулканических сооружений не меньше, чем в акватории Охотского моря. Как отмечали американские подводники — многочисленные вулканические сооружения мешают безопасному передвижению подводных лодок и уже зафиксированы несколько столкновений. Это подстегнуло к проведению детальных радарных исследований в этом регионе. Все острова, выходящие на поверхность сложены магматическими породами (Апродов, 1982). Кстати, действующие

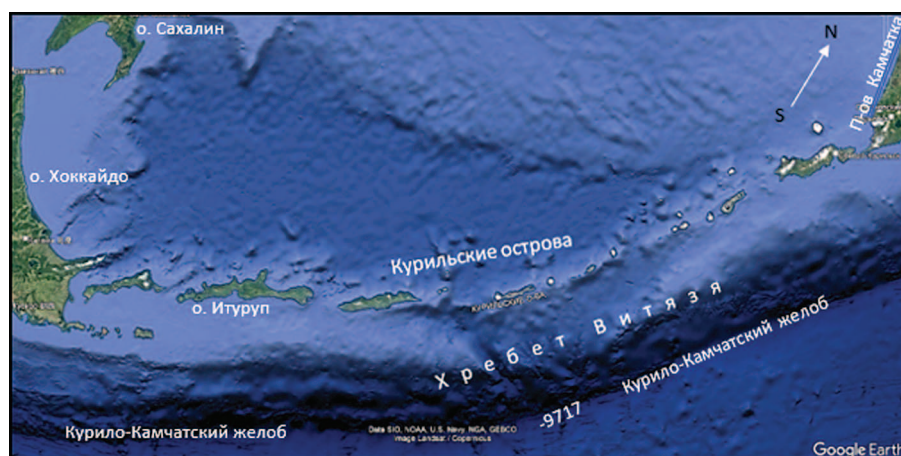


Рис. 1. Элементы строения Курильской островной дуги
Fig. 1. Structural elements of the Kuril Island arc

подводные вулканы обнаружены сегодня даже на дне Марианской впадины. Так, действующий вулкан Дайкоку расположился в самом глубоком месте, и он там не одинок (Global Volcanism Program, Daikoku 2024).

Остров Итуруп (ОИ) самый большой на архипелаге, располагается в южной оконечности Курильской островной гряды, вытянут на 200 км, при ширине 7—27 км [5]. Покрит геологической съемкой 1:200 000 1950-х годов и частично 1:50 000.

На берегу Курильского залива в центральной его части расположен г. Курильск — единственный городской населённый пункт и административный центр района, где проживает около 10 тысяч жителей. Кроме этого, имеется десяток мелких жилых посёлков. ОИ из космоса имеет отчётливо вытянутый облик в С-В направлении (Рис. 2), с хорошо различимыми вулканическими конусами, вытянутых в С-В направлении. Всего насчитывается 20 конусов, из них 9 являются действующими (Чирип, Кудрявый и др.). Высота их от поверхности океана колеблется от 500 до 1600 м.

Всего насчитывается 20 конусов, из них 9 являются действующими (Чирип, Кудрявый и др.). Высота их от поверхности океана колеблется от 500 до 1600 м.

В геологическом разрезе развиты преимущественно нижнеплиоценовые и четвертичные вулканы кислого риолит-дацитового состава, базальтовые породы и в меньшей степени лавы базальт-андезитового состава. Экструзивные купола и часть даек представлены риолитами. В петрохимическом отношении все магматические образования относятся к известково-щелочной магматической серии.

Купол сооружение ОИ в начале четвертичного периода был в основном выведен выше уровня моря и четвертичные излияния эффузивов сформировали практически всю дневную поверхность вулканического острова [3].

Важное вулканическое сооружение на ОИ — «вулкан» Медвежий [7], расположен в крайней С-В части острова (Рис. 2).

Морфология и строение вулкана Медвежий достаточно подробно рассмотрены В.Ф. Остапенко [7], проводившим полевые исследования на вулкане в 1964–1967 годах. В целом вулканическое сооружение имеет сложное строение. В состав его входят: обширная кальдера, окруженная ярко выраженной соммой, в пределах которой располагаются экструзивные купола и вулканические конусы — Кудрявый, гора Медвежья и др.

Вулканический конус Кудрявый характеризуется общим андезитовым составом и двумя мощными голоценовыми потоками базальтов. Его вершинная часть вытянута в широтном направлении. В его вершинной части различают по меньшей мере пять кратеров с разной степенью разрушенности. Лучше всех сохранился кратер с высокотемпературными полями, что дало повод некоторым исследователям выделить его как отдельный вулкан с названием Тукап.

Все проявления фумарольной активности вулканического конуса Кудрявый делятся по температуре на несколько групп. Наиболее высокотемпературные относятся к экструзии пузырчатых андезитов в С-В кратере («Главное» поле) на площади в 7,7 тыс. кв. м. Эти фумаролы характеризуются преимущественно сернисто-хлоридно-водородно-углекислым составом. «Низкотемпературные» фумарольные поля включают отдельные прогретые площадки размером

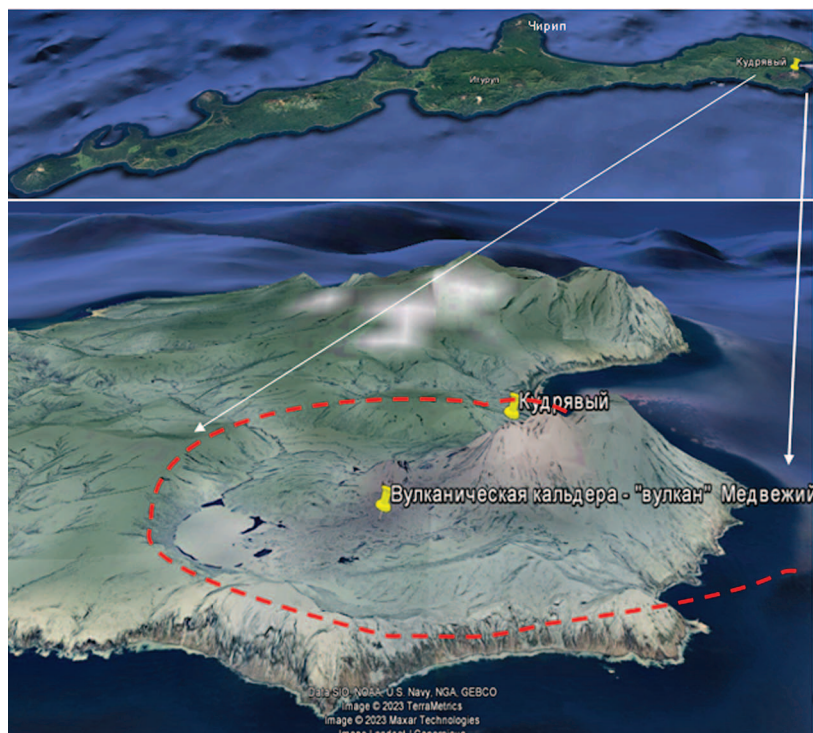


Рис. 2. Остров Итуруп. Вулканическая кальдера — «вулкан» Медвежий. Вулканический конус — Кудрявый. Красный пунктир — сомма вулканической кальдеры — «вулкан» Медвежий

Fig. 2. Iturup Island. The volcanic caldera is the «volcano» of the Bear. The volcanic cone is Curly. The red dotted line is the somme of the volcanic caldera — the «volcano» of the Bear

4—11 тыс. кв. м, где паро-газовые струи имеют температуру 145—210 °С. «Среднее» (рениевое) фумарольное поле занимает площадь около 1,2 тыс. кв. м. Его паро-газовые струи имеют температуру 500—620 °С. Возгонам «средних» фумарол в целом присуща наибольшая металлоносность. При этом скорость истечения газов составляет от нескольких метров до 50 м/сек.

Богатая рениевая минерализация обнаруживается там, где максимальные температуры фумарольных струй предположительно указывают на зону разлома, трассирующуюся в С-З направлении. Содержание рения местами превышает 0,1%. Минеральный состав сублиматов весьма разнообразен и пока определён недостаточно. Установлено наличие также самородного рения, обнаруженного микрозондовым анализом М.Б. Рафальсоном в 1975 г. в виде микровключений (10—25 мкм) в вольфрамите.

На острове Итуруп обнаружены масса проявлений и месторождений других полезных ископаемых: самородной серы (на месторождении Медвежье разрабатывалось ещё до второй мировой войны), пространственно совпадающее с редкометалльным рудопроявлением Кудрявое; крупная Ручарская россыпь титаномаг-

нетитовых песков; повсеместно стройматериалов (строительный камень, пески и др.); геотермальных ресурсов (на вулкане Баранского и др.), руд цветных и драгоценных металлов.

В настоящее время сохранились остатки старой обогатительной фабрики, канатной дороги от месторождения Медвежье к причалам (5,5 км) бывшего пос. Мойро (урочище Медвежье) в бухту Медвежья и вьючной тропы — к заброшенному посёлку в истоке ручья бухты Зевок. По словам старожилов ОИ, минеральное сырьё добывалось примитивно с применением трубчатых сосудов — «вёдер», вставляемых в устья действующих фумарол и периодически (в 1,5—2 месяца) заменявшихся новыми по мере наполнения их сублиматами.

Электроэнергия

При освоении ОИ немногочисленное население столкнулось с недостатком электроэнергии, при цене более 60 руб./кВт (дизель-электростанции). С другой стороны, есть мировой опыт использования геотермальной энергии. Геотермальные источники возобновляемые и требуют оборудования по двухконтурной схеме для получения электроэнергии. Например, в Исландии 80%

электроэнергии получают посредством геотермии, не считая горячую воду для обогрева жилищ и даже тротуаров. В России также есть практический положительный опыт использования геотермальной энергии на Камчатке (Мутновская ГеоЭС, 1997 г., в 116 км от г. Петропавловск-Камчатский, ОАО «Геотерм») [2], где 30% потребности в электричестве на полуострове покрывается за счёт геотермии, при себестоимости 3,36 руб./кВт [10].

На ОИ ранее уже были попытки использования геотермальной энергии, однако одноконтурная схема оборудования привела к быстрому обрастанию его минеральными образованиями и выходу из строя. В настоящее время опять формируется попытка освоить геотермию по причине потенциально высокой её эффективности. При этом встаёт вопрос, где бурить скважины на горячую природную воду? Так, для установки Мутновской ГеоЭС потребовалось бурение 90 дорогостоящих глубоких разведочных скважин, пока не попали в оптимальные условия. То есть бурили часто на авось. При этом затраты составили 506 млн руб., при глубине скважин от 600 до 2500 м. На сегодня рабочая вода имеет температуру 150 °С, при количестве 1 000 т/час. Общие запасы горячей воды оцениваются в 300 МВт с возможностью увеличения ресурсов.

В 1990-е годы на ОИ в районе «Океанского» гидротермального месторождения пробурена опорная скважина глубиной 1 600 м при участии Института вулканологии ДВО РАН и других научных организаций [8, 9]. В результате на глубоких горизонтах обнаружена горячая вода с температурой 180—200 °С. На сегодня ведётся строительство «Океанская» ГеоТЭС мощностью 34,55 МВт.

Нами дистанционно обследован район вблизи г. Курильска на склоне близлежащего вулкана Чирип (высота 1 589 м) на одноименном полуострове [6]. Эта вулканическая постройка разбита радиальными разломами, которые перекрыты четвертичными лавами. Указанные разломы несут горячие воды с температурой в зависимости от глубины и местоположения. Так, в северном направлении на расстоянии 2,5 км от г. Курильска в тектоническом разломе на склоне вулкана, на глубине всего 60 м ожидается температура воды около 150 °С, а на глубине 150 м — около 200 °С. При подтверждении этого прогноза специализированным бурением создается благоприятная ситуация для освоения геотермальных вод в достаточном количестве. В районе вулканического конуса Кудрявый с учётом высоких температур фумарол энергетический потенциал ОИ станет просто колоссальный.

Полезные ископаемые

Геотермальные источники, позволяющие неограниченно извлекать электроэнергию из горячей воды и пара в районах действующих и потухших вулканов.

Питьевая вода обнаружена в достаточном количестве и даже впадает открытыми водопадами в Тихий океан.

Строительные материалы находятся повсеместно в виде неограниченных запасов песка, скальных базальтов и риолитов.

Самородная сера в виде большого числа месторождений широко распространена на острове, эти месторождения в совокупности считаются крупнейшими в России. Так, самое известное месторождение «Новое» расположено на западном склоне хребта Богатырь в 23 км от п. Буревестник. По результатам предварительной разведки планировалось создание предприятия мощностью до 300 000 т серы в год. На месторождении «Океанское» вблизи от г. Курильска изучены 4 участка с наличием серных руд: Кратерный, Верхнее фумарольное поле, Кипящая речка и Старозаводское. Наибольший интерес представляют последние два.

Рений открыт в 1992 г. на вулкане Кудрявый, который выделяется из действующих фумарол [9]. Ежегодный выброс рения, крупнейший в России, достигает около 20 т в год, что составляет половину мировой добычи в год при цене 3,5 тыс. долл. США за 1 кг. Применяется в качестве катализатора, для создания покрытий от агрессивных сред и т.д. Так, потребность только США в год составляет более 30 т. Перспективны также **титаномагнетитовые пески**, проявления **висмута, скандия, германия, серебра, золота и селена**.

Выводы

1. Остров Итуруп, как самый крупный из островов современной островной дуги Курило-Камчатской зоны образован сложным комплексом вулканогенных пород мел-четвертичного возраста в основном базальт-риолитового состава с гомодромной последовательностью извержения продуктов магматизма.

2. В части полезных ископаемых остров Итуруп представляет большой практический интерес, в том числе сера и рений. При этом, что важно, многие природные ресурсы, включая гидротермальные ресурсы, пресную воду, серу и рений, возобновляемые.

3. В отношении энергетических возможностей налицо колоссальные запасы гидротермальных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондоренко В.И. и др. Подводная вулканическая активность в пределах Охотоморского склона Курильской островной дуги. Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. № 4(23). С. 51. — DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art51. — EDN YTHIVN.
2. Бритвин О.В., Поваров О.А., Ключков Е.Ф., Томаров Г.В., Кошкин Н.Л., Лузин В.Е. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке. Теплоэнергетика. 2001. № 2. С. 4–10. EDN WWXZED.
3. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967.
4. Горячев А.В. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М.: Наука, 1966. 235 с.
5. Корсунская Г.В. Курильская островная дуга. М.: Географгиз, 1958.
6. Наравас А.К. Дистанционный поиск месторождений. М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2019. 120 с.
7. Остапенко В.Ф. Морфология и строение кальдерного вулкана Медвежий (остров Итуруп, Курильские острова). Известия Сахалинского отдела Географического общества СССР. Ю.-Сахалинск: ДВ книжное изд-во, 1970. Вып. 1. С. 99—108.
8. Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Гончаренко О.П. и др. Температурная и минералого-геохимическая характеристика геотермального месторождения Океанское (о-в Итуруп). Геология рудных месторождений. 1993, том 33, № 5, с.405—417.
9. Соматоин Н.Д., Магазина Л.О., Знаменский В.С. Структурно-морфологические характеристики природного дисульфида рения из фумарол вулкана Кудрявый. Докл. РАН. 1995. Т. 345. №4. с. 518–522
10. Мутновская ГеоГЭС на Камчатке: особенности использования энергии гейзеров [Электронный ресурс]. 2011. URL: <https://kamchatkaland.ru/note/mutnovskaja-geotermalnaja-stancija> (дата обращения 18.03.2025)

REFERENCES

1. Bondarenko V.I., Rashidov V.A. Underwater volcanic activity on the Okhotsk side of the Kuril Island Arc. (In Russ.). <http://oilgasjournal.ru>
2. Britvin O.V., Povarov O.A., Klochkov E.F., Luzin V.E., Koshkin N.L., Tomarov G.V. The Mutnovsk geothermal power complex in Kamchatka. Thermal Engineering. 2001. Vol. 48, No. 2 P. 89—95. EDN LGLTHF. (In Russ.).
3. Gorshkov G.S. Volcanism of the Kuril Island arc. Moscow: Nauka, 1967 (In Russ.).
4. Goryachev A.V. Basic patterns of tectonic development of the Kuril-Kamchatka zone. Moscow: Nauka, 1966. 235 p. (In Russ.).
5. Korsunskaya G.V. Kuril island arc. Moscow: Geografiz, 1958 (In Russ.).
6. Naravas A.K. Remote prospecting of deposits. Moscow: Kim L.A. Publ. house, 2019. 120 p. (In Russ.).
7. Ostapenko V.F. Morphology and structure of the Medvezhy caldera volcano (Iturup Island, Kuril Islands). Proceedings of the Sakhalin Department of the Geographical Society of the USSR. Yu.-Sakhalinsk: DV Book Publishing House, 1970. Iss. 1. P. 99—108 (In Russ.).
8. Somatoin N.D., Shop L.O., Znamensky V.S. Structural and morphological characteristics of natural rhenium disulfide from the fumaroles of Kudryavy volcano. Bull. RAN. 1995. Vol. 345. No. 4. P. 518—5228 (In Russ.).
9. Levagov S.N., et al. Temperature and mineralogical and geochemical characteristics of the Oceanskoe geothermal deposit (Iturup Island). Geology of ore deposits. 1993. Vol. 33. No. 5. P. 405—417 (In Russ.).
10. Mutnovskaya GeoHPP in Kamchatka: features of geyser energy use, On-line Bulletin, 2011. Available from: <https://kamchatkaland.ru/note/mutnovskaja-geotermalnaja-stancija> (last accessed 18.03.2025).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Наравас А.К. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Дьяконов В.В. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Погребс Н.А. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Anton K. Naravas — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Viktor B. Dyakonov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Natalia A. Pogrebs — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Наравас Антон Казимирович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: anaravas@mail.ru
тел.: +7 (903) 976-37-98
SPIN-код: 6228-4008
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3661-3894>

Anton K. Naravas — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor at Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya St., Moscow 117997, Russia
e-mail: anaravas@mail.ru
tel.: +7 (903) 976-37-98
SPIN-code: 6228-4008
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3661-3894>

Дьяконов Виктор Васильевич* — доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой Общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: mdf.rudn@mail.ru
SPIN-код: 8780-8588
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9153-6489>

Viktor V. Dyakonov* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Head of the Department of General Geology and Geological Mapping. Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya St., Moscow 117997, Russia
e-mail: mdf.rudn@mail.ru
SPIN-code: 8780-8588
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9153-6489>

Погребс Наталья Анатольевна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: pogrebsna@mail.ru
SPIN-код: 8133-6244
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9412-1434>

Natalia A. Pogrebs — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor at the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya St., Moscow 117997, Russia
e-mail: pogrebsna@mail.ru
SPIN-code: 8133-6244
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9412-1434>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПЕРВАЯ НАХОДКА ГИББСИТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БИРЮЗЫ БИРЮЗАКАН, СЕВЕРНЫЙ ТАДЖИКИСТАН

Ш.Т. ВОСИХОВ^{1,*}, А.К. ЛИТВИНЕНКО¹, М.А. РАССОМАХИН²

¹ ФГБУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

² ФГБУН «Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения
Российской академии наук»
территория Ильменский Заповедник, 1, г. Миасс, 456317, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В кварцевых жилах месторождения бирюзы Бирюзакан нами была впервые установлена гидротермальная минерализация разноцветного гиббсита: от светло- до темно-голубого цвета, очень похожего на бирюзу.

Целью исследования является минералогическое изучение гиббсита.

Объектом является жильный комплекс месторождения бирюзы Бирюзакан, содержащий гиббсит.

Материалы и методы исследования. Изучался каменный материал с месторождения бирюзы Бирюзакан (северная часть Республики Таджикистан), отобранный при полевых работах 2023 года, в котором был обнаружен гиббсит. Он диагностирован двумя методами: 1) рентгенофазовым анализом на дифрактометре ДРОН-4-07, с Си-анодом и Ni-фильтром, U — 35 кВ, I — 20 мА, скорость съемки — 1 град./мин., внутренний стандарт кварц (аналитик М. Саймудасири, МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе); 2) рентгеноспектральным микроанализом на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3sbu с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Oxford Instruments X-act. Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 20 нА, время набора спектра 120 с, с использованием эталонов сертифицированного стандарта № 1362 (Microanalysis Consultants Ltd), MINM25-53 (Astimes Scientific Limited, серийный номер 01-044).

Результаты. Нами в составе жильных образований месторождения Бирюзакан установлен гиббсит — гидрооксид алюминия. Изучен его фазовый и химический составы. Гиббситовые жилы Бирюзакана и, возможно, золоторудного месторождения Бургунды отнесены к алунитовой формации низкотемпературных гидротермальных образований.

Заключение. Ярко-голубой гиббсит Бирюзакана, вероятно, ранее встречался геологам, отработавшим месторождение на бирюзу. При диагностике некоторых голубых образцов и вставок бирюзы может быть совершена ошибка, так как голубой гиббсит легко визуально можно спутать с высокосортной бирюзой. Наша находка гиббсита расширяет спектр минеральных ассоциаций известного геологического объекта и ставит задачу проверки бирюзы, добытой ранее, и изделий из нее. Обнаруженный гиббсит характеризуется сложным изоморфизмом: более 17% примесей, включая медь, марганец и фтор (около 5%).

Ключевые слова: гиббсит, Бирюзакан, Карамазар, Северный Таджикистан, жильная система, изоморфизм, алунитовая формация, низкотемпературные гидротермальные жилы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Восихов Ш.Т., Литвиненко А.К., Рассомахин М.А. Первая находка гиббсита на месторождении бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):49—55. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-49-55> EDN: [FUMKIS](https://www.edn.ru/FUMKIS)

Статья поступила в редакцию 14.07.2024
Принята к публикации 11.03.2025
Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

FIRST DISCOVERY OF GIBBSITE IN BIRYUZAKAN TURQUOISE DEPOSIT, NORTHERN TAJIKISTAN

SHOHRUKH T. VOSIHOV^{1,*}, ANDREY K. LITVINENKO¹, MIKHAIL A. RASSOMAKHIN²

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

² South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy
territory of Ilmensky Reserve, 1 Miass, 456317, Russia

ABSTRACT

Background. In the quartz veins of the Biryuzakan turquoise deposit, a hydrothermal mineralization of varicolored gibbsite was discovered for the first time. The gibbsite varies from light- to dark blue in color, resembling turquoise.

Aim. To conduct a mineralogical study of the gibbsite contained the Biryuzakan vein turquoise deposit.

Materials and methods. Stone samples from the Biryuzakan turquoise deposit (northern part of the Republic of Tajikistan), where gibbsite had been found, were collected during fieldworks in 2023. The samples were studied using (1) X-ray phase analysis by a DRON-4-07 diffractometer, with a Cu-anode and a Ni-filter, U — 35 kV, I — 20 mA, imaging speed — 1 deg/min, internal standard — quartz (analyst M. Saimudasiri, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting) and (2) X-ray microanalysis by a Tescan VEGA 3sbu scanning electron microscope equipped with an Oxford Instruments X-act energy dispersive spectrometer (EDS). The analytical conditions were as follows: accelerating voltage — 20 kV, beam current — 20 nA, spectrum acquisition time — 120 s, Certified Standard No. 1362 (Microanalysis Consultants Ltd), MINM25-53 (Astimes Scientific Limited, serial number 01-044) etalons.

Results. In the composition of vein formations of the Biryuzakan deposit, we established the presence of gibbsite — aluminum hydroxide — and studied its phase and chemical compositions. The gibbsite veins of Biryuzakan and, possibly, of the Burgundy gold deposit can be attributed to the alunite formation of low-temperature hydrothermal veins.

Conclusion. The bright blue gibbsite of Biryuzakan might have been encountered previously by geologists investigating the deposit for the presence of turquoise. When examining blue samples, turquoise inserts might be misdiagnosed, since blue gibbsite can be visually confused with high-grade turquoise. Our discovery of gibbsite extends the spectrum of mineral associations of the geological object under study and sets the task of inspecting the turquoise mined earlier and products therefrom. The discovered gibbsite is characterized by a complex isomorphism: more than 17% of impurities, including copper, manganese and fluorine (about 5%).

Keywords: gibbsite, Biryuzakan, Karamazar, Northern Tajikistan, vein system, isomorphism, alunite formation, low-temperature hydrothermal veins

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Vosihov Sh.T., Litvinenko A.K., Rassomakhin M.A. First discovery of gibbsite in Biryuzakan turquoise deposit, Northern Tajikistan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):49—55. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-49-55> EDN: FUMKIS

Manuscript received 14 July 2024

Accepted 11 March 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Размещение объекта исследования

Месторождение Бирюзакан находится на южном склоне Кураминского хребта в центре крупнейшего горнорудного района Карамазар. Эта территория входит в состав Срединного Тянь-Шаня — каледонской структуры Урало-Монгольского горно-складчатого пояса.

Бирюзовая минерализация с гиббситом локализована в лежащем контакте Бирюзового разлома в зоне «оперяющих» его трещин. Подробный анализ месторождения проведен авторами ранее [2]. В комплексе жильных образований доминируют жилы, сложенные различными кристалломорфологическими разновидностями кварца, которые секут аповулканические метасоматиты: осветленные, пропилитизированные породы [3].

Мощность бирюзовых жил составляет 2—3 см, протяженность 7—12 м. Иногда встречается вкрапленная форма бирюзы: желваки, прожилки, линзы до первых сантиметров. Гиббсит был обнаружен в жильном кварце с малахитом. В них он образует небольшие самостоятельные жилки длиной до нескольких сантиметров и мощностью до 0,5 см, от светло-серого до голубого цвета (рис. 1). Контакты между гиббситом разного цвета волнистые, но резкие.

Поверхность гиббситовых агрегатов почковидная, приближающаяся к сферолитам (рис. 2). В составе гиббситовых участков жил рентгенофазовым анализом обнаружены редкие, мелкие до 10 μm в поперечнике, округлые зерна магнетита

содержащие примесь, в мас. %: 3,5 CuO, 3,6 MnO, 4,8 SiO₂, 8,3 Al₂O₃.

Внутри гиббситовых образований наблюдаются концентрически-зональные, натечные агрегаты, похожие на колломорфную структуру рудных минералов (рис. 3). Внутри жилы имеют псевдослоистую текстуру, обусловленную развитием тонких разноцветных полос, обрамляющих зерна кварца. Разноцветность гиббсита будет объяснена ниже, при рассмотрении химического состава минерала.

Фазовый и химический состав гиббсита

Главные линии на рентгенограмме гиббсита представлены следующими значениями: 4,816 (100), 4,334 (40), 4,169 (10), 3,327 (15), 2,429 (15), 1,996 (10), 1,445 (10). Они близки к эталонным для этого минерала.

Гиббсит обладает непостоянным химическим составом, для которого отмечаются существенные колебания примесей (в мас. %): SiO₂ от 0,6 до 12,4, CuO от 0,4 до 3,8, MnO от 0 до 5,5, FeO от 0 до 0,3, SO₃ от 0 до 1,2, F от 2,8 до 4,9. Максимальное содержание примесей в гиббсите, рассматриваемом в справочнике [4], не превышает 3 мас. %. В обнаруженном нами гиббсите оно достигает более 17 мас. % (табл.). Примеси в составе гиббсита мы рассматриваем как изоморфные. Голубая окраска гиббсита различных оттенков, вероятно, обусловлена высокими содержаниями меди, а ее изменения



Рис. 1. Многоцветная жилка гиббсита в кварце

Fig. 1. Multicolored gibbsite vein in quartz

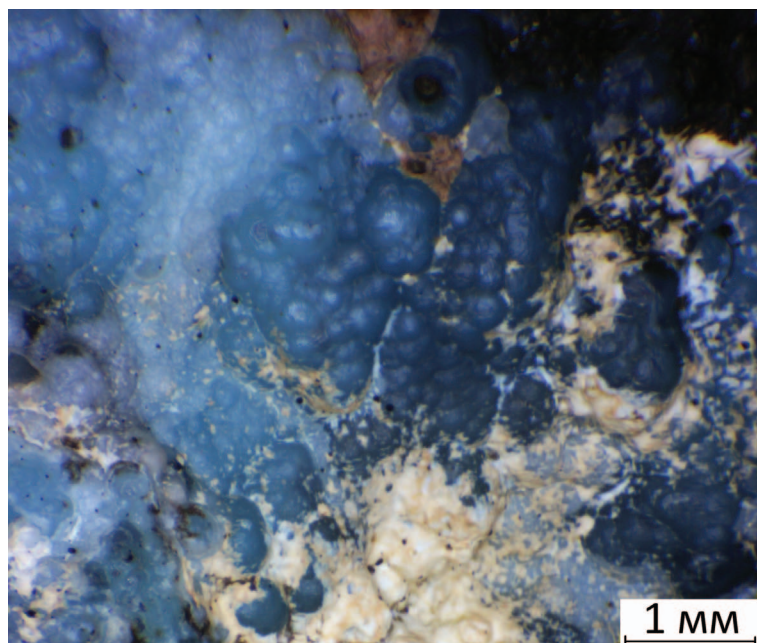


Рис. 2. Сферические морфоскульптуры, сформировавшиеся на поверхности гиббситовых жилок
Fig. 2. Spherical morphosculptures formed on the surface of gibbsite veins

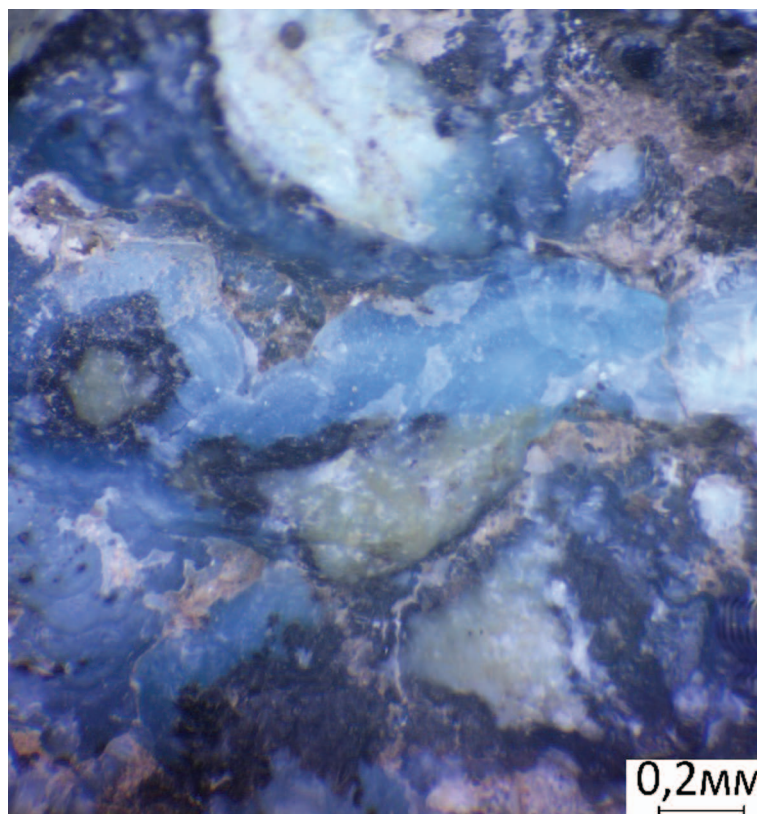


Рис. 3. Псевдослоистое строение гиббситовой жилы. Серые и белые контуры представлены более ранним кварцем
Fig. 3. Pseudolayer structure of a gibbsite vein. Gray and white contours are represented by earlier quartz

от светлой до темно-голубой — как вариации ее колебаний (табл.).

В связи с высоким содержанием элементов примесей варьирует также содержание глинозема от 51,6 до 63,7 мас.%. Его количество в «чистом» гиббсите [4] составляет 65,4, а остальное количество — 35,6 мас.%, соответственно, вода. Его кристаллохимическое название «триоксид алюминия» — $\text{Al}(\text{OH})_3$. Вариации формульных коэффициентов гиббсита Бирюзакана, от самых насыщенных до самых бедных алюминием и другими элементами, показаны в таблице.

Колломорфная структура отчетливо наблюдается в микромасштабе (рис. 4). При этом отмечается заметное изменение химического состава гиббсита. Так, в точке j, более ранней генерации минерала, он состоит, в мас.%, Al_2O_3 60,5, SiO_2 0,9, CaO 0,2, CuO 1,6, SO_3 1,1, F 4,5, через 30 мкм, в точке k (более поздней генерации), содержание заметно изменяется: Al_2O_3 55,9, SiO_2 4,1, CaO 0,4, CuO 1,8, SO_3 0,7, F 2,8.

Условия образования гиббсита

Положение гиббситной минерализации среди кварцевых жил с малахитом позволяет отнести ее к гидротермальным минералам. Его образование

можно коррелировать с гиббситом из золоторудного месторождения Бургунда, расположенного в 4,5 км северо-западнее Бирюзакана, в известняках ($\text{D}_2\text{-C}_1$). Химический состав данного минерала отличается от гиббсита Бирюзакана более низким содержанием CuO 1,46 и F 0,88 мас.%. Авторы находки гиббсита на Бургунде [5] связывают его образование с низкотемпературным гидротермальным процессом.

Гиббситовые жилы Бирюзакана и, возможно, Бургунды можно отнести к алунитовой формации низкотемпературных гидротермальных образований по классификации Е.К. Лазаренко [1]. Источником глинозема для гиббсита послужили вулканиты среднекислого состава, в которых интенсивно протекали процессы метасоматического замещения полевых шпатов кварцем с образованием вторичных кварцитов и пропилитов [3]. Высвободившийся при этом глинозем мигрировал в зоны пониженных давлений, обусловленные тектоническими трещинами.

Заключение

Ярко-голубой гиббсит Бирюзакана, вероятно, ранее встречался геологам, обрабатывавшим месторождение на бирюзу. При диагностике некоторых голубых образцов и вставок бирюзы может

Таблица. Химический состав и формульные коэффициенты гиббсита с месторождения Бирюзакан
Table. Chemical composition and formula coefficients of gibbsite from the Biryuzakan deposit

Номер	Al_2O_3	SiO_2	CaO	CuO	MnO	FeO	SO_3	F	H_2O	Сумма
1	63,72	0,57	-	0,38	-	-	-	4,76	30,57	100,00
2	60,53	0,88	0,17	1,60	-	-	1,05	4,50	31,26	100,00
3	59,98	0,60	-	2,74	0,40	-	1,15	4,16	30,98	100,00
4	58,32	1,24	-	3,18	-	-	0,83	4,89	31,54	100,00
5	55,86	4,11	0,37	1,79	-	-	0,70	2,84	34,24	100,00
6	52,92	1,15	-	3,84	5,49	0,33	0,92	3,24	32,11	100,00
7	51,63	12,45	0,09	2,82	-	-	0,88	2,83	29,29	100,00
Формульные коэффициенты, рассчитанные на 3 аниона										
	Al	Si	Ca	Cu	Mn	Fe	SO_3	F	OH	
1	0,97	0,007	-	0,004	-	-	-	0,20	2,65	
2	0,95	0,01	0,002	0,02	-	-	0,01	0,09	2,77	
3	0,93	0,008	-	0,03	0,004	-	0,01	0,17	2,71	
4	0,93	0,02	-	0,03	-	-	0,008	0,10	2,84	
5	0,85	0,05	0,005	0,02	-	-	0,007	0,12	2,93	
6	0,86	0,02	-	0,04	0,06	0,004	0,009	0,07	2,95	
7	0,80	0,16	0,001	0,04	-	-	0,01	0,09	2,58	

Примечание. Содержание воды рассчитано арифметически.
Note. Water content is calculated arithmetically.

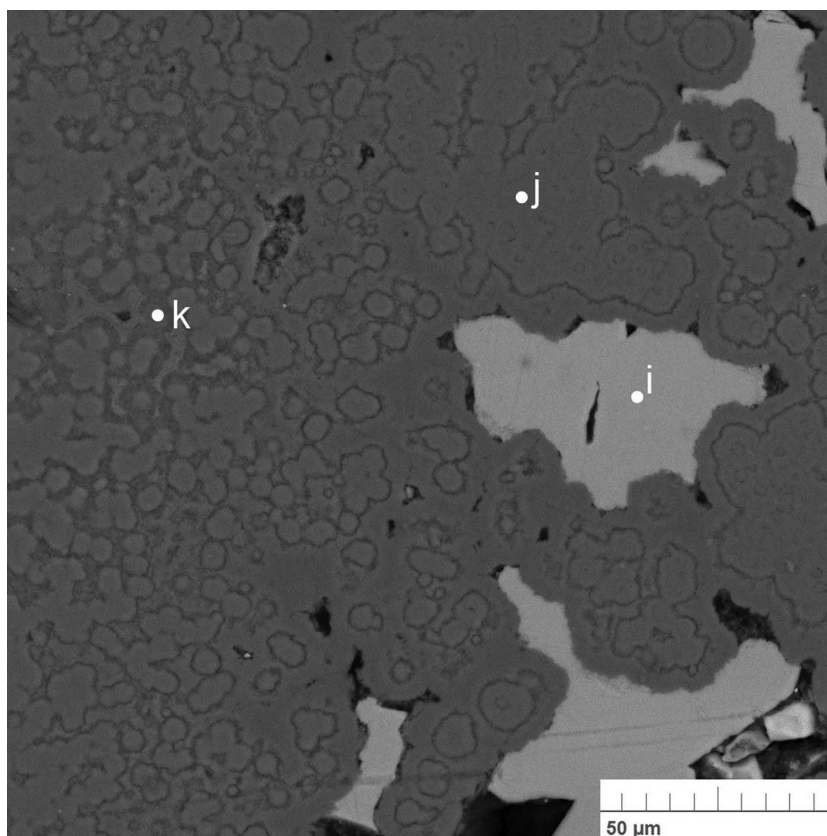


Рис. 4. Концентрически-зональное строение гиббситового прожилка в отраженных электронах (BSE): *i* — зерно кальцита, *j*, *k* — участки различного по составу гиббсита

Fig. 4. Concentrically-zoned structure of gibbsite vein in reflected electrons (BSE): *i* — calcite grain, *j*, *k* — areas of gibbsite of different composition

быть совершена ошибка, так как голубой гиббсит легко визуально можно спутать с высокосортной бирюзой.

Наша находка гиббсита расширяет спектр минеральных ассоциаций известного геологического

объекта и ставит задачу проверки бирюзы, добытой ранее, и изделий из нее. Обнаруженный гиббсит характеризуется сложным изоморфизмом: более 17 мас.% примесей, включая кремний, медь, марганец и фтор (около 5%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Курс минералогии. М.: Высшая школа. 1971. 606 с.
2. Литвиненко А.К., Восихов Ш.Т. Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. № 3. С. 19—25.
3. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра. 1981. 192 с.
4. Минералы, справочник. М.: Наука, 1967. 952 с. Т. II. Вып. 3. 675 с.
5. Файзиев А.Р., Паутов Л.А., Сафаралиев Н.С., Ятимов У.А., Ходжиматов Н.Х. Гиббсит из золоторудного месторождения Бургунда (Северный Таджикистан). Докл. АН Республики Таджикистан. 2018. Т. 61. № 4. С. 398—402.

REFERENCES

1. Course of Mineralogy. Moscow.: House higher school, 1971. 606 p. (In Russ.).
2. Litvinenko A.K., Vosikhov S.T. Deposits and occurrences of turquoise and variscite in the Republic of Tajikistan. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2024. № 3. С. 19—25 (In Russ.).
3. Menchinskaya T.I. Turquoise. Moscow: Mineral Resources, 1981. 192 p. (In Russ.).
4. Minerals, reference book. Moscow: Science, 1967. 952 p. Vol. II. Iss. 3. 675 p. (In Russ.).
5. Faiziev A.R., Pautov L.A., Safaraliev N.S., Yatimov

U.A., Khojimatov N.H. Gibbsite from the gold deposit Burgunda (Northern Tajikistan). Bull. of the Academy

of Sciences of the Republic of Tajikistan. 2018. T. 61. No. 4. P. 398—402 (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Восихов Ш.Т. — обработал и проанализировал геологические данные, подготовил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Литвиненко А.К. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Рассомахин М.А. — проводил аналитические исследования и обсуждение текста статьи.

Shohrukh T. Vosihov — has processed and analyzed the geological data, prepared the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Andrey K. Litvinenko — developed the concept and prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Mikhail A. Rassomakhin — analyzed and discussed the text of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Восихов Шохрух Туйчиевич* — аспирант кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: shohrukh992v@mail.ru

тел.: +7 (985) 685-14-44

SPIN-код: 5736-7097

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5834-385X>

Shohrukh T. Vosihov* — postgraduate student, Department of Mineralogy and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: shohrukh992v@mail.ru

tel.: +7 (985) 685-14-44

SPIN-code: 5736-7097

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5834-385X>

Литвиненко Андрей Кимович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: akl1954@yandex.ru

тел.: +7 (916) 655-08-08

SPIN-код: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

Andrey K. Litvinenko — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Mineralogy and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: akl1954@yandex.ru

tel.: +7 (916) 655-08-08

SPIN-code: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

Рассомахин Михаил Владимирович — младший научный сотрудник ФГБУН «Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук».

территория Ильменский Заповедник, 1, Миасс, 456317, Россия

e-mail: miha_rassomahin@mail.ru

тел.: +7 (951) 771-69-85

SPIN-код: 2795-5466

Mikhail A. Rassomakhin — Junior Researcher South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy.

territory of Ilmensky Reserve 1, Miass, 456317, Russia

e-mail: miha_rassomahin@mail.ru

tel.: +7 (951) 771-69-85

SPIN-code: 2795-5466

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ДЖЕЛТУЛАКСКАЯ РОССЫПНАЯ СИСТЕМА ОКТЯБРЬСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА ПРИАМУРСКОЙ ЗОЛОТОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

В.А. СТЕПАНОВ^{1,*}, А.В. МЕЛЬНИКОВ²

¹ ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН»
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия

² ФГБУН «Институт геологии и природопользования ДВО РАН»
1, пер. Релочный, г. Благовещенск 675000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены сведения о крупной Джелтулакской россыпной системе Приамурской золотоносной провинции, из россыпей которой добыто около 80 т золота.

Цель. Определение геолого-структурной позиции Джелтулакской россыпной системы, одной из наиболее продуктивных в Приамурской провинции, характеристика россыпей и источников их формирования.

Материалы и методы. Авторами проанализированы литературные и фондовые материалы по геологическому строению, золотоносности и добыче золота Октябрьского рудно-россыпного узла.

Результаты. В результате исследования установлено, что Джелтулакская система россыпей обязана своим происхождением интрузивно-купольному поднятию (ИКП) и золотому оруденению Октябрьского рудно-россыпного узла. Наиболее крупные россыпи концентрируются вблизи вершины поднятия. По мере удаления от его вершины россыпи становятся беднее, подчеркивая центробежное развитие россыпной системы. Основным источником россыпей служит золотое оруденение, сконцентрированное вблизи вершины ИКП и представленное золотоносными зонами скарнов и сульфидизированных известняков (карлинский тип золотого оруденения).

Заключение. Для поддержания уровня золотодобычи в Октябрьском рудно-россыпном узле необходимо выявление и эксплуатация новых золоторудных месторождений. Наиболее перспективные из них, представленные золотоносными скарновыми залежами и месторождениями карлинского типа, прогнозируются в районе сопки Маячная.

Ключевые слова: провинция, рудно-россыпной узел, россыпная система, месторождение, россыпь, самородное золото

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Степанов В.А., Мельников А.В. Джелтулакская россыпная система Октябрьского рудно-россыпного узла Приамурской золотоносной провинции. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):56—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-56-66> EDN: [JYLFJU](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-56-66)

Статья поступила в редакцию 05.08.2024

Принята к публикации 09.01.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

DZHELTULAK SYSTEM OF THE OKTYABRSKY ORE-PLACER NODE OF THE AMUR GOLD-BEARING PROVINCE

VITALY A. STEPANOV^{1,*}, ANTON V. MELNIKOV²

¹ Scientific Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
30, North-Eastern Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia

² Institute of Geology and Environmental Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
1, Relochny Lane, Blagoveshchensk, 675000, Russia

ABSTRACT

Background. Information on the Dzheltulak large placer system of the Amur gold-bearing province, which has produced 80 tons of gold, is presented.

Aim. To determine the geological and structural position of the Dzheltulak placer system, one of the most productive in the Amur province. To characterize placers and sources of their formation.

Materials and methods. Published data and stock materials on the geological structure, gold potential, and gold production of the Oktyabrsky ore-placer node were used.

Results. The Dzheltulak placer system developed from to an intrusive dome uplift and the gold mineralization of the Oktyabrsky ore placer node. The largest placers are concentrated near the top of the uplift, becoming poorer when moving away from the top. This indicates the centrifugal development of the placer system. The main source of placers is gold mineralization concentrated near the top of the uplift, being represented by gold-bearing areas of skarns and sulfidized limestones (Karlinsky type of gold mineralization).

Conclusion. In order to maintain the level of gold extraction in the Oktyabrsky ore-placer node, identification and exploitation of new gold deposits are required. Among the latter, the most promising area, represented by gold-bearing skarns and deposits of the Karlinsky type, are predicted in the area of Mayachnaya Hill.

Keywords: province, ore-placer node, placer system, deposit, placer, native gold

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: the study had no sponsorship.

For citation: Stepanov V.A., Melnikov A.V. Dzheltulak system of the Oktyabrsky ore-placer node of the Amur gold-bearing province. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):56—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-56-66> EDN: JYLFJU

Manuscript received 05 August 2024

Accepted 09 January 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

В Приамурской золотоносной провинции известно около 1500 россыпей золота, сконцентрированных в 80 рудно-россыпных узлах (РРУ). По добыче россыпного золота РРУ делятся на высокопродуктивные — с добычей более 50 т, среднепродуктивные — 10—50 т и низкопродуктивные — менее 10 т. В Октябрьском высокопродуктивном РРУ основное количество золота (около 80 т) добыто из Джелтулакской системы россыпей рек Джелтулак, Калахта и их притоков. Они имеют единый источник формирования, представленный золото-кварцевыми и золото-сульфидно-кварцевыми жилами, жильно-

прожилковыми зонами, золото-сульфидными залежами и золотосодержащими скарнами, расположенными на вершине и склонах г. Маячная. В статье рассматриваются геолого-структурная позиция и золотоносность Джелтулакской россыпной системы, одной из наиболее продуктивных в Приамурской провинции.

Геолого-структурная позиция россыпной системы

Джелтулакская система россыпей расположена в Октябрьском рудно-россыпном районе восточного фланга Северо-Буреинской металлогенической

зоны Приамурской провинции. В геолого-структурном плане узел приурочен к Мамынскому выступу фундамента Амурского геоблока или композитного массива. Рудно-россыпному узлу отвечает интрузивно-купольное поднятие (ИКП), отчетливо дешифрирующееся на аэрофотоматериалах, выраженное в геофизических и геохимических полях [4]. К центральной части поднятия приурочены крупные интрузии, сложенные гранитами, лейкогранитами и субщелочными гранитами октябрьского комплекса ордовика, а также тырмобуреинского комплекса среднего-позднего карбона. Меньшим распространением пользуются небольшие интрузии и дайки гранит-порфиров, гранитов, гранодиоритов и диоритов бурундинского комплекса раннемелового возраста. Останцы кровли и крупные ксенолиты интрузий сложены метапесчаниками, серицит-кварцевыми и актинолит-кварцевыми сланцами с прослоями и линзами мраморизованных известняков рифейского возраста (рис. 1).

На окраинах узла отмечаются небольшие поля силурийских песчаников, туфопесчаников, алевролитов, аргиллитов, гравелитов, конгломератов и туфов дацитов, риодацитов и базальтов, а также девонских песчаников, туфопесчаников с прослоями алевролитов, аргиллитов, пепловых туфов, конгломератов, туфоалевролитов и известняков. По периферии узла расположены впадины, выполненные рыхлыми осадками белогорской свиты плиоцен-неоплейстоценового возраста, представленные песками, супесью, суглинками, глинами с прослоями галечников и гравелитов. Для рассматриваемого ИКП характерен комплекс концентрических и радиальных разломов, вдоль которых заложена современная гидросеть.

Состав и строение россыпей

Россыпи рассматриваемой системы были открыты довольно поздно — в 1936 г., в 1937 г. из них было извлечено 18 кг золота, но уже в период 1938—1944 гг. добыча составила 18 т золота. Учетная среднегодовая добыча за почти вековую историю золотодобычи составила более 900 кг в год.

Россыпи Желтулакской системы приурочены к водотокам, дренирующим радиальные и кольцевые разломы интрузивно-купольного поднятия. Они делятся на две неравные группы: преобладают россыпи бассейна р. Желтулак, занимающие южную часть Октябрьского ИКП, менее развиты россыпи бассейна р. Калахта в северной части поднятия. Объединяет эти две группы россыпей

источник коренного золота, расположенный на вершине и склонах г. Маячная. Наблюдается отчетливо выраженное центростремительное развитие россыпей от центра геологической структуры узла к ее периферии. Наиболее продуктивные россыпи, в том числе с добычей более 10 т золота, приурочены к центральной, приядерной части ИКП (россыпи верховьев р. Желтулак, руч. Маристого, Широкого, Седуновского и др.). По направлению к периферии ИКП как в южном направлении в бассейне р. Желтулак, так и в северном в бассейне р. Калахта россыпи становятся значительно беднее, добыча золота из них сокращается (табл. 1).

Центростремительное развитие россыпей прослеживается также по крупности золота и степени его окатанности. Эти параметры закономерно изменяются при переходе от россыпей приядерной части ИКП к его периферии. Для россыпей приядерной части характерно золото средней крупности и крупное до самородков весом до 1600 г, максимум до 5 кг. Форма его таблитчатая, комковидная и дендритовидная. Золото часто наблюдается в сростках с кварцем. Окатанность его преимущественно слабая. В числе сопровождающих золото минералов шлиха нередко отмечаются весовые количества рудных минералов-спутников золотого оруденения — пирита, галенита и киновари. Например, в россыпи р. Бол. Желтулак в шлиховом концентрате количество киновари часто превосходит самородное золото. Атомно-абсорбционный анализ киновари из этой россыпи показал значительную концентрацию в ней как золота (5—140 г/т), так и серебра (33—185,7 г/т) [7].

Среди небольших самородков встречаются уникальные линейные проволоковидные сростки кристаллов золота (рис. 2). Каждый из них состоит из скелетных многогранников, укрупняющихся от одного конца к другому, а увенчивается более крупным копьевидным кристаллом. Судя по измерениям на прикладном гониометре, это тетрагон-триоктаэдр [6].

Наличие в шлиховых концентратах из россыпей киновари с существенной примесью золота и серебра позволяет предположить широкое участие ртути и амальгам в процессе образования кристаллов рудного золота, в том числе самородков. Процесс кристаллизации золота из амальгам с формированием разнообразной формы кристаллов в зависимости от соотношения в амальгаме примеси золота и серебра известен достаточно давно [1]. В районе Октябрьского прииска авторы наблюдали процесс кристаллизации

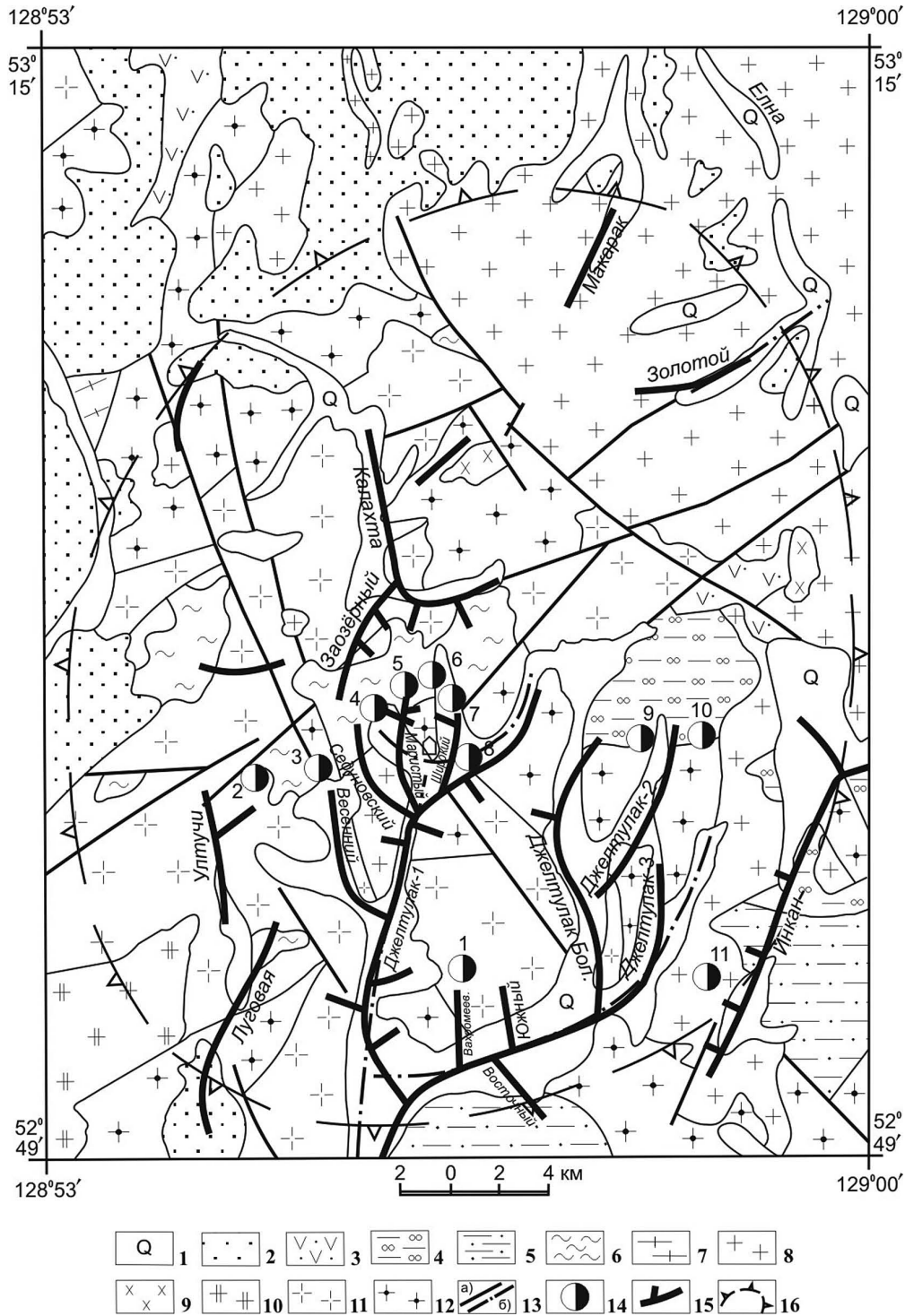


Рис. 1. Геологическое строение и золотоносность Октябрьского рудно-россыпного узла: 1 — аллювиальные отложения квартера (пески, галечники, валунники, гравий, суглинки); 2 — отложения плиоцен-неоплейстоцена (глинистые пески, супеси, суглинки, глины, каолинизированные пески); 3 — конгломераты, туфопесчаники, алевролиты, андезиты нижнего мела; 4 — песчаники, туфопесчаники с прослоями алевролитов, аргиллитов, пепловых туфов, конгломератов, туфоалевролитов, известняков девона; 5 — песчаники, туфопесчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, туфы дацитов, риодацитов и базальтов силура; 6 — метапесчаники, прослои серицит-кварцевых и актинолит-хлоритовых сланцев, линзы мраморизованных известняков рифея; 7 — гнейсы, амфиболиты, кристаллические сланцы, мрамора, кварциты архея;

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND EXPLORATION OF SOLID MINERAL DEPOSITS

8—9 — интрузии буриндинского комплекса нижнего мела: 8 — граниты, плагиограниты, гранит-порфиры, гранодиориты, 9 — диориты, кварцевые диориты; 10 — субщелочные лейкограниты, лейкограниты харинского комплекса поздней перми — нижнего триаса; 11 — граниты, лейкограниты, субщелочные граниты тырмо-буреинского комплекса среднего-верхнего карбона; 12 — граниты, лейкограниты, субщелочные граниты октябрьского комплекса ордовика; 13 — тектонические нарушения; 14 — рудопроявления золота (1 — Вахромеевское, 2 — Ултучи, 3 — Весеннее, 4 — Лиственная Сопка, 5 — Верхнемаристое, 6 — Известковая Сопка, 7 — Верхнеширокинское, 8 — Сухое, 9 — Галенистовое, 10 — Горы Левоы, 11 — Инкан); 15 — россыли золота; 16 — контур рудно-россыпного узла

Fig. 1. Geological structure and gold content of the Oktyabrsky ore-placer cluster: 1 — Quaternary alluvial deposits (sands, pebbles, boulders, gravel, loams); 2 — Pliocene-Neopleistocene deposits (clayey sands, sandy loams, loams, clays, clayey sands); 3 — conglomerates, tuff sandstones, siltstones, andesites of the Lower Cretaceous; 4 — sandstones, tuff sandstones, with interlayers of siltstones, mudstones, ash tuffs, conglomerates, tuff siltstones, Devonian limestones; 5 — sandstones, tuff sandstones, siltstones, mudstones, gravelites, conglomerates, tuffs of dacites, rhyodacites and Silurian basalts; 6 — metasandstones, interlayers of sericite-quartz and actinolite-chlorite schists, lenses of marbled Riphean limestones; 7 — gneisses, amphibolites, crystalline schists, marbles, Archean quartzites; 8—9 — intrusions of the Burinda complex of the Lower Cretaceous: 8 — granites, plagiogranites, granite-porphyrries, granodiorites, 9 — diorites, quartz diorites; 10 — subalkaline leucogranites, leucogranites of the Kharinsky complex of the late Permian-Lower Triassic; 11 — granites, leucogranites, subalkaline granites of the Tyrmo-Bureya complex of the Middle-Upper Carboniferous; 12 — granites, leucogranites, subalkaline granites of the Oktyabrsky complex of the Ordovician; 13 — tectonic disturbances; 14 — gold ore occurrences (1 — Vakhromeevskoe, 2 — Ultuchi — Vesennyye, 4 — Lisvennaya Sopka, 5 — Verkhnemaristoe, 6 — Lime Sopka, 7 — Verkhneshirokinskoe, 8 — Sukhoe, 9 — Galenitovoe, 10 — Levoy Mountains, 11 — Inkan); 15 — gold placers; 16 — outline of the ore-placer cluster

Таблица 1. Характеристика Желтулакской россыпной системы
Table 1. Characteristics of the Jeltulak placer system

Россыпи	Добыча, т	Проба золота, ‰	Крупность золота, мм, самородки	Форма золотин	Сопровождающие минералы
Желтулак-1	13,0	875 (863—890)	0,4—3,5	Лепешковидная, комковидная, пластинчатая	Ильменит, сфен, гранат, пирит, галенит, киноварь
Широкий	15,2	865 (830—892)	0,15—2,5, самородки до 400 г	Таблитчатая, комковидная, губчатая	Сростки с кварцем
Маристый	16,8	875 (850—900)	0,3—4,0, самородки до 500 г	Пластинчатая, чешуйчатая	Магнетит, ильменит, пирит, сидерит
Седуновский	9,5	900 (875—930)	0,3—1,0, самородки до 1600 г	Лепешковидная, пластинчатая	Сростки с кварцем
Весенний	3,42	830	0,3—1,2, редко 0,15—0,3 и 1,2—3,3	Лепешковидная, дендритовидная, крючковатая	Магнетит, гранат, ильменит, шеелит, киноварь, хромит, касситерит, вольфрамит
Желтулак Большой	4,0	888	0,2—0,6, самородки до 109 г	Тонкопластинчатая, чешуйчатая	Ильменит, сфен, пирит, магнетит, касситерит
Южный	0,45	809	Мелкое и пылевидное, 0,2—0,6	Пластинчатая, окатанная	Ильменит, рутил
Вахромеевский	0,73	804 (797—840)	0,66—0,98	Комковидная, хорошо окатанные таблички и пластины	Сростки с кварцем
Желтулак-2	3,4	890 (880—902)	В верхней части крупное (2—3 мм), в средней и нижней части россыпи — 0,3—3,4	Округлая, пластинчатая, лепешковидная, комковидная, реже встречаются слабоокатанные пористые, крючковатые формы	Ильменит, сфен, рутил, хромит
Желтулак-3	1,5	880 (863—930)	0,4—3,5	Лепешковидная, комковидная, пластинчатая, редко палочко- и дендритовидная	Ильменит, хромит, пирит

Продолжение таблицы 1

Россыпи	Добыча, т	Проба золота, ‰	Крупность золота, мм, самородки	Форма золотин	Сопровождающие минералы
Луговая	0,6	907 (797—952)	0,2—0,6	Комковидная, лепешковидная, пластинчатая, чешуйчатая, крючковатая	Ильменит, хромит, гранат. Сrostки с кварцем
Уллучи с Дорожным	0,87	872 (823—903)	0,2—0,4	Зернистая, комковидная, дендритовидная, кристаллическая, нитевидная, проволоковидная	Ильменит, хромит, гранат. Сrostки с кварцем
Восточный	0,6	875 (833—915)	0,2—0,6	Пластинчатая, комковидная, удлиненная, лепешковидная	Ильменит, сфен, хромит
Водораздельная	3,03	887	0,21—0,59	Пластинчатая, комковидная, лепешковидная	Ильменит, сфен, хромит
Дорожная	1,13	880	Мелкое (до 0,5), отдельные зерна до 2,0	Лепешковидная, комковидная, пластинчатая, неправильная	Киноварь
Сеннушка	1,63	880 (860—890)	0,3—2,0	Пластинчатая, лепешковидная, комковидная, пористая, крючковатая	Сrostки с кварцем
Калахта	2,67	875 (860—893)	0,2—3,4, самородки 3—5 г	Лепешковидная, таблитчатая, комковидная, дендритовидная, ноздреватая	Сrostки с кварцем
Заозерный	0,66	832—844 (720—890)	1,85 (0,42—6,68)	Плоская, комковидная, дендритовидная, крючковатая	Сrostки с кварцем

Примечание: всего добыто 79,38 т золота.

золота в результате нагревания амальгам шлихового золота в природных условиях, который проводили мелкие старательские артели. При этом происходил рост ажурных кристаллов золота, иногда с копьевидными окончаниями, размером в несколько мм.

В периферической части узла золото в россыпях преимущественно мелкое (0,2—0,6 мм) и очень мелкое (>0,2 мм). Самородков почти нет. Форма его чаще лепешковидная, пластинчатая и чешуйчатая, реже комковидная и дендритовидная. Окатанность зерен значительная. Сrostки с кварцем наблюдаются редко. Среди ассоциирующих с золотом рудных минералов часто отмечаются шеелит, вольфрамит и касситерит, характерные для редкометалльного оруденения, развитого в периферических частях ИКП.

Состав золота в россыпях Джелтулакской системы мало изменчив. Преобладает золото средней пробы (850—900‰), которая иногда уменьшается до 800‰ (рис. 3). Наиболее низкая средняя проба золота отмечается в россыпях руч Южный — 809‰ и Вахромеевский — 804‰, наиболее высокая в россыпи р. Луговая — 907‰.

Существенных различий в пробе золота россыпей из центральной части узла и его периферии не наблюдается. По данным Г.И. Неронского, среди основных элементов-примесей в золоте, кроме преобладающего серебра отмечаются Hg (до 0,5%), Sb (до 0,1%) и Sn (до 0,1%), в меньших количествах отмечаются Cu, Pb, Te, Pt и Pd [5].

Источники формирования россыпей

В интрузивно-купольной структуре Октябрьского РРУ наиболее благоприятные условия для локализации золотого оруденения существовали в приядерной части поднятия, в источниках рр. Джелтулак и Калахта. Здесь расположены слабо вскрытые части разновозрастных интрузий гранитоидного состава с останцами кровли и крупными ксенолитами карбонатно-терригенных отложений рифейского возраста. Эти отложения играли роль экрана и благоприятной среды для рудоотложения. Источником формирования россыпей являются многочисленные проявления золота, представленные золото-кварцевыми, золото-сульфидно-кварцевыми жилами и жильно-прожилковыми зонами, а также

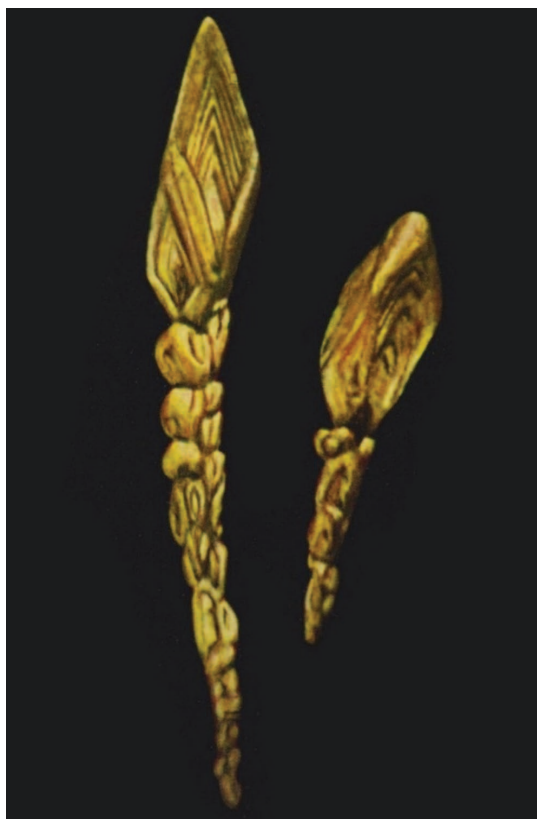


Рис. 2. Скипетровидные сrostки кристаллов золота, прииск Октябрьский [6]

Fig. 2. Scepter-shaped accretions of gold crystals, Oktyabrsky mine [6]

залежами золотосодержащих скарнов и золото-сульфидных руд (карлинский тип оруденения). Наибольшую россыпную нагрузку несут проявления центральной, приядерной части узла: Лиственная Сопка, Верхнемаристое, Известковая Сопка, Верхнеширокинское и Сухое. Они являются россыпеобразующими как для Желтулакской, так и для Калахтинской ветвей россыпной системы.

Рудопроявление **Лиственная Сопка** представлено кварцево-карбонатными жилами мощностью до 1 м. Жилы прослежены на 150—300 м. Гидротермальные изменения вмещающих пород выражены в окварцевании и сульфидизации вмещающих лейкогранитов. По данным пробирного анализа, содержание Au — 1,2—66 г/т (среднее 4,8 г/т). Кроме того, в гранитах палеозоя вскрыты кварц-пиритовые жилы мощностью 0,05—0,3 м. По данным пробирного анализа, содержание в них Au — 0,5—12 г/т.

Площадь проявления **Верхнемаристое** сложена гранитами и гранодиоритами верхнего палеозоя, прорванными дайками грано-

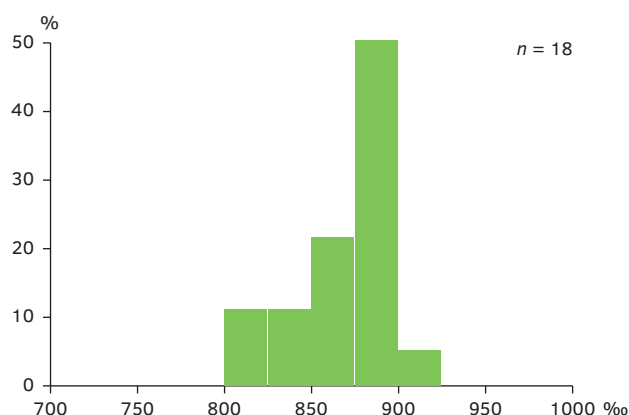


Рис. 3. Гистограмма пробы россыпного золота россыпей Желтулакской системы

Fig. 3. Histogram of a sample of placer gold placers of the Jeltulak system

диорит- и гранит-порфиров, диоритовых порфиров и риолитов раннего мела. Канавами вскрыта крутонаклонная жила гребенчатого кварца. Протяженность жилы составляет 150 м, мощность 0,3—3 м. Содержание Au меняется от 1 до 9,2 г/т, в среднем — 6 г/т.

Район проявления **Известковая Сопка** сложен терригенно-карбонатными отложениями рифея, прорванными интрузиями гранитов позднего палеозоя, а также дайками гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров буриндинского комплекса раннего мела. Золотое оруденение располагается в кварц-карбонатных жилах и кварцево-жильных зонах, скарновых залежах и в зонах пирит-арсенопиритовой минерализации. Одна из кварцево-жильных зон на северном склоне сопки Известковой прослежена канавами на 180 м. Содержание Au — 0,77—9,2 г/т (среднее — 2,9 г/т) на мощность 0,8 м. Максимальное содержание Au в карбонат-кварцевой жиле достигает 7204 г/т при среднем содержании 6,2 г/т [3]. Скарновые залежи приурочены к контакту мраморизованных доломитов и перекрывающих их кварцево-сланцев. Они прослеживаются на расстояние около 2 км и представлены протяженными (40—70 м) линзами мощностью 4—7 м. Скарны состоят из эпидота, доломита, кварца, хлорита, актинолита, пироксена и серпентина с существенной примесью пирротина, магнетита и пирита. К низам залежей скарнов нередко приурочена полиметаллическая минерализация (сфалерит, галенит). Содержание Au в среднем составляет 2—3 г/т. Минерализованные зоны рассланцевания и брекчирования доломитов с вкрапленностью пирита и арсенопирита залегают

выше по разрезу относительно скарновых залежей. Среди тонко рассеянных рудных минералов преобладают пирит и арсенопирит, отмечаются золото, галенит, халькопирит, сфалерит и киноварь. Содержания Au в пределах 0,1—2,5 г/т. Этот тип золотого оруденения аналогичен карлинскому [2].

Проявление **Верхнеширокинское** представлено скарновой залежью эпидот-магнетит-пирит-пиротинового состава, вскрытой шурфом и двумя скважинами в головке богатой россыпи руч. Широкого в мраморизованных известняках, вблизи выходов порфировидных биотитовых гранитов. Мощность залежи 6,2—6,4 м. Содержание Au достигает 12 г/т. Кроме того, на правом борту верховьев руч. Широкого канавой № 317, рудным шурфом № 1 и скважинами колонкового бурения вскрыта и прослежена зона дробленых окварцованных и сульфидизированных известняков (карлинский тип золотого оруденения). В лимонитовых скоплениях на друзовидном кварце встречаются дендритовидные зерна золота размером до 3 мм. С поверхности и до глубины 4,5 м среднее содержание Au составило 5,5 г/т на мощность 0,6 м. Скважиной на глубине от 45 до 65 м пересечен блок дробленых и сульфидизированных известняков. Содержание Au в керне скважин от 2,8 до 280 г/т, среднее — 55,6 г/т. В 1995 г. в отвалах канавы № 317 обнаружены глыбы брекчированных известняков, по внешнему виду напоминающих руды Воронцовского месторождения Урала [8]. Содержание Au достигает 2,2—3,1 г/т. Тонкое золото 811—893 пробы ассоциирует с арсенопиритом, пиритом и киноварью. Проявление нуждается в доизучении.

Проявление **Сухое** сложено окварцованными, карбонатизированными и пиритизированными гранитами. Золотое оруденение представлено кварцевыми и кварц-карбонатными жилами мощностью до 1 м. По данным пробирного анализа, содержание Au — 5—67 г/т. Рудные минералы: пирит, самородное золото.

Из перечисленных проявлений наибольший вклад в россыпеобразование внесли золотоносные зоны скарнов и сульфидизированных известняков (карлинский тип золотого оруденения) ввиду существенных параметров золотоносных тел и залежей. Проба самородного золота в рудах проявления Верхнеширокинское (811—893‰) совпадает с пробой россыпного золота.

На периферии россыпной системы проявлений золота немного. На западном склоне г. Маячная известны проявления Весеннее и Уллучи. На проявлении **Весеннее** установлена

сульфидно-кварцевая жила мощностью 0,1—0,2 м. Содержание Au — 1,2—9,4 г/т, в среднем 4,5 г/т. Золото мелкое, зеленоватое, ассоциирует с пиритом, галенитом и киноварью. Проба его 800—850‰. На **Уллучинском** проявлении рудоносные тела локализованы среди березитизированных, аргиллизированных и окварцованных лейкократовых гранитов палеозоя. Канавами вскрыты и прослежены на 200—250 м кварцевые жилы (мощность 0,5—7 м). Содержание Au в жилах 0,05—3,1 г/т, в метасоматитах — 1—30 г/т, содержание Ag в рудоносных телах 0,5—5,17 г/т, As — 0,05—1%. Эти проявления подпитывают небольшие россыпи руч. Весенний и р. Уллучи, золото которых имеет ту же пробу, что и проявления Весеннее.

На юго-восточных склонах г. Маячная выявлены проявления золота Галенитовое, Лево́й Горы, Вахромеевское и Инкан. Проявление **Галенитовое** представлено кварцевыми жилами и прожилками, приуроченными к контактам сложноветвящихся даек диоритовых порфиров. Протяженность жил достигает 25—35 м при мощности 0,02—0,2 м. Кварц несет рассеянную вкрапленность галенита и пирита. Содержание Au в жилах по данным пробирного анализа составляет от «следов» до 57 г/т. Проявление **Горы Лево́й** приурочено к окварцованной дайке фельзит-порфиров, залегающей в песчано-глинистых сланцах девонского возраста. Тонкие кварцевые прожилки лестничного типа ориентированы почти вкрест простира́ния дайки. Мощность кварцевых прожилков достигает 10 см. Кварц содержит вкрапленность пирита, галенита, арсенопирита, барита и самородного золота. Содержание Au в бороздовых пробах достигает 13 г/т. В отдельных кварцевых прожилках Au содержится в количестве до 76 г/т. Проявление **Вахромеевское** представлено минерализованной зоной с кварцевыми прожилками и вкрапленностью сульфидов. Ширина зоны около 100 м. По данным пробирного анализа, содержание золота составляет 0,1—0,4 г/т, в отдельных пробах до 30 г/т. Из рудных минералов отмечаются пирит, халькопирит и самородное золото.

Детально изучено проявление **Инкан**, приуроченное к массиву гранодиоритов и кварцевых монзонитов раннего мела. Канавами вскрыта и прослежена в северо-западном направлении на 450 м кварцевая жила с сульфидами (пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклая руда, аргентит). По свалам она прослежена на 900 м, мощность жилы 2,9 м. Среднее содержание Au — 2,6 г/т, Ag — 103,4 г/т, Pb — 0,57%, Zn — 0,12%,

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND EXPLORATION OF SOLID MINERAL DEPOSITS

Cu — 0,02%, Sb — 0,066%, As — 0,18%, Mo — 0,0009%. В дальнейшем жила № 1 была прослежена на 500 м четырьмя буровыми профилями мелких картировочных скважин. Среднее содержание Au в жиле составило 3,7 г/т, Ag — 122,7 г/т на мощность 3,6 м. Подсчитанные прогнозные ресурсы по части жилы с подвеской на глубину в 100 м и мощность 3,7 м составили (т): Au — 2, Ag — 58, Pb — 2663, Zn — 700, Cu — 156, As — 1354 и Sb — 377 (Н.Г. Коробушкин и др., 1985). Золото этих проявлений пошло на формирование небольших россыпей р. Бол. Желтулак и его притоков. Из перечисленных проявлений промышленную ценность представляет Инкан.

Обсуждение результатов

В последние две пятилетки добыча россыпного золота Октябрьского узла заметно снизилась от 740 кг в 2013—2017 гг. до 577 кг в 2018—2022 гг., в среднем за 10 последних лет ежегодно добывалось около 131 кг золота (табл. 2). Это

значительно ниже общей средней годовой добычи золота в Желтулакской системе за все время эксплуатации россыпей, которая превышает 900 кг в год. Для поддержания уровня золотодобычи в этом районе необходимо выявление и эксплуатация золоторудных месторождений. Наиболее перспективные из них, по-видимому, располагаются вблизи вершины г. Маячная и представлены золотоносными скарновыми залежами и оруденением карлинского типа.

Заключение

В результате исследования установлено, что Желтулакская система россыпей, из которой добыто около 80 т золота, обязана своим происхождением интрузивно-купольной структуре и золотому оруденению Октябрьского рудно-россыпного узла. Речная система, вмещающая россыпи золота, берет начало с вершины интрузивно-купольного поднятия и продолжается вдоль радиальных разломов поднятия в южном (бассейн р. Желтулак)

Таблица 2. Добыча золота из россыпных месторождений Октябрьского узла в 2013—2022 гг.
Table 2. Gold production from placer deposits of the Oktyabrsky node in 2013—2022

Россыпи	Добыча золота по годам				
	2013	2014	2015	2016	2017
Желтулак-3	-	-	-	22	-
Желтулак-1	4	35	-	75	20
Желтулак Бол.	90	96	91	72	109
Водораздельная	14	-	-	-	-
Ултучи (+Дорожный)	-	19	33	23	23
Весенний	-	-	-	-	14
Итого:	108	150	124	192	166
Всего:	740				
Россыпи	Добыча золота по годам				
	2018	2019	2020	2021	2022
Желтулак-3	12	4	-	-	4
Желтулак-1	19	-	-	-	8
Желтулак Бол.	85	-	62	-	-
Желтулак-2	13	-	-	-	-
Калахта	6	12	-	4	7
Гусиный Малый	-	19	62	30	30
Луговая	42	5	-	-	-
Талый	-	-	-	-	10
Весенний	28	18	36	6	55
Итого:	205	58	160	40	114
Всего:	577				

и северном (бассейн р. Калахта) направлениях. Наиболее крупные россыпи концентрируются вблизи вершины поднятия, размещаясь в потоках рр. Джелтулак и Калахта, ориентированных вдоль концентрических разломов структуры. Далее, по мере удаления от вершины купольного поднятия, россыпи становятся беднее, подчеркивая центробежное развитие Джелтулакской россыпной системы.

Основным источником россыпного золота служит золотое оруденение, сконцентрированное вблизи вершины ИКП, сложенной слабовскрытыми гранитоидными интрузиями с останцами кровли и ксенолитами терригенно-карбонатных пород. Последние играют экранирующую роль

и служат средой, благоприятной для рудоотложения. Наибольший вклад в россыпеобразование несут золотоносные зоны скарнов и сульфидизированных известняков (карлинский тип золотого оруденения) ввиду существенных параметров золотоносных тел и залежей.

В последние годы добыча россыпного золота в Джелтулак-Калахтинской системе заметно снизилась. Для поддержания уровня золотодобычи необходимо выявление и эксплуатация золоторудных месторождений. Наиболее перспективные из них, по-видимому, располагаются вблизи вершины г. Маячная и представлены золотоносными скарновыми залежами и месторождениями карлинского типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильм Ф.В. О кристаллах золота, содержащих ртуть. Журнал Российского физико-химического общества. 1893. Т. 25. Вып. 1—9. С. 656—664.
2. Громаковский И.Ю., Степанов В.А. Золотое оруденение в карбонатных толщах Октябрьского района Приамурья. Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 84—89.
3. Зубков В.Ф. Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Лист N-52-XXVII. Объяснительная записка. М.: Недра. 1972. 60 с.
4. Мельников А.В., Степанов В.А. Рудно-россыпные узлы южной части Приамурской провинции. Благовещенск: АмГУ, 2013. 222 с.
5. Неронский Г.И. Типоморфизм золота месторождений Приамурья. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО РАН, 1998. 320 с.
6. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
7. Степанов В.А. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. Владивосток: Дальнаука, 2000. 160 с.
8. Степанов В.А., Моисеенко В.Г. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 1. Золото-ртутные месторождения. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.

REFERENCES

1. Vilm F.V. On gold crystals containing mercury. Journal of the Russian Physical-Chemical Society. 1893. Vol. 25. Issue. 1—9. P. 656—664. (In Russian).
2. Gromakovskiy I.Yu., Stepanov V.A. Gold mineralization in carbonate strata of the Oktyabrsky district of the Amur region. Pacific geology. 1999. Vol. 18. No. 1. P. 84—89. (In Russian).
3. Zubkov V.F. Geological map of the USSR, scale 1:200,000. Sheet N-52-XXVII. Explanatory note. Moscow: Nedra. 1972. 60 p. (In Russian).
4. Melnikov A.V., Stepanov V.A. Ore-placer nodes of the southern part of the Amur province. Blagoveshchensk: AmSU, 2013. 222 p. (In Russian).
5. Neronsky G.I. Typomorphism of gold deposits in the Amur region. Blagoveshchensk: AmurKNII FEB RAS, 1998. 320 p.
6. Petrovskaya N.V. Native gold. M.: Nauka, 1973. 348 p. (In Russian).
7. Stepanov V.A. Geology of gold, silver and mercury. Part 2. Gold and mercury of the Amur province. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 160 p. (In Russian).
8. Stepanov V.A., Moiseenko V.G. Geology of gold, silver and mercury. Part 1. Gold-mercury deposits. Vladivostok: Dalnauka, 1993. 228 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

В.А. Степанов — внес вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

А.В. Мельников — внес вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaly A. Stepanov — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Anton V. Melnikov — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Степанов Виталий Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН». 30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия
e-mail: vitstepanov@yandex.ru
SPIN-код: 6764-5920
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>

Vitaly A. Stepanov* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Chief Researcher of the Scientific and Research Geotechnological Center FEB RAS. 30, North-Eastern Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia
e-mail: vitstepanov@yandex.ru
SPIN-code: 6764-5920
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>

Мельников Антон Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт геологии и природопользования ДВО РАН». 1, пер. Релочный, г. Благовещенск 675000, Россия
e-mail: melnikov_anton1972@mail.ru
SPIN-код: 6087-4614
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-2938>

Anton V. Melnikov — Cand. Sci. (Geol.-Min.), leading researcher of the Institute of Geology and Environmental Management of the FEB RAS. 1, Relochny lane, Blagoveshchensk 675000, Russia
e-mail: melnikov_anton1972@mail.ru
SPIN code: 6047-4614
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-2938>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭРОДИРОВАННОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЯМ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АКТОГАЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУНГУН

Т.П. МОРОЗОВА*, В.В. ДЬЯКОНОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва, 117485, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время все большую актуальность приобретает исследование медно-порфировых месторождений, что включает изучение закономерностей их геохимических особенностей, результаты которого могут обеспечить большую эффективность геологического прогнозирования их поисков.

Цель. При сопоставлении геохимических особенностей первичных ореолов на современном уровне эрозионного среза медно-порфирового Актогайского рудного поля (Казахстан) и результатов геохимического опробования скважин Сунгунского медно-порфирового месторождения (Иран) выявить закономерность распределения геохимических ассоциаций элементов медно-порфировых месторождений, приуроченную к различным уровням эрозии.

Материалы и методы. Было проведено комплексное геолого-геохимическое исследование крупного рудного поля — Колдарского массива в период с 1982 по 1991 г. с проведением полевых работ партией кафедры геологии Научно-исследовательской части Университета дружбы народов (НИЧ УДН) по южной краевой части Баканасской впадины, рассматриваемой в качестве северо-восточного сегмента Балхашско-Илийского вулканоплутонического пояса в Центральном Казахстане. Было проведено литогеохимическое опробование коренных пород кровли Колдарского гранитоидного массива, включающего три медно-порфировых месторождения (Актогай, Айдарлы и Кызылкия). Огромная масса полученного материала подверглась компьютерной обработке, что сделало возможным сопоставление геохимических данных Актогайского рудного поля с данными глубинного опробования месторождения Сунгун (Иран). Данные литогеохимического опробования Актогайского рудного поля, получены в результате проведения спектральных, пламенно-фотометрического (K, Na, Li, Rb, Cs) и атомно-абсорбционного анализов при изучении около 1500 проб на содержание 17 элементов (Pb, Cr, Ni, Co, V, Mo, Sn, Zn, Bi, Cu, Ag, Au, Li, Rb, Cs, Na, K).

Результаты. Получены выводы о том, что надрудный, верхнерудный и подрудный уровни эрозионного среза медно-порфировых месторождений Колдарского массива четко фиксируются по количественным содержаниям элементов в первичных литохимических ореолах и тенденциям изменения отношений: $Cu \times Mo/Pb \times Zn$, Mo/Co , Cu/Mo , $Cu \times Mo/Cr$, Ni/Co , наиболее характерных для проявлений медно-порфировой минерализации. Первые два эрозионных уровня месторождений Колдарского рудного поля хорошо сопоставимы с аналогичными глубинными уровнями месторождения Сунгун.

Заключение. Геохимическая аномалия рудопроявления Кызылкия отвечает подрудному уровню рудной минерализации.

Ключевые слова: гранитоидный массив, медно-порфировое месторождение, фаза внедрения, эрозионный срез, сунгунский тип, Актогайское рудное поле, Сунгунское месторождение, закономерности распределения элементов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

Для цитирования: Морозова Т.П., Дьяконов В.В. Выявление уровня эродированности медно-порфировых месторождений по количественным содержаниям элементов на примере месторождений Актогайского рудного поля и месторождения Сунгун. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):67—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-67-75> EDN: KBIMBS

Статья поступила в редакцию 02.05.2024

Принята к публикации 30.01.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

EROSION OF PORPHYRY COPPER DEPOSITS ESTIMATED BY QUANTITATIVE ELEMENTAL CONTENT ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF AKTOGAY AND SUNGUN ORE FIELDS

TATIANA P. MOROZOVA*, VICTOR V. DYAKONOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117485, Russia*

ABSTRACT

Background. Porphyry copper deposits are attracting increased attention, which determines the relevance of studying their geochemical patterns to ensure a greater efficiency of geological forecasting.

Aim. To establish distribution patterns of geochemical elemental associations in porphyry copper deposits with respect to different levels of erosion by comparing the geochemical features of primary halos at the current level of the erosion section of the Aktogay porphyry copper ore field (Kazakhstan) and the results of geochemical testing of wells of the Sungun porphyry copper deposit (Iran).

Materials and methods. A comprehensive geological and geochemical study of a large ore field — the Koldar massif — was carried out in the period from 1982 to 1991. Fieldwork was carried out by the specialists of the Department of Geology, Peoples Friendship University (UDN), in the southern marginal part of the Bakanas depression, considered as the northeastern segment of the Balkhash–Ili volcanic plutonic belt (Central Kazakhstan). A lithogeochemical sampling of bedrock of the Koldar granitoid massif, which includes three porphyry copper deposits (Aktogay, Aidarly, and Kyzylkiya), was carried out. The collected materials were subjected to computer processing. The geochemical data obtained on the Aktogay ore field were compared with the data of deep testing of the Sungun deposit. Lithogeochemical testing of the Aktogay ore field involved spectral, flame photometric (K, Na, Li, Rb, Cs), and atomic absorption analyses of about 1500 samples for the content of 17 elements (Pb, Cr, Ni, Co, V, Mo, Sn, Zn, Bi, Cu, Ag, Au, Li, Rb, Cs, Na, and K).

Results. The above-ore, upper-ore, and under-ore levels of the erosion section of the Koldar porphyry copper deposits are clearly identified by quantitative elemental contents in primary lithochemical halos and the following trends in the ratios, typical of porphyry copper mineralization: $Cu \times Mo/Pb \times Zn$, Mo/Co , Cu/Mo , $Cu \times Mo/Cr$, Ni/Co . The former two erosion levels of the Koldar deposit are comparable with similar deep levels of the Sungun deposit.

Conclusion. The geochemical anomaly of the Kyzylkiya ore occurrence corresponds to the sub-ore level of ore mineralization.

Keywords: granitoid massif, porphyry copper deposit, introduction phase, erosion section, Sungun type, Aktogay ore field, Sungun deposit, elemental distribution patterns

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Morozova T.P., Dyakonov V.V. Erosion of porphyry copper deposits estimated by quantitative elemental content analysis on the example of Aktogay and Sungun ore fields. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):67—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-67-75> EDN: KBIMBS

Manuscript received 02 May 2024

Accepted 30 January 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Калдарский гранитоидный массив (Актогайское рудное поле), находящийся в Восточном Прибалхашье на юго-востоке Центрального Казахстана, относится к гранодиоритовой петрографической группе гранитоидов трехфазного строения [2]. Он принадлежит к высоко и весьма высокоглиноземистому интрузивному комплексу субвулканических гранитоидов калиевой и калиево-натриевой серии. Фазы внедрения характеризуются низкой степенью дифференциации [3]. Первая фаза внедрения составляет 90% от общей площади поверхности массива и представлена в основном биотит-роговообманковыми кварцевыми диоритами и кварцевыми монцодиоритами. Состав их изменяется от меланократовых диоритов до гранодиоритов, связанных между собой постепенными переходами. Вторая фаза внедрения сложена аплитовидными, биотитовыми гранитами — 8% от общей площади массива. Третья фаза внедрения представлена гранит-порфирами,

гранодиорит-порфирами, составляющими 2% от общей площади массива.

В пределах обнаженной части Колдарского массива расположено Актогайское рудное поле, в пределах которого разведаны два медно-порфировых месторождения, Актогай и Айдарлы, и рудопроявление Кызылкия (рис. 1). Рассматриваемые объекты в пределах Колдарского массива представлены различными уровнями эрозионного среза [4, 7]. Месторождение Актогай на современном уровне рельефа выходит среднерудной зоной (рис. 2), Айдарлы — верхнерудной зоной (рис. 3), Кызылкия — не установленной зоной (рис. 4, 5), предположительно — подрудной или нижнерудной.

Подрудный, верхнерудный и среднерудный уровни эрозионного среза медно-порфировых месторождений Колдарского массива четко фиксируется по количественным содержаниям элементов в литохимических ореолах и тенденциям

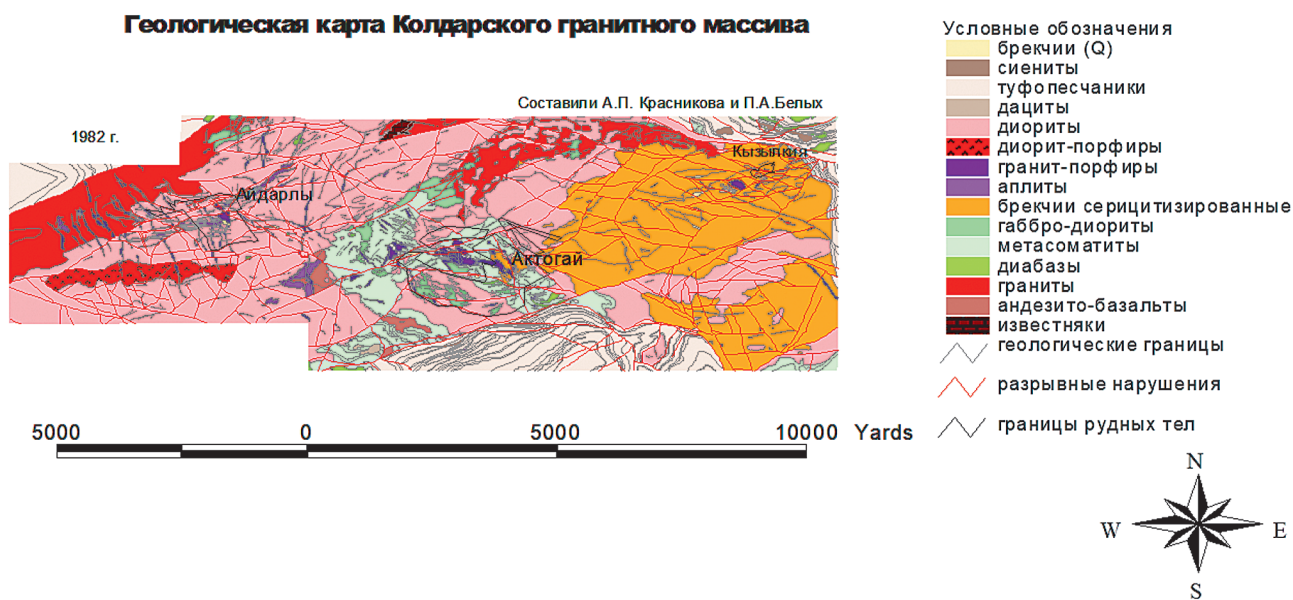


Рис. 1. Геологическая карта Колдарского гранитного массива с контурами рудных тел месторождений Айдарлы, Актогай и Кызылкия

Fig. 1. Geological map of the Koldar granite massif with contours of ore bodies of the Aidarly, Aktogay and Kyzylkiya deposits

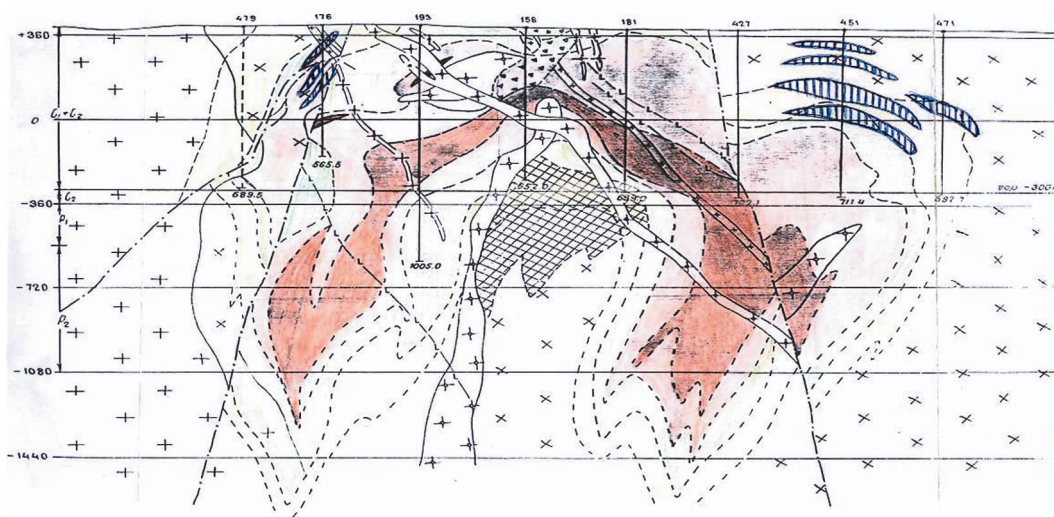


Рис. 2. Разрез по профилю 1:7 через штокерв Актогай (по материалам Сергийко Ю.А.)

Fig. 2. 1:7 profile section through Aktogay stockwork (based on materials by Sergiyko Yu.A.)

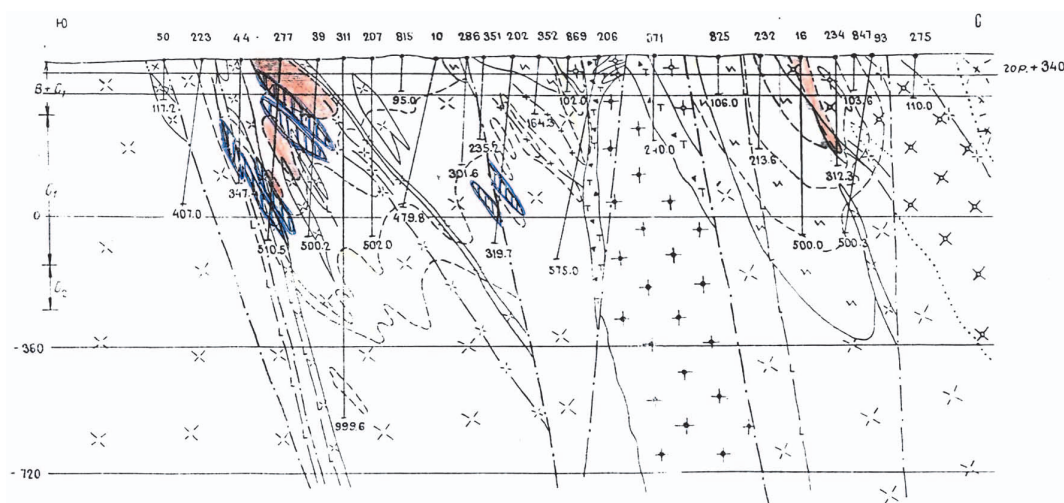


Рис. 3. Разрез по профилю K — K через штокерв Айдарлы (по материалам Сергийко Ю.А.)

Fig. 3. Section along the K — K profile through the Aidarly stockwork (based on materials by Sergiyko Yu.A.)

изменения отношений: $\text{Cu} \times \text{Mo/Pb} \times \text{Zn}$, $\text{Cu} \times \text{Mo/Cr}$, Cu/Mo , Mo/Co , Ni/Co (табл. 1). Выявленные закономерности распределения элементов в первичных ореолах над рудными объектами разной степени эродированности сопоставимы с характером поведения этих элементов в вертикальном разрезе поисковой модели медно-порфировых месторождений Сунгун (табл. 1, рис. 6).

Материалы и методы

Было проведено комплексное геолого-геохимическое исследование Колдарского массива в период с 1982 по 1991 г. с проведением партией НИЧа кафедры геологии УДН научно-исследовательских работ по южной краевой части Баканасской

впадины, рассматриваемой в качестве северо-восточного сегмента Балхашско-Илийского вулканоплутонического пояса. Было проведено литогеохимическое опробование массива. Огромная масса полученного материала подверглась компьютерной обработке, что сделало возможным сопоставление геохимических данных Актогайского рудного поля с данными опробования глубоких горизонтов месторождения Сунгун.

Результаты и обсуждение

Геохимические особенности позволяют выделить в пределах рудно-магматической системы также участки предполагаемого смешанного оруденения, где распространены минерализованные

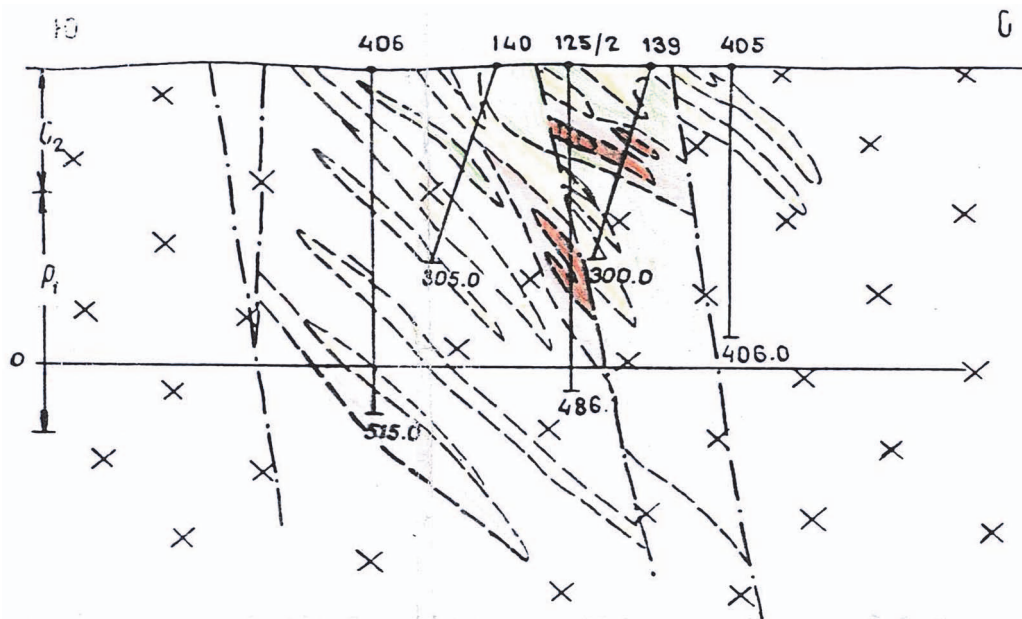


Рис. 4. Разрез по линии Ю — С через штокверк Кызылкия (по материалам Сергийко Ю.А.)

Fig. 4. The section along the line U — S through the Kyzylkiya stockwork (based on the materials of Sergiyko Yu.A.)

ксенолиты сканированных пород, и зону преобразованного оруденения, которое прослеживается вдоль Сунгунского разлома и связывается с наложением более поздних гидротермальных процессов.

Приведенные геохимические характеристики показывают, что для всех выделенных уровней и разновидностей минерализации может быть уверенно диагностирован ожидаемый тип оруденения

(Мо-Си-порфировый). По величине содержания Мо занимает второе место после Си, и сразу за ним следуют Pb, Zn и Ag — наиболее обычные индикаторы надрудной зоны.

Система выбранных элементов — индикаторов уровней минерализации создает весьма надежную основу для их опознания, хотя устанавливаемые тенденции их монотонного изменения и испытывают отклонения от стандартной схемы на участках смешанного оруденения и в зонах наложения поздних гидротермалитов. Значения отношения $Pb \times Zn / Cu \times Mo$, как и на большей части других рудно-магматических систем, от верхних горизонтов к нижним изменяются наиболее контрастно (от $3,27 \times 10^{-4}$ до $0,002 \times 10^{-4}$). Отношение Mo / Co увеличивается почти в 7 раз, от $3,0 \times 10^{-4}$ до $20,0 \times 10^{-4}$). Как и на других штокверках, отношение Cu / Mo изменяется незначительно, от $22,0 \times 10^{-4}$ до $68,0 \times 10^{-4}$). От верхнерудного к среднерудному уровню оно уменьшается от 45 до 22, а на надрудном и вскрытом среднерудном уровнях практически одинаково: меняется от $24,0 \times 10^{-4}$ до $22,0 \times 10^{-4}$ (табл. 1).

От верхнерудной зоны верхне-среднерудная отделяется по градиентной зоне изменения концентраций Ni и Co. Для месторождения Сунгун показания по Ni уменьшаются от верхнерудной до верхне-среднерудной от $1,5 \times 10^{-4}$ до $0,9 \times 10^{-4}$, а по Co — от $1,5 \times 10^{-4}$ до $0,8 \times 10^{-4}$. Для месторождений Актогайского рудного поля показания по Ni

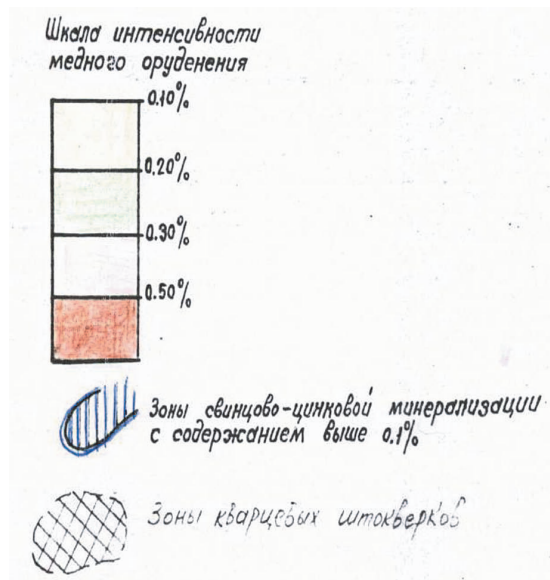


Рис. 5. Условные обозначения

Fig. 5. Symbols

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND EXPLORATION OF DEPOSITS SOLID MINERALS

Таблица. Изменения значений средних содержаний основных элементов и их отношений в зависимости от вертикального уровня

Table. Changes in the values of the average contents of the main elements and their relationships depending on the vertical level

Элементы и их отношения	Содержания: $\times 10^{-4} \%$								
	Колдарский массив (по рудным и полиметаллическому кластерам)			Медно-порфировое месторождение Сунгун (Григорян С.В.)					
	Айдарлы	Актогай	Кызылкия	Надрудная зона	Верхнерудная зона	Зона предполагаемого смешанного оруденения	Верхне-среднерудная зона	Среднерудная зона	Зона преобразованного оруденения
Cu	231,1	717,2	410,5	10	90	46	90	94	56
Mo	3,9	10,4	2,5	4,2	20	8,3	34	47	8,3
Pb	27	17	29	3,5	1,6	1,8	2,7	1,7	2,2
Zn	131,2	90,4	109,4	2,5	2,6	3,0	1,9	1,5	2,1
Ni	13,9	9,0	7,1	0,7	1,5	1,0	0,9	0,9	0,9
Co	15	12,3	9,2	0,4	1,5	0,7	0,8	0,7	0,8
Sn	2,7	3,2	2,8	1,4	2,1	1,3	1,7	1,3	2,0
Bi	1,6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	1,5	1,2
Ag	0,15	0,17	0,13	1,9	2,5	1,5	3,4	3,8	2,5
Cr	28	33	39	1,1	1,2	0,8	1,0	1,1	1,1
Mo x Cu/Pb x Zn	0,71	6,64	0,68	4,8	4,33	70,7	566,7	1732,5	100,6
Mo x Cu/Co	50	435	37	38,2	1500	477,25	3060	4016,36	422,6
Cu/Mo	59	69	162	24	45	56	26	22	68
Mo/Co	0,28	1,2	0,35	3,0	3,9	3,5	12,8	20,0	3,2
Ni/Co	0,93	0,73	0,78	1,75	1	1,43	1,13	1,29	1,13

уменьшается от месторождения Айдарлы до рудопроявления Кызылкия от $13,9 \times 10^{-4}\%$ до $7,1 \times 10^{-4}\%$, а по Co — от $15,0 \times 10^{-4}\%$ до $9,2 \times 10^{-4}\%$.

Надрудная зона Сунгунского месторождения выделяется по концентрации Cu, Mo, Pb, Zn и ряда сидерофилов. Концентрации Cu увеличиваются от надрудной зоны до среднерудной от $10,0 \times 10^{-4}\%$ до $94,0 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Mo увеличиваются от надрудной зоны до среднерудной от $4,2 \times 10^{-4}\%$ до $47,0 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Pb уменьшаются от надрудной зоны до среднерудной от $3,5 \times 10^{-4}\%$ до $1,7 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Zn уменьшаются от надрудной зоны до среднерудной от $2,5 \times 10^{-4}\%$ до $1,5 \times 10^{-4}\%$.

Изменение концентраций Cu на месторождениях Актогайского рудного поля повышается от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $231,1 \times 10^{-4}\%$ до $717,2 \times 10^{-4}\%$ и понижается на рудопроявлении Кызылкия до $410,5 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Mo повышаются от месторождения

Айдарлы до месторождения Актогай от $3,9 \times 10^{-4}\%$ до $10,4 \times 10^{-4}\%$ и понижается на рудопроявлении Кызылкия до $2,5 \times 10^{-4}\%$.

Концентрации Pb понижаются от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $27,0 \times 10^{-4}\%$ до $17,0 \times 10^{-4}\%$ и повышаются на рудопроявлении Кызылкия до $29,0 \times 10^{-4}\%$. Схожие изменения происходят с концентрациями Zn, которые понижаются от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $131,2 \times 10^{-4}\%$ до $90,4 \times 10^{-4}\%$ и повышаются на рудопроявлении Кызылкия до $109,4 \times 10^{-4}\%$.

Анализ деталей геохимической зональности Сунгунского месторождения позволяет прогнозировать промышленные концентрации как Cu, так и Mo в оруденениях каджаранского типа, в которых концентрации Cu и Mo с глубиной (от надрудного уровня к среднерудному) увеличиваются, а концентрации полиметаллов (Pb, Zn) — уменьшаются [5] (табл. 1).

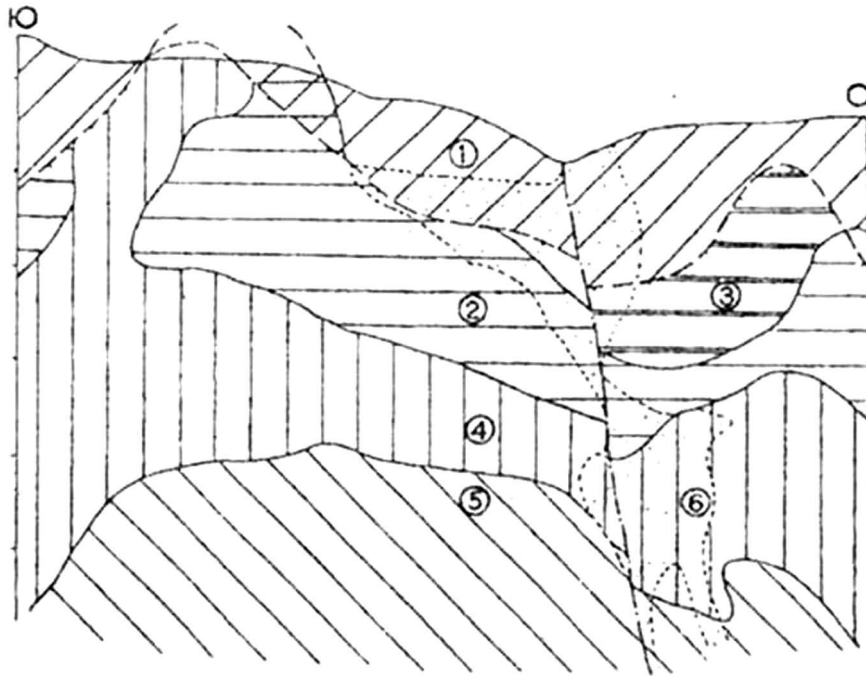


Рис. 6. Поисковая модель медно-порфирового месторождения сунгунского типа. 1 — надрудная зона; 2 — верхнерудная зона; 3 — зона предполагаемого смешанного оруденения; 4 — верхне-среднерудная зона; 5 — среднерудная зона; 6 — зона преобразованного оруденения

Fig. 6. Prospecting model of the Sungunsky type porphyry copper deposit. 1 — above-ore zone; 2 — upper-ore zone; 3 — zone of proposed mixed mineralization; 4 — upper-middle-ore zone; 5 — middle-ore zone; 6 — zone of transformed mineralization

Конечным итогом изучения геохимической зональности медно-порфирового месторождения Сунгун явилось установление показателей зональности: $Pb \times Zn/Cu \times Mo$, $Pb \times Bi/Mo^2$, $Pb \times Zn/Mo^2$, $Ag \times Pb/Cu \times Mo$, $Ag \times Zn/Cu \times Mo$, характеризующихся заметным уменьшением с глубиной в вертикальном разрезе штокверка [1, 6]. Эти сунгунские показатели зональности мы сравнили с подобными показателями зональности месторождений Колдарского массива: Айдарлы, Актогай и рудопроявления Кызылкия, что помогло установить уровень их эрозионного среза.

Заключение

В ореоле над рудопроявлением Кызылкия — с невыясненной перспективой, на наш взгляд, мы имеем дело с глубоко эродированным рудным телом. На это указывает присутствие группы элементов, отсутствующих на месторожде-

нии Сунгун и в ореолах месторождений Актогай и Айдарлы, костяк которой составляют Co , Ni и Cr с весьма высокой степенью коррелируемости. Пространственно к этой группе присоединяется целая группа других элементов — Mo , Zn , Pb , образующих устойчивые корреляционные связи (средние) с основными элементами.

Исходя из вышеприведенных фактов и существующих геологических представлений месторождение Актогай представлено среднерудным уровнем минерализации, Айдарлы — надрудно-верхнерудной зоной. Геохимическая аномалия рудопроявления Кызылкия отвечает глубоко эродированной зоне рудной минерализации. Скорее всего, на месторождении Кызылкия вскрывается подводящий канал для рудной минерализации, он пространственно компактен и характеризуется высокими содержаниями подрудных и собственно рудных элементов, с хорошими корреляционными связями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голамреза Р.* Геохимическая характеристика и прогнозная оценка медно-порфирового оруденения северо-западного Ирана: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2000. 23 с.
2. *Дьяконов В.В.* Фанерозойские палеовулканические сооружения и рудная минерализация медно-молибден-порфирового типа: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.11. М., 2011. 322 с.
3. *Дьяконов В.В., Наравас А.К., Погребс Н.А.* Новые представления о геологическом строении неопротерозойской тектоно-магматической системы Казахстана в палеозойский этап ее развития. Тезисы XIV научных чтений, посвященных памяти профессора М.В. Муратова «Проблемы региональной геологии Северной Евразии». М.: МГРИ, 2024. С. 47—51.
4. *Звездов В.С.* Модели медно-порфировых рудно-магматических систем и месторождений для прогноза, поисков и оценки: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук: 30.1.001.01. М., 2022. 553 с.
5. *Кудрявцев Ю.К., Сальников А.Е., Рахимпур Г.* Аномальные геохимические поля Мо-Си-порфировых рудообразных систем и критерии их оценки. Прикладная геохимия. 2002. Вып. 3. С. 13—15.
6. *Морозова Т.П.* Геологические факторы оценки потенциальной медно-молибденовой рудоносности Колдарского и Тайсойганского гранитоидных массивов: Вост. Прибалхашье: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.11. М., 2004, 191 с.
7. *Сергийко Ю.А., Вольхина Т.М. и др.* Отчет о детальных поисках молибденово-медного оруденения по площади Актогайского рудного поля. ПГО «Южгеология». Алма-Ата, 1982. 179 с.

REFERENCES

1. Golamreza R. Geochemical characteristics and predictive assessment of copper porphyry mineralization of northwestern Iran. Abstract of the dissertation for the degree of Cand. geol.-min. sciences, 2000. 23 p. (In Russ.).
2. Dyakonov V.V. Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of copper-molybdenum-porphyry type: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 25.00.11 M. 2011. 322 p. (In Russ.).
3. Dyakonov V.V. Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of copper-molybdenum-porphyry type: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 25.00.11. Moscow, 2011. 322 p. (In Russ.).
4. Zvezdov V.S. Models of copper-porphyry ore-magmatic systems and deposits for forecasting, prospecting and evaluation: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 30.1.001.01. Moscow, 2022. 553 p. (In Russ.).
5. Kudryavtsev Yu.K., Salnikov A.E., Rahimipur G. Anomalous geochemical fields of porphyry ore-like systems and criteria for their assessment. Applied Geochemistry. 2002. Issue 3. P. 13—15 (In Russ.).
6. Morozova T.P. Geological factors for assessing the potential copper-molybdenum ore content of the Koldar and Taisoygan granitoid massifs: East. Balkhashye: dissertation ... Cand. geol.-min. sciences: 25.00.11. Moscow. 2004. 191 p. (In Russ.).
7. Sergiyko Yu.A., Volkhina T.M., et al. A report on the detailed search for molybdenum-copper mineralization over the area of the Aktogay ore field. PGO "Yuzhgeologiya". Alma-Ata. 1982, 179 p. (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Морозова Татьяна Петровна — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Дьяконов Виктор Васильевич — проводя геологическую съемку данной территории, собрал полевой каменный материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tatiana P. Morozova — has developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Victor V. Dyakonov — conducting a geological survey of this territory, collected field stone material for the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Морозова Татьяна Петровна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117485, Россия
тел.: +7 (915) 324-65-79

e-mail: morozovatp@mgri.ru

SPIN-код: 9947-0610

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Tatiana P. Morozova* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of Department of General Geology and Geological Mapping of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia

tel.: +7 (915) 324-65-79

e-mail: morozovatp@mgri.ru

SPIN-code: 9947-0610

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Дьяконов Виктор Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

e-mail: diakonovvv@mgri.ru

SPIN-код: 8780-8588

Тел: +7 (495) 255-15-10

Victor V. Dyakonov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, head of Department of General Geology and Geological Mapping of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: diakonovvv@mgri.ru

SPIN-code: 8780-8588

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ВЗАИМОДОПОЛНЕНИЯ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С.В. КОРНИЛКОВ, П.А. РЫБНИКОВ, Л.С. РЫБНИКОВА*

*Институт горного дела УрО РАН
58, ул. Мамина-Сибиряка, г. Екатеринбург 620075, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование цифровых двойников, созданных на основе комбинирования компьютерных моделей и геоинформационных систем, позволяет всесторонне описать ситуации, складывающиеся при ведении горных работ, и обоснованно принимать управляющие решения, обеспечивающие безопасное и эффективное управление горным производством.

Цель. Обоснование подходов к созданию цифровых двойников горного производства, которые сопровождают горнодобывающие работы.

Методика (методология) проведения исследований включала литературный поиск и анализ, обобщение опыта построения цифровых двойников протекания опасных процессов для прогноза развития газодинамических явлений, управления качеством руд и процессами проведения буровзрывных работ, обоснования гидрогеохимического мониторинга и интерпретация его результатов за многолетний период с использованием численной гидрогеологической модели.

Результаты и их анализ. На примере использования численной гидрогеологической модели в составе цифрового двойника показано, что анализ результатов мониторинга и данных цифрового моделирования позволяет на каждом этапе отработки карьера в условиях многофакторной многокомпонентной ситуации подтверждать обоснованность принятых проектных решений и свидетельствует об эффективности и перспективности использования предлагаемого подхода к управлению сложной горнотехнической системой.

Выводы и область применения результатов. Комплексное использование цифровых двойников и данных геоинформационного мониторинга опасных явлений и процессов позволяет повысить эффективность горного производства на базе анализа моделей развития (реабилитации) оцениваемых явлений.

Ключевые слова: горнотехническая система, опасные процессы, цифровизация, управление, информационная копия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена при поддержке Государственного задания ИГД УрО РАН. Тема 2 (2025—2027 гг.) «Геоинформационное обеспечение системной оценки стратегий природосбережения при освоении ресурсов недр» (FUWE-2025-0002). Гр. № 1022040300092-1-1.5.1.

Для цитирования: Корнилков С.В., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С. Об основных направлениях взаимодополнения методов цифровизации и геоинформационного обеспечения горного производства. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2025;67(1):76—85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-76-85> EDN: [LXMXGF](#)

Статья поступила в редакцию 18.09.2024

Принята к публикации 11.03.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

MAIN DIRECTIONS IN COMBINING DIGITIZATION AND GEOINFORMATION METHODS FOR SUPPORTING MINING PRODUCTION

SERGEY V. KORNILKOV, PETR A. RYBNIKOV, LIUDMILA S. RYBNIKOVA*

*Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS
58, Mamin-Sibiryak str., Yekaterinburg 620075, Russia*

ABSTRACT

Background. The use of digital twins, created by combining digital models and geoinformation systems, enables a comprehensive description of situations that arise during mining operations. This facilitates informed management decisions and ensures safe and efficient management of mining operations.

Aim. Justification of approaches to the creation of digital twins of mining production, which accompany mining operations.

Methods. A literature search and review; generalization of the accumulated experience in constructing digital twins of hazardous processes to predict the development of gas dynamic phenomena; control over ore quality and drilling and blasting processes; substantiation of hydrogeochemical monitoring and interpretation of its results over prolonged periods using numerical hydrogeomigratory model.

Results and discussion. The application of a numerical hydrogeological model as a digital twin confirmed the feasibility of analyzing the results of monitoring and digital modeling for supporting decision making at each stage of quarry development under the action of various factors. The results obtained indicate the prospects of the proposed approach to managing complex hydrogeological and mining systems.

Conclusion. The combined use of digital twins and geoinformation monitoring data on hazardous phenomena and processes and their further analysis contributes to increasing the efficiency of mining production.

Keywords: mining and technological system, hazardous process, digitalization, management, digital twin

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The work was carried out with the support of the State Assignment of the IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Topic 2 (2025-2027) "Geoinformation support for the systematic assessment of environmental conservation strategies in the development of subsurface resources" (FUWE-2025-0002). Issued No. 1022040300092-1-1.5.1.

For citation: Kornilkov S.V., Rybnikov P.A., Rybnikova L.S. Main directions in combining digitization and geoinformation methods for supporting mining production. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):76—85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-76-85> EDN: [LXMXGF](https://www.edn.ru/10.32454/0016-7762-2025-67-1-76-85)

Manuscript received 18 September 2024

Accepted 11 March 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Объединяя различные математические и компьютерные модели в единую систему, можно получить новую сущность — цифровой двойник, которая позволяет всесторонне описать изделие и системно подойти к разработке, производству

и эксплуатации изделий. Применение цифровых двойников изделий в промышленности является развитием парадигмы компьютерного моделирования и цифрового инжиниринга изделий¹.

¹ ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.

Развитие цифровизации производства реализуется по 4 основным направлениям^{2,3}:

- роботизированная автоматизация процессов (RPA), организация и контроль трудовых и производственных процессов;
- интеллектуальная автоматизация с привлечением искусственного интеллекта, сокращение монотонного физического труда;
- углубленная аналитика и большие данные (Deep Learning and Big Data);
- новые средства бизнес-моделирования, имитационное моделирование (Simulation modelling), обеспечение безопасности работ и работающих.

Цифровой двойник представляет собой цифровую копию физического объекта или производственного процесса для оптимизации бизнес-процессов или повышения их эффективности. Применение цифровых двойников промышленных объектов позволяет:

- выбрать наиболее оптимальные режимы работы;
- поставить виртуальные эксперименты, которые в реальности могут быть сопряжены с риском;
- установить степень износа и вероятность выхода из строя узлов объекта по данным датчиков;
- создать информационные копии сложных объектов;
- создать двойники предприятий со всеми производственными и логистическими процессами.

Геоинформационный мониторинг опасных явлений и процессов основывается на четырех основных составляющих [5, 10, 11, 13]:

- собственно мониторинг опасного явления с получением данных об объекте в динамике его развития;
- изучение механизма зарождения и развития опасного процесса с поиском эмерджентных свойств исследуемой системы и формированием системных ограничений (индикаторов), контролируемых в процессе мониторинга;
- цифровое или аналитическое моделирование с целью изучения свойств и параметров изучаемых объектов природно-технологического комплекса;
- прогноз опасных процессов на базе анализа построенных геоинформационных моделей развития (реабилитации) оцениваемых явлений.

В качестве примеров в таблице приведены:

- *прогноз развития опасных газодинамических явлений, реализованный в виде схемы информационных потоков* [1, 7]. Данные о текущем содержании метана в рудничной атмосфере *в режиме*

он-лайн поступают от соответствующих газоанализаторов. Прогнозные геоинформационные данные о нарушенности угольного пласта на удалении до 60—80 м от очистного забоя поступают от датчиков, фиксирующих прохождение сейсмических волн, индуцируемых работой угольного комбайна. Предложенная методика расчета показателя опасности возникновения газодинамического явления служит основой для обоснования индикаторов сверхнормативного выброса метана. Заверка осуществляется стандартными методами контроля газообильности пласта и его дегазации;

- *цифровизация управления качеством руд* [2, 4, 6], реализованная в виде логистической схемы взаимодействия совокупности накопительных элементов, включающих экскаваторные забои, усреднительные склады, склады некондиционного сырья, резервные бункеры, участвующие в доставке руды из карьера на обоганительную фабрику в течение месяца, объединенные соответствующими транспортными потоками. В указанной логистической системе данные об отгрузке и переработке рудной массы *являются дискретными*, зависящими от способа накопления сырья и текущих методов контроля его качества. Заверка качества произведенной продукции осуществляется с разным по времени интервалом;

- *цифровизация управления процессами БВР* [3, 8, 12, 14], основанная на дискретных данных магнитного каротажа скважин и электропроницаемости массива, опробования бурового шлама, данных энергоемкости бурения пород по глубине взрывной скважины с целью прогноза свойств локальных массивов, распределения крупности и качества горной массы в целике и в развале, удельного расхода ВВ, и в связи с этим прогноза безопасного действия УВВ и сейсмического действия взрыва, разлета отдельных кусков горной массы;

- *цифровизация процессов гидрогеохимического мониторинга* [9, 15, 16] предусматривает высокоточные полевые измерения параметров поверхностных и подземных вод с периодическим отбором проб в точках контроля для прогноза миграции загрязняющих компонентов, оперативного анализа формирования и трансформации химического состава кислых шахтных вод, изменения гидрохимической и гидрологической обстановки.

Представленные в таблице сопоставительные данные свидетельствуют о том, что:

² ГОСТ Р 57700.22-2020. Компьютерные модели и моделирование. Классификация.

³ ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения.

Таблица. Основные параметры формируемых цифровых двойников протекания опасных процессов
Table. Main parameters of the generated doubles of the hazardous processes

Параметры формирования цифровых двойников	Наименование бизнес-процесса			
	Прогноз развития опасных газодинамических явлений	Цифровизация управления качеством руд	Цифровизация управления процессами БВР	Цифровизация процессов гидро-геохимического мониторинга
Периодичность получения данных	Онлайн	Часы	Часы-недели до нескольких лет	Недели-месяцы — до нескольких лет
Источники данных	Управление и оперирование потоками параметрических данных в координатном пространстве горного массива	Опробование в забоях, на перегрузочных пунктах, в транспортных средствах, при обогащении	Данные бурения, опробование керна, карты качества взорванной горной массы	Высокоточные полевые измерения параметров поверхностных и подземных вод
Конечные датчики	Газоанализаторы, сейсмодатчики	Каротаж скважин, опробование бурового шлама, забойное опробование, контроль готовой продукции и хвостов	Каротаж скважин, опробование бурового шлама, данные энергоемкости бурения	Отбор проб в точках контроля, определение показателей окислительно-восстановительных условий района ведения работ
Модель процесса	Рейтинговая модель прогноза геогазодинамического состояния горного массива в процессах подземной разработки угольных месторождений	Цифровая модель совокупности запасов и их качества на буровых блоках, в забоях, на складах, на колесах, в бункерах	Модель и качество горной массы в целике, в развале, прогноз распределения крупности, распространения ударной воздушной волны, сейсмического действия, разлета осколков	ГИС оперативного анализа формирования и трансформации химического состава кислых шахтных вод, изменения гидрохимической и гидрологической обстановки
Компенсация колеблемости	Упреждающие технические действия по дегазации пласта. Вывод людей из опасной зоны	Накопительные и усреднительные емкости, интенсивность перемещения отдельных логистических потоков	Корректировочные расчеты, моделирование перемещения горной массы взрывом, прогноз качества разрушения	Гидрогеомиграционное моделирование, оценка балансовых составляющих потоков, расчеты форм миграции загрязняющих компонентов

• геоинформационные модели — это база для организации мониторинга контролируемых опасных процессов горного производства. Цифровизация и создание двойников является дальнейшим развитием методики прогноза по данным мониторинга;

• исходя из специфики процессов, возникающих при ведении горных работ, следует иметь в виду, что их протекание характеризуется значительным разбросом по времени, а организация непрерывного цифрового контроля представляет в большинстве своем значительную сложность, и зачастую оценка модели состояния объекта будет

осуществляться дискретно, по мере поступления текущих данных об объекте;

• основное требование к цифровым двойникам: онлайн-режим поступления и пополнения данных, наличие конечных датчиков, обеспечивающих мониторинг, анализ и принятие решений в режиме реального времени — на практике не всегда выполнимо, однако может быть компенсировано использованием данных геоинформационного моделирования.

Поэтому привязка во времени и пространстве, основанная на геоинформационной обработке геомеханических и горнотехнических

параметров геосистем, переноса и распространения загрязнений и пр., является актуальной как для разработки горно-геологических информационных систем (ГГИС), так и для создания цифровых двойников.

В методике создания цифровых двойников на первых же этапах необходимо в обязательном порядке обосновать, каким горным предприятиям функционально необходимо использовать ГГИС, комплексный мониторинг или 3D цифровые двойники. Это прежде всего определяется масштабами производства, сложностью горно-геологических условий и технологической сложностью производства. При введении новых подходов к управлению производством необходимо предусматривать некие переходные процессы, обеспечивающие поэтапный переход к цифровизации бизнес-процессов.

Немаловажным фактором является прогноз степени защищенности горно-промышленных территорий в связи с ведением хозяйственной деятельности, имея в виду, что защищенность — это способность природно-технологической системы восстанавливать свои свойства в результате воздействия на нее внешних или внутренних природных, технологических или экономических факторов. Степень защищенности системы может быть охарактеризована индикаторами, превышение которых разрушает или изменяет свойства системы. Поэтому такие оценки рекомендуется осуществлять по данным геоинформационного мониторинга, а изучение основных факторов, влияющих

на протекание бизнес-процессов, осуществлять на базе цифровых двойников.

Эффективность создания такого вида цифровых двойников для управления гидрогеологической составляющей горнотехнической системы может быть проиллюстрирована на примере Ново-Сухоложского карьера аргиллитов, расположенного в непосредственной близости от законсервированных свалок твердых и жидких отходов.

Необходимость создания цифрового двойника связана с вероятностью подтягивания загрязнения от свалок при работе карьерного водоотлива. Для этого используется численное геофильтрационное и гидрогеомиграционное моделирование — решение систем уравнений в частных производных, описывающих движение воды в горных породах и перенос загрязнений, методами конечных разностей или конечных элементов.

Основной задачей организованного мониторинга является оценка и прогноз изменений в состоянии компонентов природной среды при реализации проектных решений по отработке карьера и разработка рекомендаций по предотвращению возможных негативных воздействий на окружающую среду (рис. 1). Для этого создана проектная геоинформационная модель, характеризующая общий порядок поэтапного развития работ с выделением 4 этапов. Границы этапов выделены исходя из условий ведения работ в имеющемся земельном отводе и перенесения на более поздние сроки отработки участков, непосредственно примыкающих к зоне рекультивированной городской

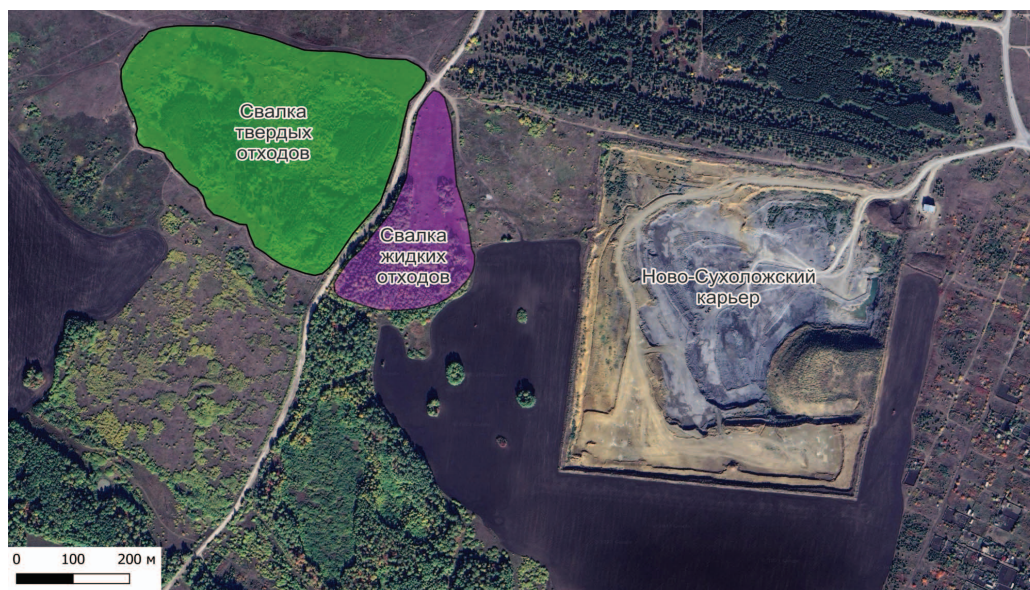


Рис. 1. Расположение свалок твердых и жидких отходов в районе Ново-Сухоложского карьера аргиллитов
Fig. 1. Location of solid and liquid waste dumps in the area of the Novo-Sukholozhsky argillite quarry

свалки. Контроль проектных решений осуществляется созданием информационной модели текущих положений горных работ по данным маркшейдерских съемок.

Результаты наблюдений за уровнем подземных вод по наблюдательной сети скважин в районе Ново-Сухоложского карьера свидетельствуют о том, что до настоящего времени дренажный водоотлив оказывает незначительное влияние на гидродинамический режим подземных вод. Динамика гидродинамического режима, характеризующаяся изменением положения гидроизогипс в пространстве и во времени, оценена соответствующими геоинформационными моделями.

Тем не менее за 20 лет отработки приток подземных вод к карьеру увеличился от 1093 до 1650 м³/сут. Источниками формирования водоотлива являются сокращение разгрузки подземных вод в р. Пышма, сработка емкости

водовмещающих пород и инфильтрационное питание на площади водосбора. Абсолютные отметки уровня подземных вод в районе месторождения уменьшились от 177 до 160 м.

Максимальное снижение уровня подземных вод (6,9 м от статического) на 2021 г. наблюдается в скважине № 17сн, расположенной вблизи свалки твердых бытовых отходов. В скважинах, расположенных на расстоянии от 500 до 875 м от зумпфа (5сн, 7сн, 8сн) на участках, характеризующихся естественным или слабонарушенным режимом подземных вод, снижение среднегодового уровня в 2021 г. по сравнению с 2000 г. составило 1,7—3,1 м.

Результаты гидрохимических исследований 2000—2021 гг. показывают, что тенденция распространения загрязнения от свалок по потоку подземных вод в северо-восточном и восточном направлении в сторону Ново-Сухоложского карьера аргиллитов сохраняется (рис. 2).

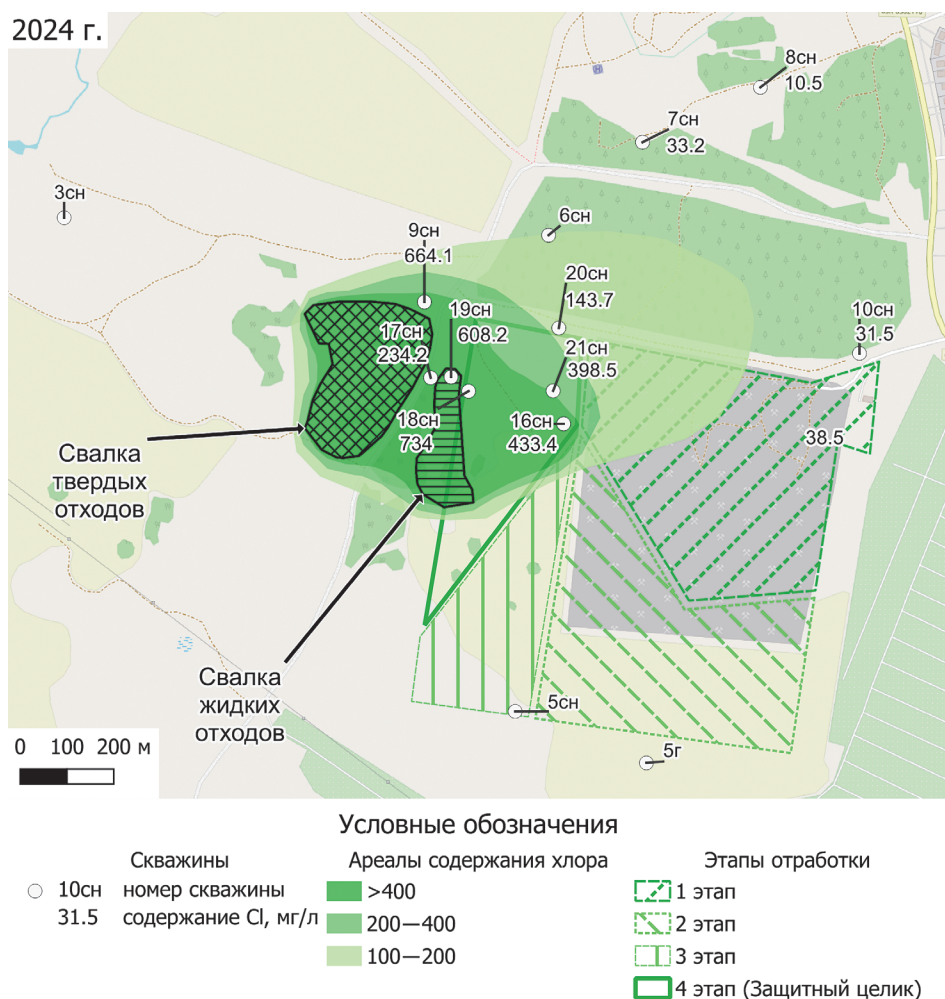


Рис. 2. Ареал загрязнения по хлор-иону

Fig. 2. Area of contamination by chlorine ion

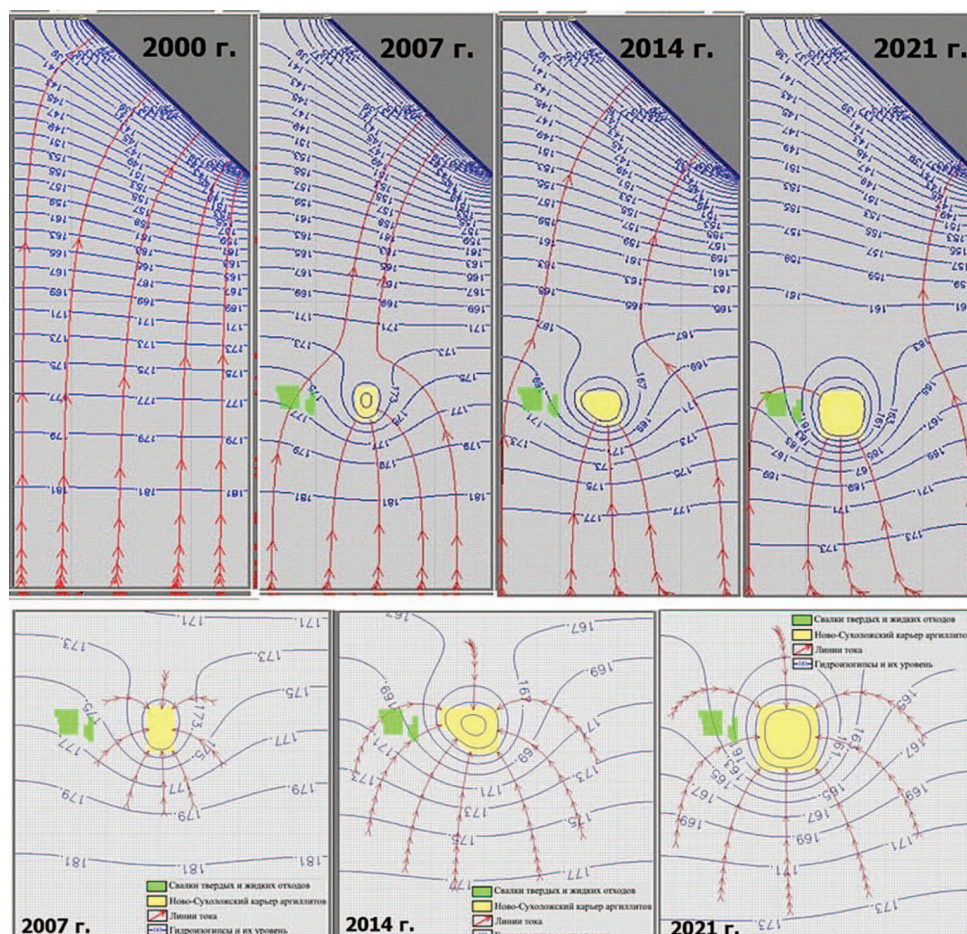


Рис. 3. Гидродинамическая сетка в районе Ново-Сухоложского карьера в различные моменты его освоения (внизу приведены модели-врезки на район карьера, размер модельного блока 25×25 м). Красными стрелками показаны линии тока (направление движения подземных вод)

Fig. 3. Hydrodynamic grid in the Novo-Sukholozhsky quarry area at various stages of its development (insert models for the quarry area are shown below, the size of the model block is 25×25 m). The red arrows show the flow lines (direction of groundwater movement)

В естественных гидрогеологических условиях линии тока были направлены на север, к р. Пышма. Через 7 лет после начала отработки месторождения линии тока разделились, часть идет по направлению к реке на север, часть устремилась к карьерному зумпфу (рис. 3). Концентрация хлор-иона в зумпфе карьера увеличилась в 5,5 раза, на западном борту карьера достигла 61,2 мг/л, в скважине № 16сн (между карьером и свалками твердых и жидких отходов) возросла с 315,5 до 383,6 мг/л. Через 14 лет отработки, по сравнению с 2007 г., концентрация хлор-иона в зумпфе выросла в 1,2 раза, на западном борту — в 2,5 раза, в скважине № 16сн — в 1,5 раза.

Через 21 год отработки месторождения приток подземных вод к зумпфу увеличился

в 1,6 раза, загрязненные воды разбавляются чистыми, что привело к снижению концентрации хлор-иона в зумпфе в 1,3 раза, на западном борту карьера аргиллитов концентрация практически не изменилась. В скважине № 16сн концентрация хлор-иона уменьшилась в 1,2 раза.

В дальнейшем прогнозируемая ситуация с химическим загрязнением дренажных вод Ново-Сухоложского карьера улучшается, так как происходит разбавление привлекаемыми подземными водами с условно «чистых» территорий.

Приведенный пример использования численной гидрогеологической модели в составе цифрового двойника показывает, что анализ результатов мониторинга и данных цифрового моделирования позволяет на каждом этапе отработки карьера подтверждать обоснованность принятых

проектных решений и свидетельствует об эффективности и перспективности использования предлагаемого подхода к управлению сложной горнотехнической системой.

Применительно к геоинформационному мониторингу опасных производственных, геомеханических и экологических процессов необходимо:

- сопоставить, согласовать и уточнить цели и задачи цифровизации и геоинформационных исследований;

- выявить общие черты подходов к обработке данных;
- охарактеризовать различия в подходах к описанию трансформации объектов во времени, учитывая периодичность появления актуальных данных;
- определить граничные условия, определяющие устойчивость моделируемых и изучаемых систем к воздействию внешних и внутренних факторов;
- выявить величину первичных признаков дестабилизации системы и факторов, угрожающих ее разрушению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманов М.И., Лапин С.Э., Шнайдер И.В. Создание цифровой модели структуры выемочного столба лавы методом сейсмозондирования. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11—12. С. 148—158.
2. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., Авдеев А.Н., Харисова О.Д. Обоснование оптимального порядка отработки рудной залежи в условиях высоких напряжений и низкой прочности массива. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 3. С. 55—65.
3. Жариков С.Н., Кутуев В.А. О свойствах объекта разрушения и параметрах взрывной отбойки на карьерах. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 3. С. 283—289.
4. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. Оценка тенденций изменения качества железной руды сростом глубины отработки месторождений Качканарской группы. Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 2(124). С. 29—37.
5. Корнилов С.В., Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Смирнов А.Ю. Геоинформационный мониторинг для решения экологических задач горнопромышленных территорий Среднего Урала. Горная промышленность. 2022. № S1. С. 127—133.
6. Корнилов С.В., Яковлев А.М. Совершенствование прогноза качественных показателей полезных ископаемых в карьере на основе блочного моделирования. Проблемы недропользования. 2023. № 3(38). С. 47—58.
7. Лапин С.Э. Методология построения и практика применения геоинформационной системы прогноза динамики состояния горного массива в процессах подземной разработки угольных месторождений: дисс. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2020. 243 с.
8. Русских А.П., Корнилов С.В., Авдеев А.Н., Харисов Т.Ф. О процедуре расчета параметров буровзрывных работ, основанной на экспресс-оценке параметров дробимости пород массива. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 4. С. 496—505.
9. Рыбников П.А., Рыбникова Л.С. Изменение разгрузки подземных вод при отработке месторождений цементного сырья (Свердловская область, г. Сухой Лог). Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России, Москва, 4—5 апреля 2017 года М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2017. Т. 19. С. 410—415.
10. Рыбникова Л.С., Наволокина В.Ю. Оценка состояния гидросферы природно-технических систем с использованием данных геоинформационного мониторинга (на примере бассейна р. Тагил, Средний Урал). Подземная гидросфера: материалы XXIII Всероссийского совещания по подземным водам востока России с международным участием, Иркутск, 20—26 июня 2021 года. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С. 534—538.
11. Соколов И.В., Корнилов С.В., Панжин А.А. Геоинформационные технологии сопровождения процессов горного производства. Горная промышленность. 2023. № S5. С. 41—46.
12. Соколов И.В., Рожков А.А., Барановский К.В. Параметризация технологии снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке месторождений. Горная промышленность. 2023. № 5. С. 78—82.
13. Стадник Д.А., Стадник Н.М., Лопушняк Е.В. К вопросу разработки методических основ информационного моделирования горных предприятий. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 3. С. 187—200. EDN: SGZFOR
14. Яковлев В.Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. № 7. С. 5—20.
15. Mugova E., Molaba L., Walkersdorfer C. Understanding the Mechanisms and Implications of the First Flush in Mine Pools: Insights from Field Studies in Europe's

Deepest Metal Mine and Analogue Modelling. Mine Water and the Environment. 2024. Vol. 43. Iss. 1. P. 73—86.

16. Sengupta M. Environmental Impacts of Mining. Monitoring, Restoration, and Control. Boca Raton: CRC Press, 2021. 374 p.

REFERENCES

1. Abdrahmanov M.I., Lapin S.E., SHnajder I.V. Creation of a digital model of the structure of a lava column using seismic sounding. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal), 2022, no. 11–2, pp. 148–158. (In Russian).
2. Balek A.E., Harisov T.F., Avdeev A.N., Harisova O.D. Justification of the optimal order of mining an ore deposit under conditions of high stress and low strength of the massif. News of higher educational institutions. Mining magazine, 2023, no 3. P. 55—65 (In Russ.).
3. Zharikov S.N., Kutuev V.A. On the properties of the object of destruction and the parameters of blasting in quarries. News of Tula State University. Earth Sciences. 2022, no. 3. P. 283—289 (In Russ.).
4. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M. Evaluation of trends in the change in the quality of iron ore with increasing depth of mining of the Kachkanar group of deposits. Mine surveying and subsoil use. 2023, no. 2(124). P. 29—37 (In Russ.).
5. Kornilov S.V., Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu. Geoinformation monitoring for solving environmental problems of mining areas of the Middle Urals. Mining industry. 2022, no. S1. P. 127—133 (In Russ.).
6. Kornilov S.V., Yakovlev A.M. Improving the forecast of quality indicators of minerals in a quarry based on block modeling. Problems of subsoil use. 2023, no. 3(38). P. 47—58 (In Russ.).
7. Lapin S.E. Methodology of construction and practice of application of geoinformation system for forecasting dynamics of state of rock mass in processes of underground development of coal deposits: Diss. ... Doctor of Technical Sciences. Yekaterinburg, 2020. 243 p. (In Russ.).
8. Russkih A.P., Kornilov S.V., Avdeev A.N., Harisov T.F. On the procedure for calculating the parameters of drilling and blasting operations based on the express assessment of the parameters of rock massif crushability. News of Tula State University. Earth Sciences. 2023, no. 4. P. 496—505 (In Russ.).
9. Rybnikov P.A., Rybnikova L.S. Changes in groundwater discharge during the development of cement raw material deposits (Sverdlovsk region, Sukhoi Log). Sergeev Readings. Geocological Safety of Mineral Deposit Development: Proceedings of the Annual Session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Problems of Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology within the Framework of the Year of Ecology in Russia, Moscow, April 4—5, 2017. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), 2017. P. 410—415 (In Russ.).
10. Rybnikova L.S., Navolokina V.Yu. Assessment of the state of the hydrosphere of natural and technical systems using geoinformation monitoring data (using the example of the Tagil River basin, the Middle Urals). Underground hydrosphere: Proceedings of the XXIII All-Russian Conference on Groundwater in the East of Russia with International Participation, Irkutsk, June 20—26, 2021. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2021. P. 534—538 (In Russ.).
11. Sokolov I.V., Kornilov S.V., Panzhin A.A. Geoinformation technologies for supporting mining production processes. Mining industry, 2023, no. S5. P. 41—46 (In Russ.).
12. Sokolov I.V., Rozhkov A.A., Baranovskij K.V. Parameterization of technology for reducing damage from ore overgrinding during underground mining. Mining industry. 2023, no. 5. P. 78—82 (In Russ.).
13. Stadnik D.A., Stadnik N.M., Pushnyak E.V. On the issue of developing methodological foundations for information modeling of mining enterprises. Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. 2022. No. 3. P. 187—200. EDN: SGZF0R
14. Yakovlev V. L. On the methodology of integrated development of solid mineral deposits for the development of a strategy for the development of Russia's mineral resource base. News of higher educational institutions. Mining magazine. 2020. No. 7. P. 5—20 (In Russ.).
15. Mugova E., Molaba L., Wolkersdorfer C. Understanding the Mechanisms and Implications of the First Flush in Mine Pools: Insights from Field Studies in Europe's Deepest Metal Mine and Analogue Modelling. Mine Water and the Environment. 2024. Vol. 43. Iss. 1. P. 73—86.
16. Sengupta M. Environmental Impacts of Mining. Monitoring, Restoration, and Control. Boca Raton: CRC Press, 2021. 374 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Корнилов С.В. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey V. Kornilov — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Рыбников П.А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Рыбникова Л.С. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Petr A. Rybnikov — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Liudmila S. Rybnikova — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Корнилков Сергей Викторович — доктор технических наук, главный научный сотрудник, ИГД УрО РАН.

58, ул. Мамина-Сибиряка, г. Екатеринбург 620075, Россия

e-mail: kornilkov@igduran.ru

тел.: +7 (343) 350-64-30

SPIN-код: 6812-6970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3432-1449>

Sergey V. Kornilkov — Dr. Sci. (Tech.), Chief Researcher, Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS.

58, Mamina-Sibiryaka str., Yekaterinburg 620075, Russia

e-mail: kornilkov@igduran.ru

tel.: +7 (343) 350-64-30

SPIN-code: 6812-6970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3432-1449>

Рыбников Петр Андреевич — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ИГД УрО РАН.

58, ул. Мамина-Сибиряка, г. Екатеринбург 620075, Россия

e-mail: ribnikoff@yandex.ru

тел.: +7 (343) 350-71-49

SPIN-код: 7265-2944

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7829-5035>

Petr A. Rybnikov — Cand. Sci. (Geol.-Min.), leading researcher, Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS.

58, Mamina-Sibiryaka str., Yekaterinburg, 620075, Russia

e-mail: ribnikoff@yandex.ru

tel.: +7 (343) 350-71-49

SPIN-code: 7265-2944

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7829-5035>

Рыбникова Людмила Сергеевна* — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник ИГД УрО РАН.

58, ул. Мамина-Сибиряка, г. Екатеринбург 620075, Россия

e-mail: luserib@mail.ru

тел.: +7 (343) 350-71-49

SPIN-код: 2680-2676

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4221-7879>

Liudmila S. Rybnikova* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Chief Researcher, Institute of Mining of the Ural Branch of the RAS.

58, Mamina-Sibiryaka str., Yekaterinburg, 620075, Russia

e-mail: luserib@mail.ru

tel.: +7 (343) 350-71-49

SPIN-code: 2680-2676

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4221-7879>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБЛАСТЕЙ СРЕДЫ, НАХОДЯЩИХСЯ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ ГЕНЕРАТОРНОЙ ПЕТЛИ, НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ЗС_Б В МИКРОСЕКУНДНОМ ДИАПАЗОНЕ

П.В. НОВИКОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗС_Б) основан на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике. Первоначально измерения переходного процесса проводили на временах от 100 мс и более, но в 1990-е годы началось активное изучение переходных процессов в микросекундном диапазоне. Поскольку микросекундный диапазон соответствует частотам, близким к 1 МГц, то некоторые параметры установок, которыми ранее пренебрегали, начали вносить существенный вклад в измеряемый сигнал. При этом оценка влияния диэлектрической проницаемости среды, находящейся в непосредственной близости к генераторной петле, не проводилась.

Цель. Экспериментальная оценка влияния диэлектрической проницаемости среды, находящейся в непосредственной близости к генераторной петле, на измеряемый переходный процесс.

Материалы и методы. Метод исследования — полевой эксперимент и анализ полученных результатов.

Результаты. Приведены результаты измерений переходного процесса при различных параметрах среды, находящейся в непосредственной близости к генераторной петле. Произведена оценка полученных результатов.

Заключение. 1. При работе на ранних (0,1—10 мкс) временах методом ЗС_Б с использованием в качестве источника незаземленного контура с током возможно получение сигналов, искаженных собственными процессами петли из-за влияния параметров среды, в которой находится генераторная петля. 2. Шунтирующее сопротивление должно подбираться в зависимости как от размеров генераторной петли, так и от эффективных параметров среды, в которых находится генераторная петля.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, зондирование становлением поля, критический режим, генераторная петля, верхняя часть разреза

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Новиков П.В. Оценка влияния диэлектрической проницаемости областей среды, находящихся в непосредственной близости от генераторной петли, на результаты измерений методом ЗС_Б в микросекундном диапазоне. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):86—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-86-94> EDN: [NPDNOR](#)

Статья поступила в редакцию 30.07.2024

Принята к публикации 18.02.2025

Опубликована 31.03.2025

EFFECT OF DIELECTRIC CONTINUITY OF MEDIA IN IMMEDIATE PROXIMITY TO THE GENERATOR LOOP ON RESULTS OF NEAR-FIELD TRANSIENT ELECTROMAGNETIC SOUNDING IN THE MICROSECOND RANGE

PETR V. NOVIKOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The method of near-field transient electromagnetic sounding (TEM) involves the study of transient fields excited in the earth under the action of changes in the source current. Initially, transient measurements were conducted at times from 100ms and greater; however, in the 1990s, an active study of transient fields in the microsecond range began. Since the microsecond range corresponds to frequencies close to 1 MHz, some parameters of installations, which had been previously neglected, began to attract attention due to their significant contribution to the measured signal. In the 1990s, research was initiated to assess the effect of various installation parameters on measurement results in the microsecond range. At the same time, the effect of the dielectric constant of media in immediate proximity to the generator loop has not been evaluated.

Aim. Experimental evaluation of the effect of the dielectric constant of a medium in immediate proximity to the generator loop on the measured transient process.

Materials and methods. Field experiments and analysis of the results obtained.

Results. The results of measuring transient fields at various parameters of the medium located in immediate proximity to the generator loop are presented. Their analysis is carried out.

Conclusion. (1) When working at early (0.1—10 ms) times by the TEM method using an ungrounded current loop as a source, it can be possible to receive signals distorted by processes occurring in the loop itself due to the external parameters of the medium in which the generator loop is located. (2) The shunt resistance should be selected depending on both the size of the generator loop and the effective parameters of the medium in which the generator loop is located.

Keywords: dielectric constant, near-field transient electromagnetic sounding, critical mode, generator loop, upper part of the section

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Novikov P.V. Effect of dielectric continuity of media in immediate proximity to the generator loop on results of near-field transient electromagnetic sounding in the microsecond range. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):86—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-86-94> EDN: [NPDNOR](https://npdnor.ru)

Manuscript received 30 July 2024

Accepted 18 February 2025

Published 31 March 2025

Введение

Метод ЗС_б был разработан в 1960-х годах как метод исследования горизонтально-слоистых геологических сред с использованием нестационарного электромагнитного поля [13]. Все эти годы метод совершенствовался как в теоретической, так и в аппаратной части [14]. При этом существен-

ное внимание исследователей уделялось расширению возможностей метода в область малых глубин, что приводило к необходимости исследовать поле в области малых (1—10 мкс) времен [15]. При проведении исследований в области малых времен был выявлен ряд факторов, искажающих результаты измерений, таких как собственный

процесс в генераторном контуре [2]. Были выработаны рекомендации [3] и разработаны методики, позволяющие производить работы на малых временах [4,7—9]. При этом все оценки производились для генераторной петли, находящейся в среде с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 1 [10, 12].

Исследования в области малых времен активно используются производственными организациями, проводящими инженерные изыскания. Одной из таких организаций при проведении работ в области малых времен были получены результаты работ с ложными слоями в самой верхней части геологического разреза. Ложность слоев была подтверждена вскрышными работами. Возникло предположение, что на результат могут влиять факторы, которые не учитывались при измерениях на временах 1—10 мкс.

Был проведен анализ методики работ, при которых были получены результаты с ложными слоями. Было выяснено, что поскольку индуктивные методы считаются «всепогодными», то генераторная петля оказывается в самых разных условиях: лежащая в воде, в снегу и т.п. В связи с этим было решено произвести оценку параметров среды, которые могут повлиять на собственный переходный процесс петли.

Первый (экспериментальный) этап исследований ставил своей целью оценить возможные искажения результатов измерений недоучетом условий, в которых может оказаться генераторная петля, и выработать рекомендации по методическим и аппаратным вопросам для устранения или снижения влияния этого фактора на конечные результаты работ методом ЗС_б при малоглубинных исследованиях.

После проведения полевых экспериментов, подтвердивших правильность предположения о влиянии диэлектрической проницаемости сре-

ды, находящейся в непосредственной близости от генераторной петли, на результаты измерений, были проведены дополнительные эксперименты с целью изучения возможностей по снижению искажений.

Методика проведения эксперимента

Перед проводимыми исследованиями были поставлены следующие задачи: выяснить источник возникающих искажений сигнала, определить диапазон изменения параметра среды, влияющего на искажения сигнала, оценить возможность снижения искажений как методическим, так и аппаратным путем и выработать рекомендации для производственных организаций, позволяющие избежать искажений сигнала.

Решение задачи состояло из следующих этапов.

1. Выбор и обоснование размеров генераторной петли для проведения исследований.

Поскольку изучаемые нами искажения переходного процесса наблюдаются при малоглубинных исследованиях, для исследования была выбрана установка, чаще всего используемая в инженерной геофизике. Для получения сигналов, которые можно измерить в интересующем нас временном диапазоне без дополнительного усиления (исключение влияния характеристик усилителя на переходный процесс), было решено использовать одновитковую генераторную петлю размером 5×5 м. Второй причиной использования петли вышеуказанного размера была задача избавиться от искажений, вызываемых собственным процессом в петле, для случая, когда петля находится в среде с $\epsilon_{\text{отн}} = 1$. Кроме того, для упрощения расчетов была поставлена задача проведения измерений в условиях ближней зоны над однородным полупространством, что позволило упростить расчеты и исключить влияние программ вычисления σ_k на результаты.

2. Создание макета установки для проведения полевых измерений.

Так как исследования носили экспериментальный характер, то одним из требований к установке было минимальное количество специализированного оборудования. Для проведения экспериментов был собран макет установки, состоящий из генератора однополярных прямоугольных импульсов, генераторной петли размером 5×5 м и цифрового осциллографа. Схема установки представлена на рисунке 1.

Перед проведением полевых экспериментов в лабораторных условиях были измерены основные параметры установки.

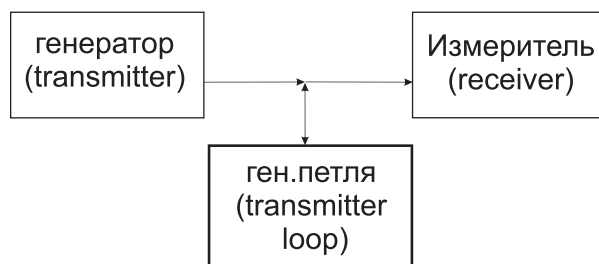


Рис. 1. Схема установки, использовавшейся при проведении эксперимента

Fig. 1. Diagram of the installation used during the experiment

По результатам лабораторных испытаний получены следующие характеристики:

- скорость выключения тока амплитудой 0,25 А на активной нагрузке 0,2 мкс;
- максимальное напряжение «эмиттер — коллектор выходного транзистора» 800 В;
- граничная частота коэффициента передачи тока 80 МГц.

В качестве измерителя был использован высокочастотный цифровой осциллограф, подключаемый к ноутбуку.

Основные параметры измерителя, критичные в проводимом эксперименте:

- частота пропускания 200 МГц;
- время нарастания переходной характеристики 1,75 нс;
- частота дискретизации 1000 МГц.

3. Проведение полевых измерений.

При проведении полевых экспериментов использовался диапазон токов 0,05—0,1 А для того, чтобы снизить амплитуду импульса самоиндукции, возникающего в момент выключения тока, и тем самым снизить его влияние на результаты измерений.

Для проведения полевых экспериментов был выбран участок с однородным первым слоем большой мощности. При этом на ранних временах подобный разрез можно было аппроксимировать однородным полупространством и исключить влияние программ, использовавшихся при интерпретации, на результаты эксперимента.

Для расчетов генераторная петля рассматривалась как прямоугольный виток провода, обладающий эффективными параметрами: активным сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью

C , образующими колебательный контур, шунтированный активным сопротивлением $R_{\text{ш}}$, позволяющим менять режим колебаний в контуре. Эквивалентная электрическая схема генераторной петли представлена на рисунке 2.

Перед проведением экспериментов были определены параметры получившегося колебательно-го контура при расположении его на высоте 1 м над землей в сухую погоду. Для расчета параметров использовались следующие формулы [5]:

$$L = 0,4l \left[\ln \left(\frac{4l}{r(1+\sqrt{2})} \right) + 1,25 \right] \text{ мкГн.} \quad (1)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \left[h/r + \sqrt{(h/r)^2 - 1} \right]} \Phi.,$$

где l — сторона петли, r — радиус провода, h — высота провода над землей, ϵ — диэлектрическая проницаемость.

Были получены следующие параметры $L = 32$ мкГн, $R = 1,5$ Ом, $C = 140$ пФ. При этом резонансная частота получившегося колебательного контура составила 14 МГц. Волновое сопротивление Z (импеданс) получившегося колебательного контура равно 228 Ом. Для получения «критического» режима выключения добротность контура Q должна быть равна 0,5, для этого сопротивление шунтирующего резистора должно быть равно $2Z$, т.е. 456 Ом. При таких параметрах декремент затухания равен $2,4 \times 10^9$, а время релаксации 0,042 нс, что соответствует времени собственного переходного процесса, равному 0,12 нс. Проверка при проведении натурного эксперимента показала правильность вычислений основных параметров контура. Для оценки влияния диэлектрической проницаемости областей, непосредственно прилегающих к генераторной петле, была выбрана площадка размером 300×300 м, подготовленная когда-то для добычи песка, но затем временно не эксплуатировавшаяся. Площадка практически лишена почвенного слоя, покрыта высокой травой и состояла из двух областей: песчаной и глинистой. Мощность песка оценивается в 50—70 м. Схематический разрез по участку работ приведен на рисунке 3.

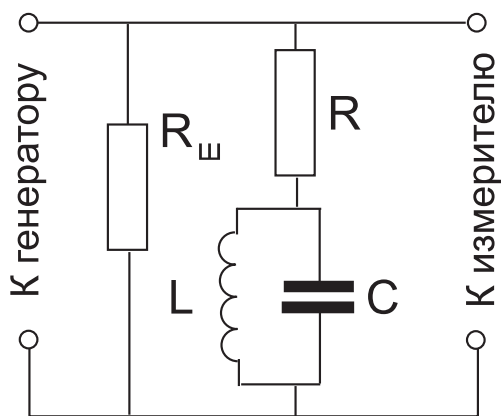


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема генераторной петли

Fig. 2. Equivalent electrical circuit of the generator loop

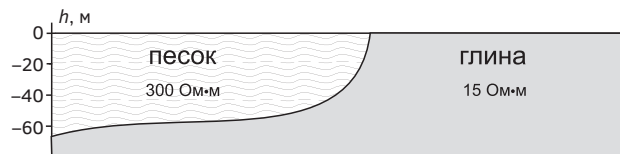


Рис. 3. Схематический разрез по участку работ
Fig. 3. Schematic section of the work site

При таких мощностях можно на ранних временах аппроксимировать разрез однородным полупространством.

На участке был проведен ряд экспериментов с целью оценить влияние на результат измерений области среды, непосредственно примыкающей к генераторной петле. Для оценки применимости для расчетов сигнала формул ближней зоны был рассчитан обобщенный показатель τ , с учетом того, что среда немагнитна [6, 11].

$$\tau = t\rho / (\mu_0 L^2), \quad (2)$$

где t — время регистрации переходного процесса, ρ — удельное сопротивление среды, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м, L — половина стороны петли.

Расчет показал, что для среды с сопротивлением 10 Ом·м и более, начиная с времени регистрации переходного процесса, равного 1 мкс, мы находимся в условиях ближней зоны. На участке, выбранном для проведения эксперимента, сопротивление глин составляло 15 Ом·м, а сопротивление песков — 300 Ом·м в условиях естественной влажности.

Эксперимент проводился следующим образом: на выбранном участке с помощью деревянных стоек растягивалась петля на высоте 0,5 м над землей. От петли отсоединяли шунтирующий резистор и переводили получившийся RLC-контур в колебательный режим. После перевода контура в колебательный режим по первым двум максимумам определялся период собственной частоты контура, как показано на рисунке 4.

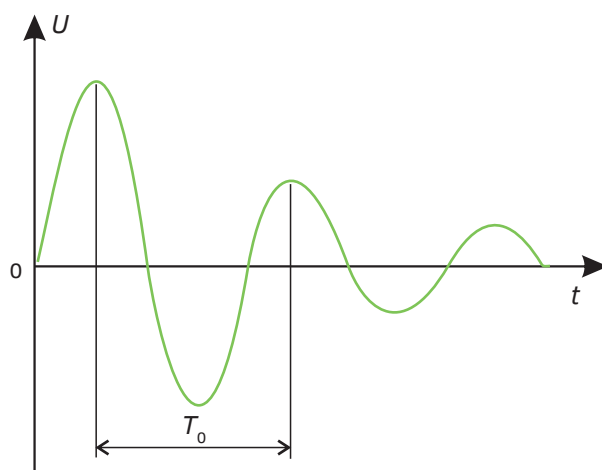


Рис. 4. Методика определения собственной частоты контура
Fig. 4. The method of determining the natural frequency of the circuit

По результатам измерений периода собственных колебаний рассчитывались эффективная емкость C , эффективная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{эфф}$ и сопротивление шунтирующего резистора $R_{ш}$ (3).

$$C_{эфф} = \left(\frac{T_0}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{L} \varepsilon_{эфф} = \frac{C}{2\pi L} \ln \left[\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r} \right)^2 - 1} \right] R_{ш} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (3)$$

Резистор с сопротивлением, рассчитанным на предыдущем шаге, подключался к петле, после чего производились измерения переходного процесса в интервале времен от 1 до 100 мкс. После этого петля укладывалась на землю и производились измерения без изменения величины шунтирующего резистора. Не меняя положения петли, производились операции, аналогичные описанным в предыдущем абзаце, для определения сопротивления шунтирующего резистора, необходимого для введения петли в критический режим. После этого производились измерения переходного процесса. Для оценки достоверности результатов производились контрольные измерения. Процент контрольных измерений составил 5%. Все полученные в ходе эксперимента кривые $U(t)/I$ пересчитывались в зависимость $\rho(h)$ методом подбора с использованием следующих формул [1, 6].

$$U(t) = I \cdot (2u^2 + 3/2)\Phi(2u) + \sqrt{2/\pi} u \exp(-2u^2) - \sqrt{2} \Phi(2\sqrt{2}) - \exp(-2u^2)\Phi(2u) - 4u/\sqrt{2\pi}, \quad (4)$$

$$\text{где } u = L\sqrt{\frac{\mu_0}{2t\rho}}, \quad \Phi(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt, \quad h = 0,9 \cdot (\rho t / \mu_0)^{1/2}. \quad (5)$$

4. Анализ полученных результатов

Методика проведения эксперимента позволила подтвердить предположение о негеологической природе появления ложных слоев. Было выяснено, что эффективная диэлектрическая проницаемость областей среды, непосредственно прилегающих к генераторной петле, может изменяться от 1 до 15, что вызывает необходимость изменения шунтирующего сопротивления, обеспечивающего условия критического режима от 120 до 450 Ом. Даже небольшое отклонение (20%) от расчетной величины вышеупомянутого резистора может привести к существенному искажению результатов работ в микросекундном диапазоне.

Таблица. Значения относительной эффективной диэлектрической проницаемости, полученные в ходе эксперимента ($\epsilon_{\text{отн.эфф}} = \epsilon_{\text{эфф}} / \epsilon_0$)**Table.** Values of the relative effective dielectric constant obtained during the experiment ($\epsilon_{\text{d,eff}} = \epsilon_{\text{eff}} / \epsilon_0$)

Среда, в которой размещена петля	$\epsilon_{\text{отн.эфф}}$	Среда, в которой размещена петля	$\epsilon_{\text{отн.эфф}}$
Снег ($t = -10^\circ\text{C}$)	3,7	Сухая трава	1
Снег ($t = 0^\circ\text{C}$)	5,7	Трава через час после дождя	6
Мокрый снег	7	Трава во время дождя	12
Лед	5	Трава при выпадении росы	15

Полученные результаты

При проведении эксперимента рассматривались «экстремальные» условия расположения генераторной петли. Петля укладывалась в снег, в мокрую траву на лугу, частично располагалась в воде.

Определенные эффективные диэлектрические проницаемости приведены в таблице.

При этом значения $R_{\text{ш}}$ менялись от 120 до 456 Ом.

Проведенный эксперимент показал, что:

1. Среда, обладающие относительной диэлектрической проницаемостью более 5, оказывают существенное влияние на раннюю стадию переходного процесса, приводя к появлению небольших «подъемов» или «провалов» на кривой сигнала, построенной в билогарифмическом масштабе, как показано на рисунке 5.

2. Наибольшее влияние на параметры установки в методе ЗС_б оказывает насыщенность водой области среды, непосредственно прилегающей к генераторной петле. При этом вода в виде снега и льда оказывает гораздо меньшее влияние

3. При интерпретации подобных кривых в верхней части разреза появляется «ложный» слой повышенного или пониженного сопротивления. Если условия раскладки петли не меняются, то подобный «слой» может прослеживаться на существенной части профиля. Ложность слоя подтверждается измерениями в тех же точках в сухую погоду или при поднятии петли на 0,5 м над землей. Примеры результатов интерпретации кривых показаны на рисунке 6.

4. В случае корректировки величины шунтирующего резистора путем измерения собственной частоты контура искажения ранних стадий снижаются.

Обсуждение

Проведенные исследования показали, что ранние (1–10 мкс) стадии переходного процесса очень чувствительны не только к размерам генераторной петли [9, 10, 12], но и к условиям, в которых эта петля находится.

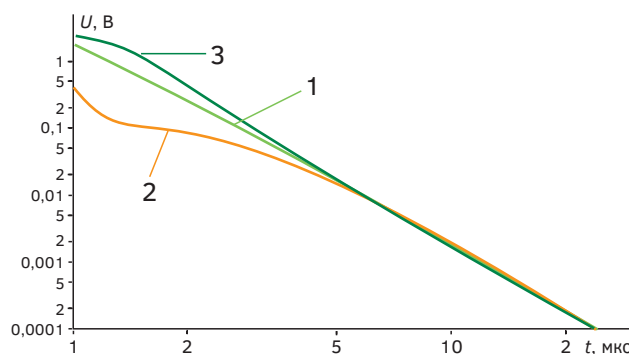


Рис. 5. Примеры кривых переходного процесса при токе 0,1 А над глинами: 1 — кривая при введении петли в критический режим, 2 — кривая без коррекции шунтирующего резистора, 3 — кривая в случае если сопротивление шунтирующего резистора составляет 0,8 от сопротивления для критического режима.

Fig. 5. Examples of transient curves at 0.1 A current over clays: 1 — curve when the loop is introduced into the critical mode, 2 — curve without correction of the shunt resistor, 3 — curve in the case where the resistance of the shunt resistor is 0.8 of the resistance for the critical mode.

Сам процесс выключения тока в генераторной петле активно изучался с 1980-х годов. В первую очередь изучалась зависимость процесса выключения тока в петле в зависимости от размеров самой петли [12]. Ряд исследователей изучал зависимость процесса выключения от амплитуды тока и параметров выходного ключа [9, 10]. При оценке зависимости величины шунтирующего сопротивления на возможные искажения сигнала ряд исследователей [3, 14, 15] полагали несущественной связь между этим параметром аппаратуры и размерами генераторной петли.

Следует отметить, что во всех этих работах рассматривалась петля, лежащая на сухом грунте (т.е. в среде с $\epsilon_{\text{отн}} = 1$). В этой части проведенные нами исследования полностью сходятся с опубликованными ранее результатами. Практически никто из исследователей не рассматривал процессы

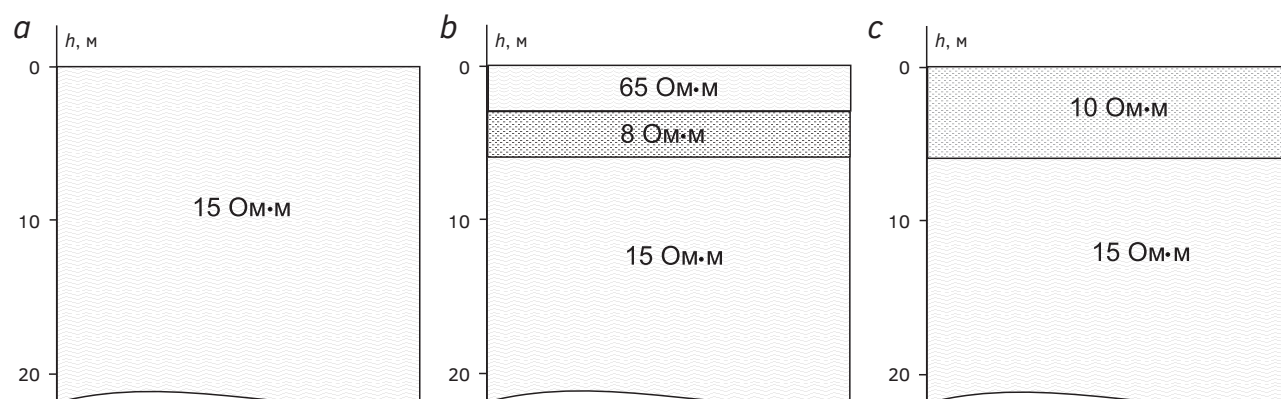


Рис. 6. Примеры интерпретации кривых, полученных в одной точке с разными значениями шунтирующего сопротивления: а — генераторная петля введена в критический режим и приподнята на 0,5 м над землей; б — сопротивление шунтирующего резистора завышено, и генераторная петля перешла в колебательный режим; с — сопротивление шунтирующего резистора составляет 0,8 от значения, необходимого для критического режима, петля находится в аperiодическом режиме

Fig. 6. Examples of interpretation of curves obtained at the same point with different values of shunt resistance: а — the generator loop is put into critical mode and raised 0.5 m above the ground; б — the resistance of the shunt resistor is too high, and the generator loop has entered oscillatory mode; с — the resistance of the shunt resistor is 0.8 of the value required for critical mode, the loop is in aperiодic mode

в генераторной петле для случаев расположения петли в средах с $\epsilon_{\text{отн}} \neq 1$.

Расширение области применения зондирования становлением поля в ранние времена и отсутствие информации о влиянии условий расположения генераторной петли на результаты измерений привело к появлению полевых материалов с кривыми зондирования, искаженными процессами, связанными с нарушением условий критического режима.

Эта проблема не осталась незамеченной производителями аппаратуры. Так, в аппаратуре FastSnap [16] добавлена возможность ручного изменения шунтирующего резистора.

Закключение

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при работе на ранних (0,1—10 мкс) временах методом зондирования становлением поля с использованием в качестве источника незаземленный контур с током следует внимательно относиться к тому, в какой среде находится этот контур.

Была подтверждена гипотеза о том, что пренебрежение условиями размещения контура может привести к получению сигналов, искаженных собственными процессами петли.

На основании этих данных было получено подтверждение предположения, что шунтирующее сопротивление должно подбираться в зависимости как от размеров генераторной петли, так

и от эффективных параметров среды, в которых находится генераторная петля.

Анализ современного состояния микропроцессорной техники и программного обеспечения позволил предположить, что на современном уровне развития радиоэлектроники возможно производить коррекцию шунтирующего сопротивления в автоматическом режиме, что позволит повысить точность измерений и получение достоверной информации об изучаемом разрезе.

Подводя итог, можно сказать, что при учете полученных результатов исследователями, занимающимися геоэлектрическими исследованиями с использованием нестационарных электромагнитных полей в области малых глубин, возможно повышение достоверности и надежности получаемых результатов.

На сегодняшний день для производственных организаций, использующих метод зондирования становлением поля в однопетлевом варианте в микросекундном диапазоне, было предложено методическое решение проблемы искажения ранних стадий переходного процесса. Это решение предлагает либо проводить исследования в период отсутствия обильной росы, дождевой влаги на траве, при работе на участках, покрытых высокой травой, либо предусмотреть возможность поднятия генераторной петли на высоту, превышающую высоту травы. При работе в осенне-весенний период, при наличии талой воды, покрывающей снег, категорически не допускается укладывание

петли в мокрый снег, при отсутствии такой возможности необходимо приподнять петлю над водой.

Дальнейшее направление исследований в рамках данной проблемы предполагает совершенствование макета аппаратуры и написание программного обеспечения для программно-аппаратного

управления перевода генераторной петли в критический режим при работе в различных условиях. Кроме того, предполагается построение математической модели генераторной петли с учетом среды, в которой она находится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аладинский А.Ю., Новиков П.В. Трансформация неустановившегося сигнала соосной установки метода переходных процессов в кажущуюся электропроводность. Изв. вузов. Геология и разведка. 1990. № 2.
2. Барсуков П.О. Импульсные электромагнитные зондирования в микросекундном диапазоне: автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. Троицк, 2004.
3. Барсуков П.О., Файнберг Э.Б., Хабенский Е.О. TEM-FAST-технология малоглубинной электроразведки. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 2. С. 28.
4. Бучарский Б.В., Горячев В.В., Павлов А.Т. Развитие малоглубинной модификации электроразведки ЗСБ. Изв. вузов. Геология и разведка. 1986. № 8. С. 74—79.
5. Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышев Э.П. Основы теории электрических цепей. СПб.: Лань, 2002.
6. Каменецкий Ф.М., Новиков П.В., Тимофеев В.М. Использование дифференциальных трансформаций для качественной интерпретации данных электромагнитных зондирования методом становления поля. Физика Земли. 1993. № 9. С. 91—96.
7. Кожевников Н.О., Плотников А.Е. Оценка возможностей метода переходных процессов при изучении верхней части геологического разреза. Геофизика. 2004. № 6. С. 33—38.
8. Кожевников Н.О. Переходный процесс в петле и его использование при оценке измерительной системы для импульсной индуктивной электрораз-
9. Кожевников Н.О. Процесс выключения тока в незаземленной петле: от чего он зависит и насколько мы можем его контролировать. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 2. № 2. С. 102—106.
10. Кожевников Н.О., Шарлов М.В., Шарлов Р.В., Стефаненко С.М., Агафонов Ю.А. Особенности выключения «большого» и «малого» токов в незаземленной горизонтальной петле. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 2. № 2. С. 207—211.
11. Кожевников Н.О. Выключение тока в горизонтальной незаземленной петле: эксперимент и теория. Геофизика. 2016. Т. 57. № 3. С. 631—641.
12. Новиков П.В., Тимофеев В.М. Искажения ранних стадий переходных процессов. Электромагнитная индукция в верхней части Земной коры. М.: Наука, 1990. С. 130—133.
13. Электроразведка. Справочник геофизика. М.: Недра, 1980. С. 241—246.
14. TEM-3D-Wizard — 3D Processing of TEM Data. Applied ElectroMagnetic Research (AEMR), the Netherlands. AEMR, 2020.
15. Barsukov P.O., Fainberg E.B., Khabensky E.O. Shallow investigations by TEM-FAST technique: methodology and examples. In: Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior. Theory, Modelling, Practice. Ed. V.V. Spichak. Amsterdam. 2015. P. 47—78.
16. Fast-Snap TEM measurements. SigmaGeo, 2020. <https://sigma-geo.ru/fastsnap?lang=en>

REFERENCES

1. Aladinsky A.Yu., Novikov P.V. Transformation of a transient signal of a coaxial installation of the transient method into apparent electrical conductivity. Izv. universities Geology and exploration. 1990. No. 2. (In Russ.).
2. Barsukov P.O. Pulsed electromagnetic sounding in the microsecond range: Author's abstract. dis. ... Doctor of Physics and Mathematics Sciences. Troitsk, 2004 (In Russ.).
3. Barsukov P.O., Fainberg E.B., Khabensky E.O. TEM-FAST-technology for shallow electrical exploration Instruments and systems for exploration geophysics. 2006. No. 2. P. 28 (In Russ.).
4. Bucharsky B.V., Goryachev V.V., Pavlov A.T. Development of a shallow modification of electrical exploration of the ZSB: Izv. universities Geology and exploration. 1986. No. 8. P. 74—79 (In Russ.).
5. Bychkov Yu.A., Zolotnitsky V.M., Chernyshev E.P. Fundamentals of the theory of electrical circuits. St. Petersburg: Lan, 2002 (In Russ.).
6. Kamenetsky F.M., Novikov P.V., Timofeev V.M. The use of differential transformations for the qualitative interpretation of electromagnetic sounding data by the field formation method: Physics of the Earth. 1993. No. 9. P. 91—96 (In Russ.).
7. Kozhevnikov N.O., Plotnikov A.E. Assessing the capabilities of the transient process method in studying the upper part of the geological section Geophysics. 2004. No. 6. P. 33—38 (In Russ.).

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

8. Kozhevnikov N.O. Transient process in the loop and its use in evaluating a measurement system for pulsed inductive electrical prospecting *Geology and Geophysics*. 2012. T. 53. No. 11. P. 1614—1627 (In Russ.).
9. Kozhevnikov N.O. The process of turning off the current in an ungrounded loop: what it depends on and how much we can control it *Interexpo Geo-Siberia*. 2015. T. 2. No. 2. P. 102—106 (In Russ.).
10. Kozhevnikov N.O., Sharlov M.V., Sharlov R.V., Stefanenko S.M., Agafonov Yu.A. Peculiarities of switching off “large” and “small” currents in an ungrounded horizontal loop of *Interexpo Geo-Siberia*. 2016. T. 2. No. 2. P. 207—211 (In Russ.).
11. Kozhevnikov N.O. Switching off the current in a horizontal ungrounded loop: experiment and theory *Geology and Geophysics*. 2016. T. 57. No. 3. P. 631—641 (In Russ.).
12. Novikov P.V., Timofeev V.M. Distortions of the early stages of transition processes. *Electromagnetic induction in the upper part of the Earth’s crust*, Moscow: Nauka, 1990. P. 130—133 (In Russ.).
13. *Electrical prospecting. Geophysicist’s Handbook*. Moscow: Nedra, 1980. P. 241—246 (In Russ.).
14. TEM-3D-Wizard — 3D Processing of TEM Data. *Applied ElectroMagnetic Research (AEMR)*, the Netherlands. AEMR, 2020.
15. Barsukov P.O., Fainberg E.B. and Khabensky E.O. Shallow investigations by TEM-FAST technique: methodology and examples. In: *Electromagnetic Sounding of the Earth’s Interior. Theory, Modelling, Practice*. Ed. V.V. Spichak. Amsterdam, 2015. P. 47—78.
16. Fast-Snap TEM measurements. *SiogmaGeo*, 2020. <https://sigma-geo.ru/fastsnap?lang=en>

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Новиков П.В. — разработка концепции статьи, физическое моделирование и проведение натурных экспериментов, анализ результатов, анализ литературных источников, оформление статьи, проведение расчетов, подготовка текста статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Petr V. Novikov — development of the concept of the article, physical modeling and conducting field experiments, analysis of results, analysis of literary sources, design of the article, calculations, preparation of the text of the article, I agree to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Новиков Петр Вячеславович — кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе. 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: novikovpv@mgri.ru
SPIN-код: 9977-2363
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5119-5813>

Petr V. Novikov — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: novikovpv@mgri.ru
SPIN-code: 9977-2363
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5119-5813>

ОРИГИНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 504.064.37

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-95-104>EDN: [SERDOM](#)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МУТНОСТИ ВОД АВАЧИНСКОЙ БУХТЫ

А.И. КОРОЛЬКОВА, А.А. ИВАНОВ*

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Оценка пространственного распределения взвешенных веществ является одной из ключевых задач для мониторинга экологического состояния акваторий. Избыточное содержание органических частиц, минералов и мелкой взвеси, находящихся в толще воды, может оказать негативное воздействие на экосистемы, снижая прозрачность воды и тем самым ухудшая условия для процесса фотосинтеза.

Цель исследования. Определение мутности морских вод и пространственного распределения взвешенных веществ в прибрежной части акватории Авачинской бухты с помощью дистанционных методов исследования.

Материалы и методы. Для мониторинга морской среды активно используются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Методы дистанционного зондирования позволяют эффективно определять ключевые параметры, такие как уровень мутности, содержание хлорофилла, температура воды на поверхности и т.п. Современные спутниковые системы, такие как Sentinel-2, дают возможность получать мультиспектральные изображения, на основе которых рассчитываются спектральные индексы. В данной работе для оценки качества вод будет использован нормализованный разностный индекс мутности (NDTI).

Результаты. Особую роль в формировании зон с повышенной мутностью играет не только антропогенное воздействие, но и геологическое строение территории. Для Авачинской бухты это также зона влияния Авачинско-Корякской и других групп вулканов. В весенне-летний период, во время активного таяния снегов и дождей, происходит повышенный сток рек Авача и Паратунка, которые несут с собой продукты вулканизма, что увеличивает содержание взвешенных веществ в воде. Проанализировано пространственное распределение нормализованного разностного индекса мутности NDTI и составлены карты, отражающие качество морской воды.

Заключение. Карты пространственного распределения индекса NDTI, построенные за некоторые годы, показали, что основная область повышенной мутности возникает в дельте рек Авача и Паратунка и прибрежных частях Авачинской бухты.

Ключевые слова: взвешенные вещества, дистанционное зондирование, спектральные индексы, состояние морских вод

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Королькова А.И., Иванов А.А. Применение методов дистанционного зондирования для оценки мутности вод Авачинской бухты. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):95—104. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-95-104> EDN: [SERDOM](#)

Статья поступила в редакцию 26.12.2024

Принята к публикации 24.03.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

REMOTE SENSING METHODS FOR WATER QUALITY ANALYSIS IN AVACHA BAY

ALEXANDRA I. KOROLKOVA, ANDREY A. IVANOV*

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. Assessment of the spatial distribution of suspended matter is an essential task in monitoring the ecological state of marine waters. Excessive contents of organic particles, minerals, and fine suspended matter may have a negative impact on ecosystems, reducing water clarity and thereby deteriorating the conditions necessary for photosynthesis.

Aim. To assess the sea water turbidity and the spatial distribution of suspended matter in the coastal part of the Avacha Bay using remote sensing methods.

Materials and methods. Remote sensing methods are widely used to monitor the state of marine environments through various parameters, such as water turbidity, chlorophyll content, surface water temperature, etc. Modern satellite systems, e.g., Sentinel-2, provide multispectral images for further calculation of spectral indices. In this work, water turbidity was assessed using the normalized difference turbidity index (NDTI).

Results. The areas of increased turbidity are formed due to not only anthropogenic impact, but also the geological structure of the environment. The Avacha Bay is a zone under the influence of the Avacha-Koryaksky and other groups of volcanoes. In the spring and summer periods, during active melting of snow and rain precipitation, an intensified flow of the Avacha and Paratunka rivers carrying waterborne volcanic products increases the content of suspended solids in the water. The spatial distribution of NDTI was analyzed, and the maps of water turbidity were compiled.

Conclusion. The constructed maps of the spatial distribution of the NDTI index for a number of years showed that the delta of the Avacha and Paratunka rivers, as well as the coastal parts of the Avacha Bay, are associated with increased water turbidity.

Keywords: suspended matter, remote sensing, spectral indices, state of sea waters

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Korolkova A.I., Ivanov A.A. Remote sensing methods for water quality analysis in Avacha bay. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):95—104. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-95-104> EDN: [SERDOM](https://www.edn.ru/serdom)

Manuscript received 26 December 2024

Accepted 24 March 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Мутность воды — это показатель, отражающий степень ее прозрачности и количество взвешенных частиц, таких как органические и неорганические вещества, планктон, микроорганизмы и другие загрязнители. Высокая мутность может иметь значительное влияние на экосистемы водоемов [13].

Мутные воды поглощают и рассеивают солнечный свет, что приводит к уменьшению его проникновения на глубину. Это ограничивает доступ света для фотосинтетических организмов, таких

как фитопланктон, который является основным производителем в водных экосистемах.

Объектом исследования в данной работе выступает Авачинская бухта, расположенная в юго-восточной части полуострова Камчатка и являющаяся уникальным природным объектом, который подвергается влиянию различных природных и антропогенных факторов.

Авачинская бухта представляет собой область площадью 238 квадратных километров с глубиной до 28 метров [4]. Бухта практически

не замерзает зимой. Основное течение в бухте движется по часовой стрелке и проходит вдоль ее берегов. Однако в некоторых частях, особенно в северных и западных, оно ослабевает. В результате вода перемешивается слабо, и обновление водных масс происходит медленно. Мутность воды в Авачинской бухте меняется в зависимости от сезона и погодных условий. В весенне-летний период, во время активного таяния снегов и дождей, происходит повышенный сток рек Авача и Паратунка, что увеличивает содержание взвешенных веществ в воде [11]. На рисунке 1 отображена многолетняя динамика поступления взвешенных веществ со стоком рек по данным ежегодников о гидрохимическом состоянии морей, представляемых Государственным океанографическим институтом им. Зубова (ГОИН). За последние 20 лет среднее значение поступающей взвеси вместе с реками в Авачинскую бухту составило 98,62 тыс. тонн.

Помимо всего прочего, особую роль в формировании зон с повышенной мутностью играет геологическое строение и влияние Авачинско-Корякской группы вулканов. В районе прилегающей к бухте территории суши широко распространены разновозрастные (от мела до голоцена) эффузивно-пирокластические отложения [12].

Также стоит отметить влияние рельефа на мутность воды. Горные районы, резкие перепады рельефа способствуют выносу большего количества рыхлого вулканогенного материала со склонов, особенно во время обильных осадков.

Современный рельеф, окружающий Авачинскую губу, имеет резкие перепады высот. Например, в южной части — гряда с высотными отметками примерно 300—400 м над уровнем моря, в западной части — горный массив Вачкажец с максимальной высотной отметкой 1556 м. Рельеф примыкающего к Авачинской губе города Петропавловска-Камчатского в Северо-Западной имеет форму увалов высотой до 200—250 м, которые сложены взрывными (глыбово-щебнисто-пепловыми) отложениями среднего и верхнего плейстоцена, а в низинах находятся озерно-болотные голоценовые осадки, суммарная мощность которых достигают 50—100 м. Переходная субмеридиональная зона включает останцы меловых метаморфизованных пород (например, сопки Зеркальная и Синичкино), а также экструзии плейстоценовых андезитов (сопка Мишенная). В линейных понижениях между сопками наблюдается резкое увеличение мощностей пролювиально-делювиальных отложений до 100—200 м и более, а также увеличение мощности озерно-болотных голоценовых осадков в изометричных

Динамика взвешенных веществ, поступающих со стоком рек,
ТЫС. ТОНН



Рис. 1. График многолетней динамики поступления в Авачинскую бухту взвешенных веществ со стоком рек с 2003 по 2022 год

Fig. 1. Graph of long-term dynamics of suspended solids inflow with river runoff from 2003 to 2022 into Avacha Bay, thousand tons

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

впадинах. Юго-восточная часть представлена водораздельным плато высотой до 500 м со ступенчатыми склонами, обращенными к Авачинской бухте. Водораздел и склоны сформированы из меловых метаморфизованных пород и диабазов, покрытых тонким слоем элювиально-делювиальных отложений. На склонах, выходящих к океану, расположены миоцен-плиоценовые вулканиты, а также низкие морские аккумулятивные террасы на высотах 10—20 м [1, 2, 10].

Формирование вулканической группы началось по меньшей мере со среднего плейстоцена. В историческое время известны извержения Корякского и Авачинского вулканов. Последнее извержение Корякского вулкана произошло в 1956—1957 гг., когда из радиальной прикратерной трещины на северо-западном склоне наблюдались выбросы газов и пепла. Авачинский вулкан извергался в 1945 г. Извержение было эксплозивным, выпало большое количество пепла. В настоящее время оба вулкана находятся в стадии фумарольной деятельности [8].

Авачинская группа вулканов находится на окраине Налачевского вулканического центра и представляет собой его юго-восточный участок. Вулканический центр начал формироваться с миоцена, и некоторые аспекты его структурной истории можно проследить с мел-палеогенового периода. На юге Авачинская группа вулканов

соседствует со сложной купольно-кольцевой структурой Авачинской бухты, которая в основном развивалась в плиоцене. В пределах этой группы располагаются голоценовые вулканы. В настоящее время эта структура характеризуется повышенной сейсмической активностью [8].

В большинстве рек, расположенных на описанных выше вулканических территориях, во время половодья и паводков наблюдаются уровни мутности, превышающие 20 мг/л. В притоках реки Авача на левом берегу средняя годовая мутность достигает 100 мг/л [3].

На рисунке 2 показано соотношение гранулометрического состава взвешенных веществ, которые поступают в реку Авача.

Бассейн реки Авача составляет 5090 км², протяженность самой реки — 122 км. Река Паратунка берет свое начало в предгорьях Вилучинской сопки и имеет длину 81 км, площадь бассейна значительно меньше и равна 1500 км². На рисунке 3 отображены карта-схема расположения бассейнов рек Авача и Паратунка и их положение относительно некоторых вулканов.

Спектральные индексы (СИ) — это количественные показатели, рассчитанные на основе отражательной способности объектов в различных спектральных диапазонах. Эти индексы используются для выявления, анализа и классификации характеристик поверхности Земли, водоемов, атмосферы

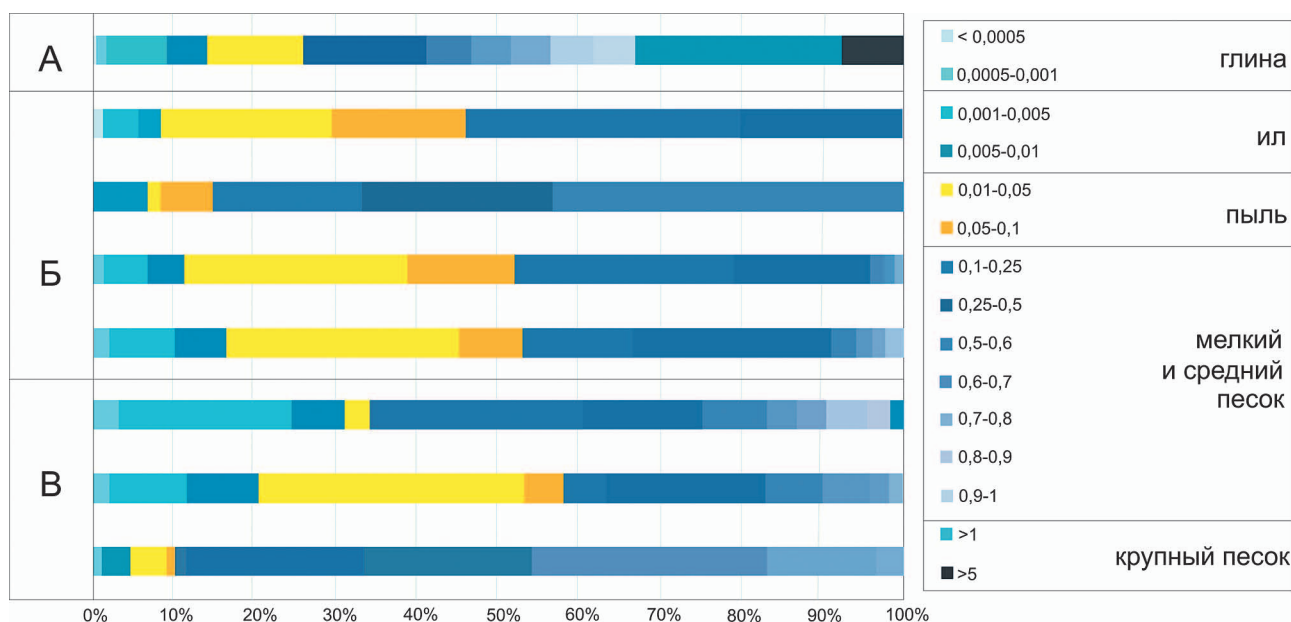


Рис. 2. Гранулометрический состав взвеси гиперконцентрированных потоков (А), а также рек с повышенной (Б) и малой (В) мутностью в бассейне р. Авача (Авачинско-Корякская группа вулканов) [3]

Fig. 2. Granulometric composition of suspended matter of hyperconcentrated flows (A), as well as rivers with increased (B) and low (B) turbidity in the Avacha River basin (Avacha-Koryak group of volcanoes) [3]

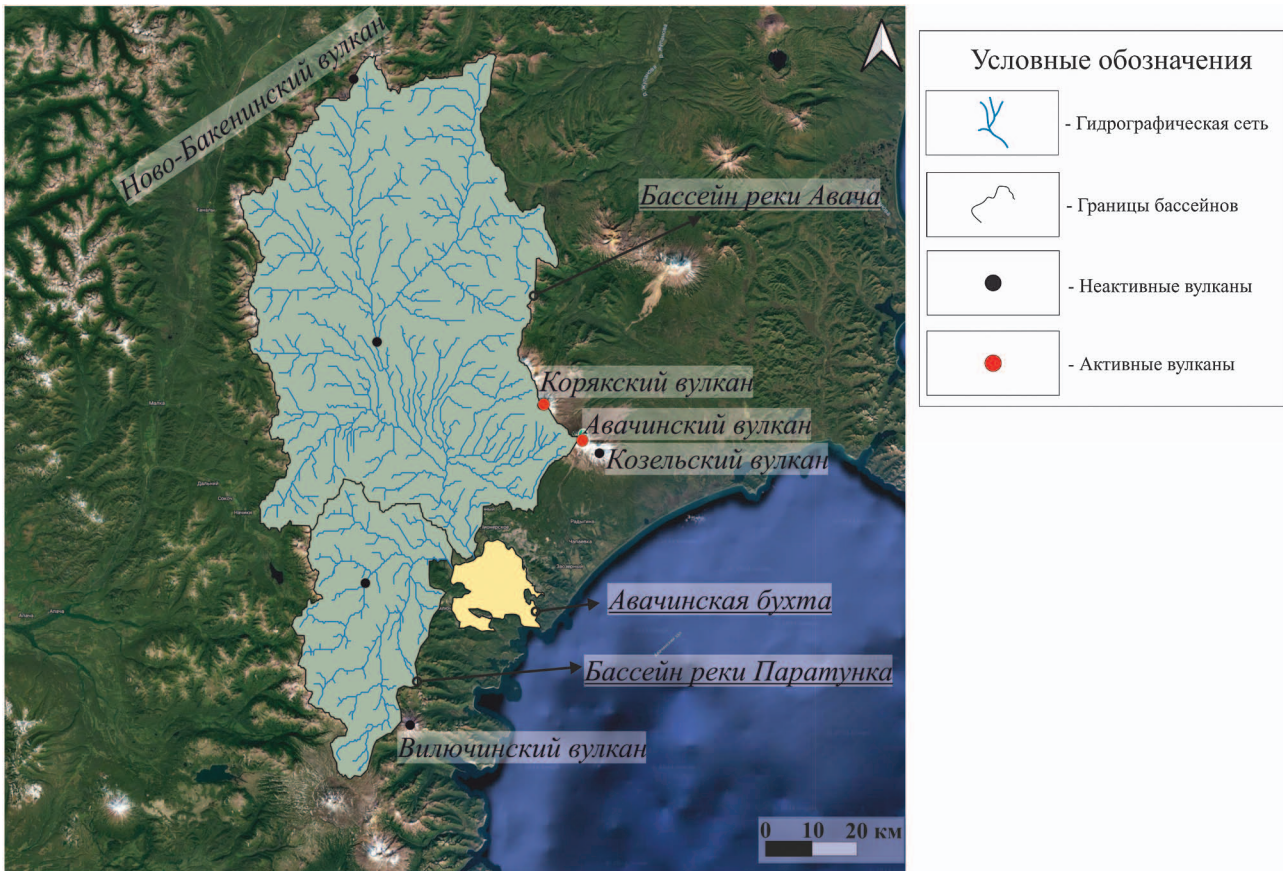


Рис. 3. Карта-схема расположения бассейнов рек Авача и Паратунка и их расположение относительно некоторых вулканов, в том числе Авачинско-Корякской группы вулканов; красным цветом показаны активные вулканы; черным цветом показаны неактивные вулканы

Fig. 3. Map-scheme of the location of the Avacha and Paratunka river basins and their location relative to some volcanoes, including the Avachinsky-Koryaksky group of volcanoes; active volcanoes are shown in red; inactive volcanoes are shown in black

и других объектов. Расчет спектральных индексов осуществляется с использованием данных, полученных дистанционными методами, чаще всего со спутников или БПЛА, оснащенных спектральными датчиками.

Спектральные индексы строятся на основе информации, полученной из мультиспектральных или гиперспектральных снимков, которые содержат данные об интенсивности отраженного электромагнитного излучения в определенных длинах волн [5] (рисунок 4 составлен из комбинации каналов R, G, B и представляет собой максимально приближенное к натуральному цвету изображение Авачинской бухты).

Спектральные индексы представляют собой математические комбинации (обычно в виде отношений, разностей или их комбинаций) значений яркости в различных спектральных каналах. Например, используемый в данной работе

нормализованный разностный индекс мутности (NDTI, Normalized Difference Turbidity Index) основан на анализе соотношения отражательной способности в красной (RED) и зеленой (GREEN) частях спектра [6, 14] (формула (1)).

$$NDTI = \frac{RED + GREEN}{RED - GREEN}, \quad (1)$$

где RED — отражательная способность в красной части спектра (диапазон 620—700 нм); GREEN — отражательная способность в зеленой части спектра (диапазон 500—580 нм).

В настоящее время существует большое количество спектральных индексов, применяемых в различных отраслях, самыми распространенными являются вегетационные индексы NDVI, EVI, SAVI, используемые для оценки состояния и биомассы растительности [7], также существуют почвенные индексы SI, NDSI, которые позволяют

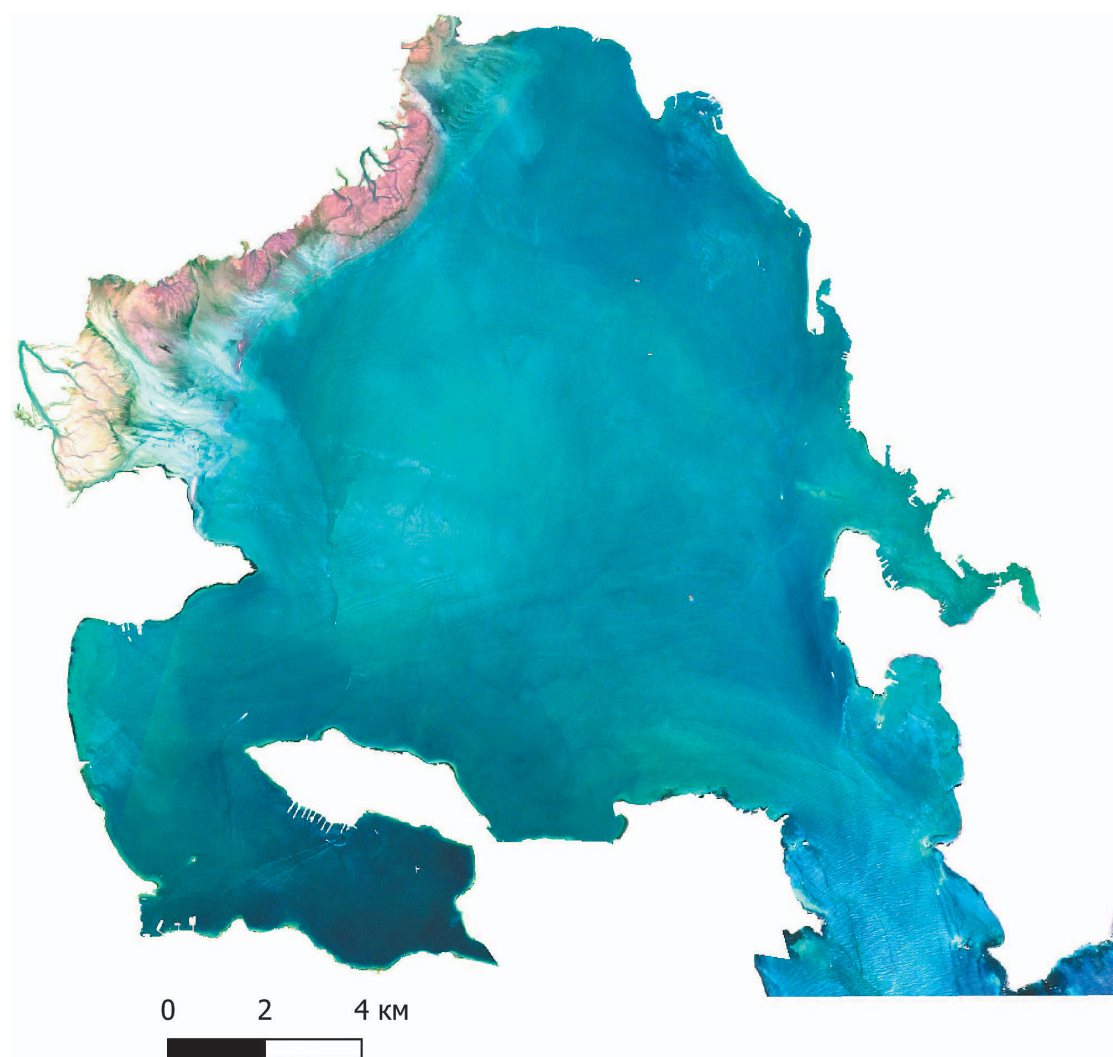


Рис. 4. Мультиспектральное изображение в комбинации каналов R, G, B, Авачинской бухты полученное со спутника Sentinel-2

Fig. 4. Multispectral image, in a combination of R, G, B channels, of Avacha Bay obtained from the Sentinel-2 satellite

анализировать состояние почвы и ее характеристики; геологические индексы LSWI, CRSI и т.д.

Индекс NDTI позволяет фиксировать изменения концентрации взвешенных частиц, таких как ил, глина, песок, органические вещества и т.д., которые значительно влияют на отражение в красной и зеленой частях спектра [9]. Он особенно полезен для анализа вод с низкой прозрачностью, где традиционные методы визуального мониторинга могут быть затруднительны в использовании.

Мультиспектральные изображения можно получить с помощью различных спутников, таких как Landsat, ASTER, MODIS и т.д., в данной работе были использованы снимки со спутника Sentinel-2.

Наиболее показательными являются снимки в летне-осенний период, также в это время

получение снимков наиболее доступно, так как значения облачности ниже, чем в остальные месяцы, даты съемок представлены в таблице.

На рисунках 5 и 6 представлены полученные карты пространственного распределения мутности по индексу NDTI, эти снимки являются самыми показательными из всех и достаточно контрастно отображают влияние выноса взвешенных веществ со стоком рек Авача и Паратунка на формирование повышенной зоны мутности в северной части Авачинской бухты.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что в 2020 году наблюдалось наибольшее значение показателя мутности воды. Это может быть связано с несколькими факторами, основными из которых являются метеорологические.

Таблица. Даты съемок с обозначением каналов и их разрешением
Table. Filming dates with channel designations and their resolutions

Дата съемки	Каналы	Пространственное разрешение
22.07.2019	B3 (GREEN)	10 м
	B4 (RED)	10 м
05.08.2020	B3 (GREEN)	10 м
	B4 (RED)	10 м
26.07.2021	B3 (GREEN)	10 м
	B4 (RED)	10 м
04.09.2021	B3 (GREEN)	10 м
	B4 (RED)	10 м

Как известно, на интенсивность речного стока воздействует количество выпадающих осадков (дождевых). Для определения данной взаимосвязи в рамках выполненной работы были получены данные с ближайшей метеостанции, которые подтвердили вышеизложенную взаимосвязь. Так, накануне съемки в августе 2020 года за несколько

дней выпало 32 мм дождевых осадков, в то время как в сентябре перед съемкой выпало 4,5 мм.

Выводы

Как показывают результаты исследований, дистанционное зондирование Земли играет важную роль в оценке мутности морских вод.

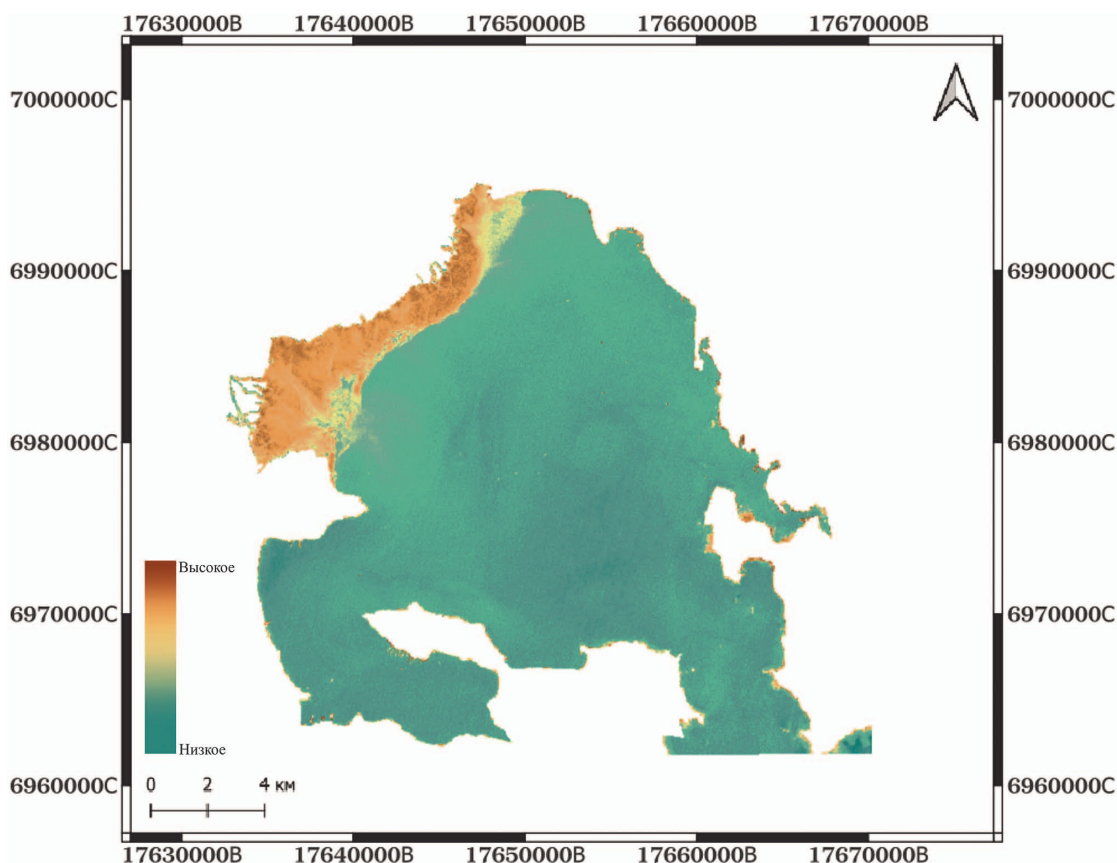


Рис. 5. Карта пространственного распределения индекса мутности NDTI в акватории Авачинской бухты в августе 2020 года

Fig. 5. Map of the spatial distribution of the NDTI turbidity index in the waters of Avacha Bay in August 2020

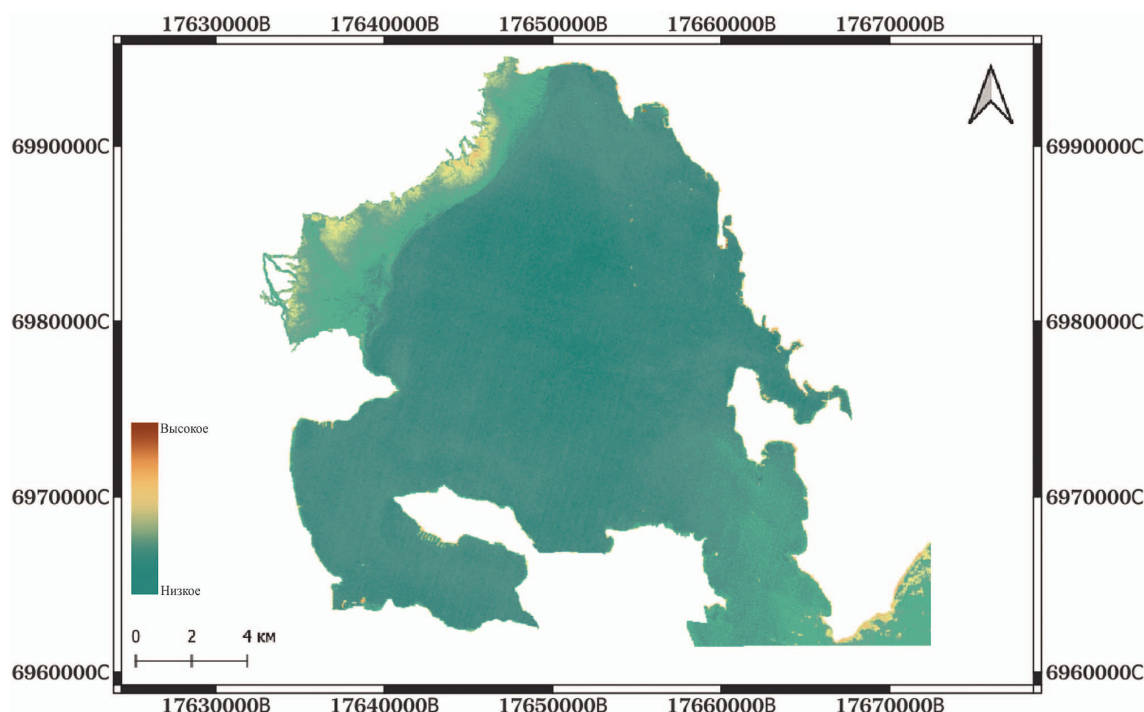


Рис. 6. Карта пространственного распределения индекса мутности NDTI в акватории Авачинской бухты в сентябре 2021 года

Fig. 6. Map of the spatial distribution of the NDTI turbidity index in the waters of Avacha Bay in September 2021

Эта технология позволяет получать данные о состоянии водоемов на больших площадях, и в том числе в реальном времени, что делает ее незаменимым инструментом для мониторинга морских экосистем.

Наши исследования показали, что реки, бассейны которых расположены в зоне влияния Авачинско-

Корякской группы вулканов, являются основными поставщиками взвешенных веществ в Авачинскую бухту. Построенные карты пространственного распределения индекса NDTI за два года показали, что основная область повышенной мутности возникает в дельте рек Авача и Паратунка и прибрежных частях Авачинской бухты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев В.Д. Крупномасштабное геоморфологическое картирование для оценки влияния сейсмогенных процессов на рельеф (на примере г. Петропавловска-Камчатского). Проблемы геоморфологического картирования. Л., 1975. С. 113—115.
2. Дмитриев В.Д., Ежов Б.В. К вопросу о происхождении Авачинской губы. Вопросы географии Камчатки. 1977. № 7. С. 45—48.
3. Есин Е.В., Чалов С.Р. Экологическая классификация рек вулканических территорий Камчатки. Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2014. № 6. С. 220—238.
4. Захарков С.П., Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Штрайхерт Е.А., Гордейчук Т.Н. Первичная продукция Авачинской бухты летом 2017 г. Вестник ДВО РАН. 2020. № 1(209). С. 83—89.
5. Козодеров В.В., Дмитриев Е.В. Обработка многоспектральных и гиперспектральных аэро-космических изображений: информационно-прикладные аспекты. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 4. С. 134—141.
6. Кравцова А.В., Ваулина К.Д. Характеристика экологического состояния Аргазинского водохранилища методом спектральных индексов. Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: мат-лы III междунар. науч.-практ. конф., Челябинск, 13—15 октября 2023 года. Челябинск: Край Ра, 2023. С. 124—131.
7. Куликова Е.В., Куликов Ю.А., Горбунова Н.С. Возможность использования ГИС-технологий и спектральных вегетационных индексов при мониторинговых исследованиях почв. Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). 2022. № 2(15). С. 140—145.
8. Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю. Авачинская группа вулканов. Активные вулканы и

- гидротермальные системы Камчатки. Путеводитель научных экскурсий. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 107—134.
9. Морозова В.А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования. Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. С. 1—8.
 10. Пафилина М.А. Вертикальное расчленение рельефа сопки Никольская и Сигнальная (побережье Авачинской бухты, Камчатка). Теория и практика современных гуманитарных и естественных наук: мат-лы ежег. межрегион. науч.-практ. конф., Петропавловск-Камчатский, 11 февраля 2011 года. Вып. 1: в 3-х частях, Часть 3. Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, 2012. С. 72—74.
 11. Семкин П.Ю., Павлова Г.Ю., Барабанщиков Ю.А. Гидрохимические характеристики бухт Вилучинская и Авачинская (Восточная Камчатка) под влиянием материкового стока с вулканических территорий / Вулканизм и связанные с ним процессы: мат-лы XXVI ежег. науч. конф., посв. Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30—31 марта 2023 года. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2023. С. 215—218.
 12. Фролова Ю.В., Блюмкина М.Е., Большаков И.Е., Ермолинский А.Б. Сравнительная петрофизическая характеристика вулканогенных пород мелового и миоценового возраста Авачинской губы. Вулканизм и связанные с ним процессы: мат-лы XXIII ежег. науч. конф., посв. Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30 марта 2020 года. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2020. С. 68—71.
 13. Dogliotti A.I., Ruddick K.G., Nechad B. A Single Algorithm to Retrieve Turbidity from Remotely Sensed Data in all Coastal and Estuarine Waters. Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 156. P. 157—168.
 14. Lizcano-Sandoval L., Anastasiou C., Montes E., Raulerson G., Sherwood E., Muller-Karger F.E. Seagrass distribution, areal cover, and changes (1990—2021) in coastal waters off West-Central Florida, USA Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2022 P. 1—11.
- ## REFERENCES
1. Dmitriev V.D. Large-scale geomorphological mapping to assess the impact of seismogenic processes on the relief (on the example of Petropavlovsk-Kamchatsky). Problems of geomorphological mapping. Leningrad, 1975. P. 113—115 (In Russ.).
 2. Dmitriev V.D., Ezhov B.V. On the origin of Avacha Bay. Questions of Kamchatka geography. Petropavlovsk-Kamchatsky. 1977. No. 7. P. 45—48 (In Russ.).
 3. Esin E.V., Chalov S.R., Ecological classification of rivers of volcanic territories of Kamchatka. Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov. 2014. No. 6. P. 220—238 (In Russ.).
 4. Zakharkov S.P., Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Shtraichert E.A., Gordeychuk T.N. Primary production of Avacha Bay in summer 2017. Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 1(209). P. 83—89 (In Russ.).
 5. Kozoderov V.V., Dmitriev E.V. Processing of multispectral and hyperspectral aerospace images: information and applied aspects. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2010. Vol. 7. No. 4. P. 134—141 (In Russ.).
 6. Kravtsova A.V., Vaulina R.D. Characteristics of the ecological state of the Argazinskoye Reservoir using the spectral indices method. Geographical space: balanced development of nature and society: Proceedings of the III International scientific and practical conference, Chelyabinsk, October 13—15, 2023. Chelyabinsk: Kray Ra, 2023. P. 124—131 (In Russ.).
 7. Kulikova E.V., Kulikov Yu.A., Gorbunova N.S., Possibility of using GIS technologies and spectral vegetation indices in monitoring studies of soils. Models and technologies of nature management (regional aspect). 2022. No. 2(15). P. 140—145 (In Russ.).
 8. Masurenkov Yu.P., Egorova I.A., Puzankov M.Yu. Avacha group of volcanoes // Active volcanoes and hydrothermal systems of Kamchatka. Guide to scientific excursions. Petropavlovsk-Kamchatsky: IV DVNC AN USSR. P. 107—134 (In Russ.).
 9. Morozova V.A. Calculation of indices for identification and analysis of characteristics of water bodies using remote sensing data. Modern problems of territorial development. 2019. No. 2. P. 1—8 (In Russ.).
 10. Pafilina M.A. Vertical dissection of the relief of the Nikolskaya and Signalnaya hills (Avacha Bay coast, Kamchatka). Theory and practice of modern humanitarian and natural sciences: materials of the annual interregional scientific and practical conference, Petropavlovsk-Kamchatsky, February 11, 2011. Issue 1: in 3 parts, Part 3. Petropavlovsk-Kamchatsky: Vitus Bering Kamchatka State University, 2012. P. 72—74 (In Russ.).
 11. Semkin P.Yu., Pavlova G.Yu., Barabanshchikov Yu.A., Hydrochemical characteristics of Vilyuchinskaya and Avacha Bays (Eastern Kamchatka) under the influence of continental runoff from volcanic territories. Volcanism and related processes: Proceedings of the XXVI annual scientific conference dedicated to the Day of the Volcanologist, Petropavlovsk-Kamchatsky, March 30—31, 2023. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 2023. P. 215—218 (In Russ.).
 12. Frolova Yu.V., Blyumkina M.E., Bolshakov I.E., Ermolinsky A.B. Comparative petrophysical characteristics of Cretaceous and Miocene volcanogenic

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- rocks of Avacha Bay. Volcanism and related processes: Proceedings of the XXIII annual scientific conference dedicated to the Volcanologist Day, Petropavlovsk-Kamchatsky, March 30, 2020. Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 2020. P. 68—71 (In Russ.).
13. Dogliotti A.I., Ruddick K.G., Nechad B. A Single Algorithm to Retrieve Turbidity from Remotely Sensed Data in all Coastal and Estuarine Waters. Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 156. P. 157—168.
14. Lizcano-Sandoval L., Anastasiou C., Montes E., Raulerson G., Sherwood E., Muller-Karger F.E. Seagrass distribution, areal cover, and changes (1990—2021) in coastal waters off West-Central Florida, USA Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2022. P. 1—11.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Королькова А.И. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, внесла вклад в разработку методики научных исследований и оценки результатов исследования, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов А.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, проводил анализ результатов, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работ.

Aleksandra I. Korolkova — made the main contribution to the development of the concept of the article, contributed to the development of the methodology of the article and the results of the study, prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Andrey A. Ivanov — made the main contribution of the concept of the article, analyzed the results, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Королькова Александра Игоревна — студентка экологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: korolkovaa94@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8921-8184>

Alexandra I. Korolkova — student at the Faculty of Ecology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: korolkovaa94@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8921-8184>

Иванов Андрей Александрович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: biwolf@mail.ru SPIN-код: 9977-2363 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

Andrey A. Ivanov* — Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: biwolf@mail.ru SPIN-code: 9977-2363 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ФИЛЬТРОВ И ПРИФИЛЬТРОВЫХ ЗОН ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

А.Г. ИВАНОВ¹, Ю.А. АРСЕНТЬЕВ^{2,*}, Д.Д. ОРЕХОВ², Р.И. ГАВРИЛОВ²

¹ АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»
33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) требует применения специальных методов освоения скважин и поддержания их проектной производительности (дебита) как на этапе сооружения, так и в период эксплуатации путем проведения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Функционирование технологических скважин сопровождается механической, химической или газовой кольматацией фильтров и прифильтровых зон (ПФЗ). При этом применяются различные методы удаления кольматанта, затрудняющего проведение подземного выщелачивания, среди которых выделяют: механические, химические, физические и комбинированные. Настоящая статья посвящена оценке эффективности применения на производственных объектах трех видов механической импульсной обработки технологических скважин СПВ урана в процессе их освоения и ремонта: пневмоимпульсной, с помощью гидровибраторов и пневмосвабирования.

Цель. Обеспечение условий для увеличения длительности периода эксплуатации технологической скважины с производительностью на уровне проектных значений.

Материалы и методы. В настоящей работе поставленная задача решается путем анализа физической сущности происходящих процессов, характерных для трех сравниваемых и реализуемых на предприятиях видов механической импульсной обработки фильтров и прифильтровых зон, а также сопоставлением эффективности результатов их действия, критерием которой был выбран объем извлеченных на поверхность рабочих растворов, содержащих полезный продукт.

Результаты. Исследования показали, что наиболее эффективным из рассматриваемых механических импульсных методов является обработка фильтров и ПФЗ с использованием гидровибраторов.

Заключение. Применение новых технических средств ремонта приводит к повышению эффективности отработки рудного тела.

Ключевые слова: технологические скважины, кольматация, освоение скважин, ремонтно-восстановительные работы, экономическая эффективность ремонта, импульсные методы обработки

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А., Орехов Д.Д., Гаврилов Р.И. О некоторых особенностях механической импульсной обработки фильтров и прифильтровых зон технологических скважин подземного выщелачивания урана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):105—113. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-105-113> EDN: [UMOEDU](https://www.edn.ru/UMOEDU)

Статья поступила в редакцию 24.09.2024
Принята к публикации 03.03.2025
Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

FEATURES OF MECHANICAL PULSE TREATMENT OF FILTERS AND NEAR-FILTER ZONES OF IN-SITU URANIUM LEACHING WELLS

ALEXANDER G. IVANOV¹, YURI A. ARSENTIEV^{2,*}, DANILA D. OREKHOV², RUSLAN I. GAVRILOV²

¹ JSC "Leading Design, Survey and Research Institute of Industrial Technology"
33, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Introduction. Uranium mining by in-situ leaching (ISL) requires the use of special methods for developing wells and maintaining their design productivity (flow rate) both at the construction stage and during operation by carrying out repair and restoration work (R&R). The operation of process wells is accompanied by mechanical, chemical or gas colmatation of filters and near-filter zones (PFZ). In this case, various methods are used to remove the colmatant, which complicates underground leaching, among which are: mechanical, chemical, physical and combined. This article is devoted to the assessment of the efficiency of using three types of mechanical pulse treatment of uranium SPV process wells at production facilities during their development and repair: pneumatic pulse treatment, using hydrovibrators and pneumatic swabbing.

Objective. To provide conditions for increasing the operating period of a production well with productivity at the level of design values.

Materials and methods. In this paper, the problem is solved by analyzing the physical nature of the processes occurring, characteristic of the three types of mechanical pulse processing of filters being compared and implemented at enterprises and filter zones, as well as a comparison of the effectiveness of the results of their action, the criterion for which was the volume of working solutions containing a useful product extracted to the surface.

Results. The studies have shown that the most effective of the mechanical pulse methods under consideration is the processing of filters and PFZ using hydrovibrators.

Conclusion. The use of new technical repair means leads to an increase in the efficiency of ore body development.

Keywords: technological wells, colmatation, well development, repair and restoration work, economic efficiency of repair, pulse processing methods

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Ivanov A.G., Arsentiev Yu.A., Orekhov D.D., Gavrilov R.I. Features of mechanical pulse treatment of filters and near-filter zones of in-situ uranium leaching wells. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):105—113. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-105-113> EDN: UMOEDU

Manuscript received 24 September 2024

Accepted 03 March 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Производительность технологических скважин определяется состоянием фильтров и прифилтровых зон. Для поддержания их эксплуатационных свойств на уровне проектных значений необходимо производить их обработку, используя в том числе механические методы.

Пневмоимпульсная обработка

Метод пневмоимпульсной обработки основан на генерации упругих воздушных колебаний, возникающих при циклическом выбросе из пневмогенератора порций сжатого воздуха под высоким давлением. Возникающие при этом пульсации воздуха создают разнонаправленные гидродинамические колебания пластовой жидкости, разрушающие коьматант в фильтре и прифилтровой зоне (ПФЗ). График пульсации воздушного пузыря представлен на рисунке 1.

Метод пневмоимпульсной обработки водозаборных скважин был разработан во ВНИИ взрывгеофизика под руководством Э.М. Вольницкой [1, 2]. Достоинством этого метода является то, что в скважину не привносятся никакие инородные вещества и элементы. При этом существует возможность ре-

гулирования параметров обработки прифилтровых зон в зависимости от прочности применяемого типа фильтра, а также дает возможность селективной поинтервальной обработки фильтра с помощью мобильных установок, смонтированных на шасси автомобилей высокой проходимости или прицепа. На практике для обработки скважин на воду разработана установка АСП-Т, для обработки технологических скважин — установка АСП-ПВ. Технические характеристики установки АСП-ПВ приведены в таблице 1.

Метод пневмоимпульсной обработки фильтров и прифилтровых зон может быть реализован на комбинированной установке «Гидропульс», производителем которой является фирма «TLM hydropuls GmbH» (Германия) [3, 5]. Общий вид установки показан на рисунке 2.

Технические характеристики установки «Гидропульс» приведены в таблице 2.

Таблица 1. Технические характеристики установки АСП-ПВ

Table 1. Technical characteristics of the ASP-PV installation

Характеристики	Значения
Глубина обрабатываемых скважин, м	До 600
Минимальный внутренний диаметр фильтра, мм	74
Максимальное давление сжатого воздуха, МПа	15,0
Частота импульсов, ед./мин	30
Тип пневмоисточника	ПК-200/50
Диаметр пневмоисточника, мм	50
Вместимость баллонов сжатого воздуха, дм ³	120
Типоразмер рукава высокого давления	ПНП-6-250
Тип компрессора высокого давления	R 5437.1.JA

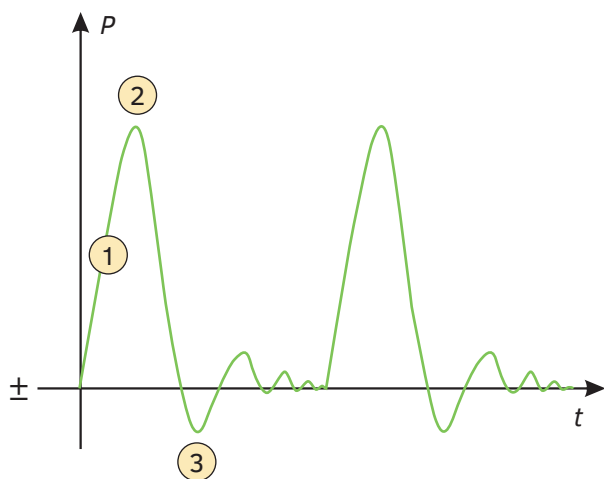


Рис. 1. График пульсации воздушного пузыря при пневмоимпульсной обработке фильтра: 1 — давление воздуха внутри воздушного пузыря при его расширении; 2 — максимальное давление воздуха (движение жидкости в направлении «из фильтра»); 3 — минимальное давление воздуха после первого импульса (движение жидкости в направлении «из пласта»)

Fig. 1. Graph of air bubble pulsation during pneumatic pulse treatment of the filter: 1 — air pressure inside the air bubble during its expansion; 2 — maximum air pressure (fluid movement in the direction “out of the filter”); 3 — minimum air pressure after the first pulse (fluid movement in the direction “out of the formation”)

Таблица 2. Технические характеристики установки «Гидропульс»

Table 2. Technical characteristics of the Hydropulse unit

Параметр	Значение
Интенсивность волнового поля, кВт/м ²	100—300
Скорость колебания (скорость ударной волны), м/с	3—80
Давление импульса, кПа	100—600
Частота колебаний, Гц	0,1—2,0
Длительность импульса, мс	0,3—1,5
Энергоемкость метода, кДж	5—25



Рис. 2. Общий вид установки «Гидропульс»
Fig. 2. General view of the Hydropulse installation

Пневмоимпульсный генератор типа G-IIID50P позволяет выполнить обработку ПФЗ и последующую эрлифтную прокачку скважины. Генератор обладает следующими основными техническими характеристиками: длина — 570 мм; диаметр — 60 мм; вес — 4,1 кг, рабочее давление — 1—10 МПа, запуск генератора — автоматический; интервал импульсов — регулируемый; энергия импульса — около 12,5 кДж (соответствует взрыву 3—4 г тринитротолуола); глубина воздействия взрыва в породе — около 12 м.

Оборудование установки «Гидропульс» смонтировано в обогреваемом контейнере, состоящем из двух отсеков:

- в лебедочно-компрессорном отсеке смонтированы: компрессор высокого давления «Mariner 320» (производительность 320 дм³/мин, давление до 30,0 МПа); комплект из 4-х баллонов сжатого воздуха объемом 80 дм³ каждый, рассчитанных на максимальное давление 30,0 МПа; лебедка с электроприводом и размещенным на ней двухканальным шлангом высокого давления типа ТГ (2ГК×15×5) с насадками; также элементы обвязки пневмооборудования и привода лебедки; на стенке контейнера закреплена направляющая дуга с роликами для спуска применяемого инструмента в скважину;
- в операторском отсеке находятся приборы контроля параметров работы оборудования и регулирования режимов обработки фильтров.

Электродвигатель мощностью 25 кВт размещен в обогреваемом контейнере.

Все оборудование установлено на платформе автомобиля повышенной проходимости КАМАЗ-43118. Как вариант, в дополнение к контейнерам с оборудованием на платформе может быть смонтирован мембранный насос высокого давления для выполнения работ по промывке фильтров или принудительной подачи растворов при проведении химических обработок прифилтровых зон. Глубина спуска приборов контролируется механическим счетчиком, монтируемым на оголовнике скважин.

Установка «Гидропульс» позволяет выполнять обработку строго запрограммированного интервала фильтра. Для этого пультом управления при спуске скважинного прибора задается верхняя и нижняя граница фильтра, после этого работа пневмоимпульсного генератора производится в автоматическом режиме только в заданном интервале.

Опыт применения пневмоимпульсных обработок ПФЗ при выполнении ремонтно-восстановительных работ показал, что такой вид ремонтно-восстановительных работ (РВР) весьма эффективен для разрушения химических отложений на стенках фильтра. Последующее удаление разрушенных частиц коьматанта производится эрлифтной прокачкой. При этом установка «Гидропульс» более универсальна, поскольку в состав ее оборудования входит компрессорная станция высокого давления, что позволяет за один спуск пневмоснаряда сразу выполнить и эрлифтную прокачку скважины.

При использовании же установки АСП-ПВ приходится привлекать к выполнению работ дополнительный компрессор. Эффективность работы установки «Гидропульс» при пневмоимпульсной обработке ПФЗ по удалению химических отложений со стенок полимерных щелевых фильтров, изготовленных из труб НПВХ, показана на рисунке 3.

В результате выполнения ремонтных работ на технологических скважинах установлено, что метод пневмоимпульсной обработки фильтров эффективен только для разрушения химических отложений на внутренней поверхности фильтра с последующим удалением разрушенного материала эрлифтной прокачкой. Основным недостатком метода заключается в том, что давление импульса, действующего в направлении от фильтра в водоносный горизонт, превышает давление импульса, действующего в направлении от водоносного горизонта в фильтр. Это приводит к перемещению мелких фракций песков, слагающих продуктивный горизонт, и коьматанта в сам горизонт. При этом временно увеличивается проницаемость пород прифильтровой зоны, которая снижается по мере возврата оттесненных из ПФЗ фракций к каркасу фильтра. Поэтому метод дает кратковременный эффект, и его применение не обеспечивает длительного межремонтного цикла (МРЦ) скважин по поддержанию их производительности по дебиту или приемистости, что подтверждается результатами испытаний данного метода в водозаборных скважинах, эксплуатирующих водоносные горизонты, представленные песками [4]. Такие испытания проводились в АО «Центргеология» на одном из подмосковных

водозаборов в конце 1970-х годов (использовалась установка АСП-Т).

Вибрационная обработка

Вибрационная обработка ПФЗ заключается в генерировании разрушающих импульсов давления скважинной жидкости в отдельных интервалах фильтра. График изменения гидроимпульсов, создаваемых в прифильтровой зоне технологических скважин при работе гидровибратора УРК (устройство разрушения коьматанта), приведен на рисунке 4.

Как видно из графика, вибрационные колебания пластовой жидкости в ПФЗ сопровождаются одинаковыми по величине гидроударами как в направлении от фильтра в водоносный горизонт, так и в направлении от водоносного горизонта в фильтр. Это приводит к тому, что в результате импульсного воздействия частицы коьматанта в порах песков продуктивного горизонта истираются, уменьшаясь, до размеров частиц, легко удаляемых из скважины эрлифтной прокачкой.

Для генерирования импульсов применяются гидроударные вибраторы с размещенными на подвижном штоке дисками. Гидровибратор УРК, разработанный в МГРИ, спускают в зону фильтра на бурильных трубах или шланге высокого давления типа ШАПП-50, по которому к рабочему органу подается рабочий агент (техническая вода или растворы реагентов). Технические характеристики гидровибратора УРК приведены в таблице 3.

С использованием гидровибратора УРК может производиться реагентно-импульсное воздействие на породы прифильтровой зоны. Для этого

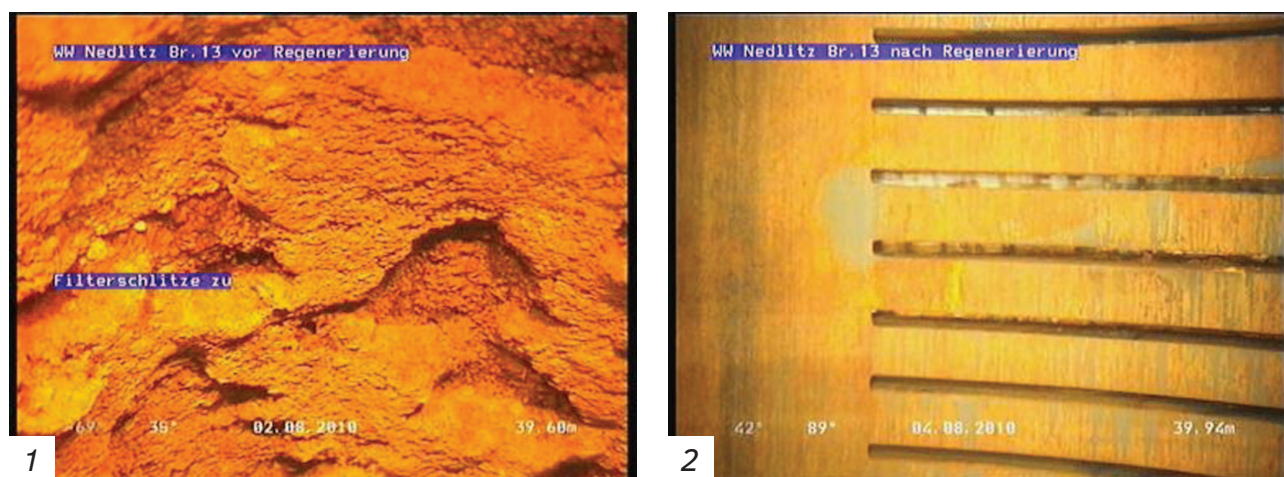


Рис. 3. Удаление химических отложений с внутренней поверхности фильтра: 1 — поверхность фильтра до обработки пневмоимпульсом; 2 — поверхность фильтра после обработки пневмоимпульсом

Fig. 3. Removal of chemical deposits from the inner surface of the filter: 1 — filter surface before pneumatic pulse treatment; 2 — filter surface after pneumatic pulse treatment

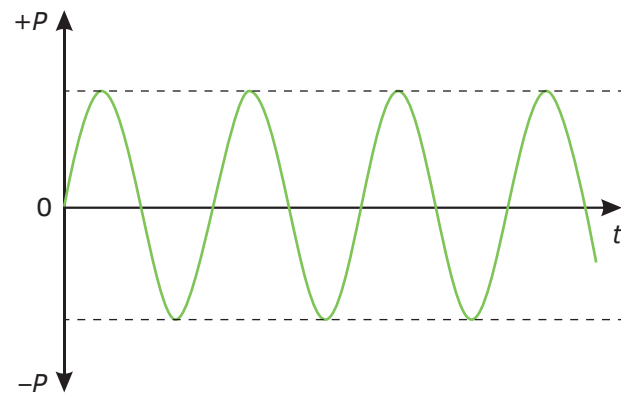


Рис. 4. График изменения импульсов, создаваемых УРК в прифильтровой зоне скважин
Fig. 4. Graph of changes in pulses generated by the URC in the filter zone of wells

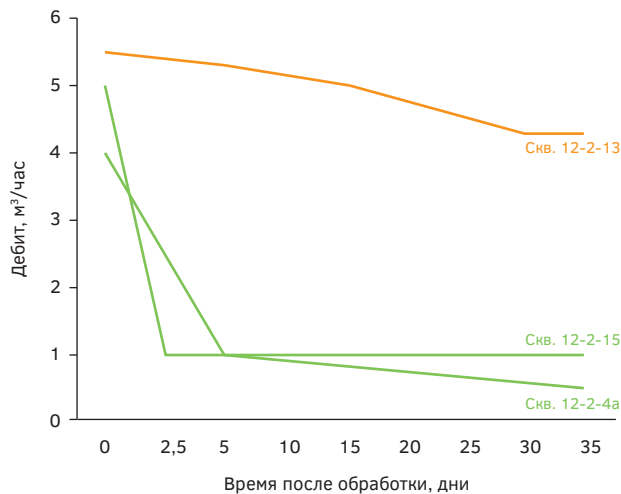


Рис. 5. Эффективность применения гидровибратора УРК: скважина 12-2-13 и пневмоимпульса АСП-ПВ: скважины 12-2-15 и 12-2-4a
Fig. 5. Efficiency of using the URC hydrovibrator: well 12-2-13 and the ASP-PV pneumatic pulse: wells 12-2-15 and 12-2-4a

в качестве рабочего агента применяется раствор химреагентов, ускоряющий разрушение кольматанта в прифильтровой зоне и фильтре. Сочетание импульсных и реагентных методов позволяет достичь высокой эффективности работ по поддержанию на проектном уровне и повышению производительности технологических скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ). Сочетание разрушения кольматанта химическими методами с интенсивным гидродинамическим воздействием в прифильтровой зоне позволяет высокоэффективно разрушать и извлекать из скважины кольтирующие образования.

Таблица 3. Технические характеристики гидровибратора УРК
Table 3. Technical characteristics of the hydrovibrator URC

Характеристика	Значение
Диаметр обрабатываемых скважин, мм: минимальный максимальный	70 220
Расход рабочего агента, дм³/с	2—10
Амплитуда колебаний дисков рабочего органа, мм	5—20
Частота колебаний дисков рабочего органа, Гц	10—50
Энергия рабочего удара, Н·м	1,7—80
Перепад давления в гидровибраторе, МПа	0,4—1,4
Габаритные размеры, мм: длина диаметр корпуса диаметр дисков	1800 60 70—210
Масса, кг	27

На рисунке 5 приведены графики эффективности применения УРК и пневмоимпульсной обработки ПФЗ технологических скважин. Как следует из приведенного графика, интенсивность снижения дебита обработанных гидровибратором скважин в десятки раз ниже, чем у скважин, обработанных пневмоимпульсом. Расчеты показали, что объем извлеченных из недр продуктивных растворов за 35 суток по скв. 12-2-13, обработанной гидровибратором, составил 3573,5 м³, а по скважинам, обработанным пневмоимпульсом, объемы извлеченных растворов составили: скв. 12-2-15 — 1868 м³, скв. 12-2-4a — 782,4 м³. Таким образом, при практически одинаковых затратах на обработку ПФЗ и фильтра объем добычи урана при гидровибрационной обработке превышает объем добычи по сравнению с пневмоимпульсной обработкой в 2—4 раза за указанный выше период проведения наблюдений. Применение гидровибратора позволило повысить эффективность ремонтов, сократить время освоения скважин в 3—4 раза, уменьшить количество РВР за весь период эксплуатации технологической скважины в десятки раз. А, в свою очередь, использование его в качестве насадки к машине освоения скважин МОС-300 или МОС-600 конструкции АО «ВНИПИпромтехнологии» позволяет производить импульсную обработку одновременно с промывкой скважины водой или пеной без извлечения шланга из скважин.



Рис. 6. Общий вид оголовника для выполнения пневмосвабирования
Fig. 6. General view of the head for performing pneumatic swabbing

Пневмосвабирование

Данный метод обработки ПФЗ является самым простым и достаточно эффективным. Суть метода заключается в размещении на устье эксплуатационной колонны (ЭК) специального герметичного оголовника, через который в течение 1—2 минут в колонну постепенно нагнетается сжатый воздух. При этом скважинная жидкость медленно оттесняется от фильтра в водоносный горизонт. Затем производится резкий сброс давления в ЭК, и пластовая жидкость с большой скоростью перемещается из водоносного горизонта в фильтр, очищая его и ПФЗ от коьматанта. Количество таких циклов может составлять от 5 до 20 в зависимости от степени коьматации ПФЗ. Общий вид оголовника из труб ПНД приведен на рисунке 6.

Цикличность работы такого устройства показана на графике на рисунке 7.

Из графика, показанного на рисунке 7, следует, что при подаче сжатого воздуха в колонну в течение промежутка времени t_1 происходит повышение внутриколонного давления P . Причем промежуток времени t_1 на несколько порядков больше промежутка времени сброса давления t_2 и промежутка времени t_3 восстановления пластового давления P до величины $P_{пл}$. При этом создаются условия для движения пластовой жидкости в водоносный горизонт с минимальной скоростью,

которая регулируется подачей сжатого воздуха в колонну. Сброс внутриколонного давления приводит к высокой скорости течения жидкости из водоносного горизонта в фильтр, что обеспечивает высокую интенсивность выноса коьматанта из ПФЗ в фильтр. Метод позволяет после обработки фильтра увеличить дебит скважины в 1,5—2 раза по сравнению с его начальным (до обработки) значением. Метод прост в применении и безопасен в обслуживании. Самое важное правильно выбрать технологический регламент его применения.

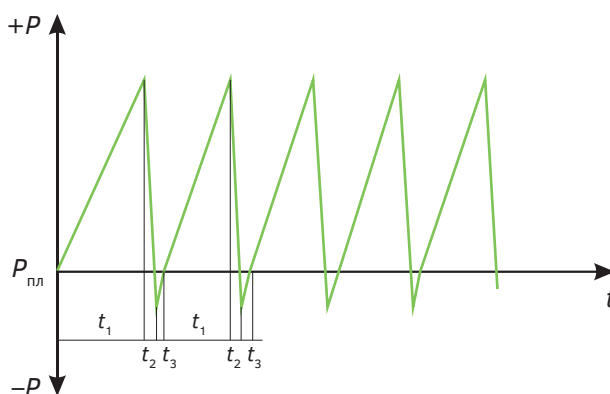


Рис. 7. Графики изменения импульсов, создаваемых в прифильтровой зоне при обработке пневмосвабом
Fig. 7. Graphs of changes in pulses generated in the near-filter zone during pneumatic swab treatment

Выводы

1. Правильный выбор вида механической импульсной обработки является гарантией получения высокого экономического эффекта по каждой скважине с учетом типа колюматации фильтра и прифилтровой зоны.

2. При равных начальных условиях применение гидровибратора УРК для разрушения

колюматанта позволяет в 2—4 раза повысить объем добычи полезного продукта.

3. Проведение механической импульсной обработки фильтров и ПФЗ с помощью гидровибратора позволяет сократить в десятки раз число РВР, необходимых для поддержания проектного значения производительности технологических скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольницкая Э.М. Разработка и внедрение низкочастотной импульсно-волновой технологии интенсификации притоков в гидрогеологических скважинах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Всесоюз. н.-и. и проект.-конструк. ин-т по взрывным методам геофиз. разведки, 1990. 19 с.
2. Вольницкая Э.М., Беликов М.С., Богданов В.С., Лысов В.Н., Прилепский В.П., Сафонов В.И. Способ обработки и очистки скважины и прискважинной зоны пласта. А.с. 1802070 СССР. МКИ Е 21 С 45/00 — Оpubл. 15.03.03. Бюл. № 10.
3. Геотехнология урана (российский опыт): монография. Под ред. И.Н. Солодова, Е.Н. Камнева. М.: «КДУ» — «Университетская книга», 2017. 576 с.
4. Грикевич Э.А. Гидравлика водозаборных скважин. М.: Недра, 1986. 231 с.
5. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Алексеев Н.А., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Ремонтно-восстановительные работы для повышения производительности технологических скважин. Разведка и охрана недр. 2020. № 6. С. 52—56.
6. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Алексеев Н.А., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Методы и технические средства обработки прифилтровых зон технологических скважин. Разведка и охрана недр. 2020. № 7. С. 40—44.
7. Сердюк Н.И. Кавитационные способы деколюматации филтровой области буровых скважин. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2004. 176 с.

REFERENCES

1. Volnitskaya E.M. Development and implementation of low-frequency pulse-wave technology for intensification of inflows in hydrogeological wells: Abstract of dis. for a Ph.D. in Engineering Sciences. All-Union Scientific and Design Institute for Explosive Methods of Geophysical Prospecting, 1990. 19 p. (In Russ.).
2. Volnitskaya E.M., Belikov M.S., Bogdanov V.S., Lysov V.N., Prilepsky V.P., Safonov V.I. Method of processing and cleaning a well and the near-wellbore zone of a formation. A.s. 1802070 USSR. MKI E 21 C 45/00 — Published 15.03.03. Bulletin No. 10 (In Russ.).
3. Uranium geotechnology (Russian experience): monograph. Ed. I.N. Solodov, E.N. Kamnev. Moscow: "KDU" — "University book", 2017. 576 p. (In Russ.).
4. Grikevich E.A. Hydraulics of water intake wells. Moscow: Nedra, 1986. 231 p. (In Russ.).
5. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Alekseev N.A., Ivanov D.A., Arsenyev Yu.A., Soloviyov N.V., Nazarov A.P. Repair and restoration work to increase the productivity of technological wells. Exploration and protection of subsoil. 2020. No. 6. P. 52—56 (In Russ.).
6. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Alekseev N.A., Ivanov D.A., Arsenyev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Methods and technical means for processing near-filter zones of technological wells. Exploration and protection of subsoil. 2020. No. 7. P. 40—44 (In Russ.).
7. Serdyuk N.I. Cavitation methods for decolmation of the filter area of bored wells. Moscow: JSC "VNIIOENG", 2004. 176 p. (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Иванов А.Г. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Арсентьев Ю.А. — согласовывал результаты аналитических исследований с процессами сооружения, эксплуатации и ремонта технологических скважин на производственных объектах, принимал участие в разработке концепции статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander G. Ivanov — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Yuri A. Arsentiev — coordinated the results of analytical studies with the processes of construction, operation and repair of technological wells at production facilities, took part in the development of the concept of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Орехов Д.Д. — отвечал за качество перевода на английский язык текста статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гаврилов Р.И. — отвечал за графическое оформление статьи, построение графиков и расчетной схемы, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Danila D. Orekhov — was responsible for the quality of the translation into English of the text of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ruslan I. Gavrilov — was responsible for the graphic design of the article, construction of graphs and calculation diagrams, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Иванов Александр Георгиевич — кандидат технических наук, главный специалист АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии». 33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия
e-mail: ivanov_ag@mail.ru
тел.: +7 (914) 804-18-53
SPIN-код: 4406-5064

Alexander G. Ivanov — Cand. Sci. (Tech.), Chief Specialist of JSC “Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology”. 33, Kashirskoe highway, Moscow 115409, Russia
e-mail: ivanov_ag@mail.ru
tel.: +7 (914) 804-18-53
SPIN-code: 4406-506
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7275-903X>

Арсентьев Юрий Александрович* — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: arsentev1956@yandex.ru
тел.: +7 (985) 145-62-07
SPIN-код: 6602-3910
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

Yuri A. Arsentiev* — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: arsentev1956@yandex.ru
tel.: +7 (985) 145-62-07
SPIN-code: 6602-3910
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

Орехов Данила Дмитриевич — студент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва, Россия
e-mail: danila5688@yandex.ru
тел.: +7 (920) 088-56-88 /
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6593-8315>

Danila D. Orekhov — student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: danila5688@yandex.ru
tel.: +7 (920) 088-56-88
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6593-8315>

Гаврилов Руслан Игоревич — студент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: supermouse27228@gmail.com
тел. +7 (920) 088-56-88
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6667-0274>

Ruslan I. Gavrilov — student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: supermouse27228@gmail.com
tel.: +7 (920) 088-56-88
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6667-0274>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА (АЗЕРБАЙДЖАН)

З.Н. МЕХТИЕВА

*Институт геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана
119, пр-т Г. Джавида, г. Баку AZ1143, Азербайджан*

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведен сравнительный анализ петрохимических характеристик разнофациальных верхнеюрских комплексов юго-восточного погружения Большого Кавказа в Азербайджане.

Цель. Определение особенностей формирования верхнеюрских карбонатно-терригенных комплексов пород Юго-Восточного Кавказа, включая палеоклимат, геохимический режим бассейна и петрофунд прилегающих зон размыва.

Материалы и методы. Материалы были получены в ходе полевых работ, проведенных в течение нескольких лет (2015—2023 гг.) в Шахдаг-Хызынской и Гутон-Гонагкендской фациальных зонах Бокового хребта. Образцы были исследованы на предмет содержания основных породообразующих оксидов и микроэлементов. Химический состав образцов исследовался с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра с волновой дисперсией S8-Tiger. Минералогический анализ проводился методом рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра Miniflex 600. На основании интенсивности дифракционных пиков была проведена количественная оценка содержания минералов в образцах. Для изучения структурных и текстурных особенностей горных пород использовался электронный микроскоп Carl ZEISS.

Результаты. Полученные данные использовались для выявления петрохимической характеристики верхнеюрских песчаных, глинистых и песчано-алевролитовых образований Юго-Восточного Кавказа.

Закключение. Впервые на основе силикатного анализа были рассчитаны литохимические модули и проведена петрохимическая характеристика верхнеюрского осадочного комплекса Юго-Восточного Кавказа. Химический состав верхнеюрских пород в целом однороден, и распределение микроэлементов в этих породах не показывает заметных отклонений. Литохимические параметры песчаников свидетельствуют об умеренном уровне зрелости, что указывает на их образование в результате механического разрушения пород.

Ключевые слова: Юго-Восточный Кавказ, Шахдаг-Хызынская зона, хашинская свита, петрохимия, титановый модуль

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: за счет средств аспирантуры Института геологии и геофизики МНО Азербайджана.

Для цитирования: Мехтиева З.Н. Петрохимическая характеристика верхнеюрских отложений Юго-Восточного Кавказа (Азербайджан). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):114—125. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-114-125> EDN: [VGLMEY](https://www.edn.ru/VGLMEY)

Статья поступила в редакцию 17.07.2024

Принята к публикации 07.02.2025

Опубликована 31.03.2025

PETROCHEMICAL FEATURES OF UPPER JURASSIC DEPOSITS IN SOUTHEASTERN CAUCASUS (AZERBAIJAN)

ZABITA N. MEHDIYEVA

*Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Science and Education of Azerbaijan
119, G. Javid Ave., Baku AZ1143, Azerbaijan*

ABSTRACT

Background. This paper presents the results of complex lithological studies of the Upper Jurassic sediments in the southeastern part of Azerbaijan, the Greater Caucasus area.

Aim. Determination of the formation characteristics of Upper Jurassic carbonate-terrigenous rock complexes in the Southeast Caucasus, including paleoclimate, the geochemical regime of the basin, and the petrophysical properties of adjacent erosion zones.

Materials and methods. Materials were collected during fieldwork conducted over several years (2015–2023) in the Shahdag-Khyzy and Guton-Gonagkend facies zones of the Side range. The chemical composition of samples was analyzed using a S8-Tiger wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometer. Mineralogical analysis was conducted using X-ray diffraction on a Miniflex 600 diffractometer. Quantitative assessment of mineral content in the samples was based on the intensity of diffraction peaks. For studying the structural and textural features of the rocks, a Carl ZEISS electron microscope was utilized.

Results. The data obtained were used to determine the petrochemical properties of the Upper Jurassic sandstone and shale formations in the southeastern Caucasus. Using these parameters, a paleoclimatic and tectonic reconstruction of the formation process of these rocks was also conducted.

Conclusion. For the first time, lithochemical modules were calculated and petrochemical characteristics of the Upper Jurassic sedimentary complex of the South-East Caucasus were carried out based on silicate analysis. The chemical composition of the Upper Jurassic rocks is generally uniform, and the distribution of trace elements in these rocks does not show noticeable deviations. Lithochemical parameters of sandstones show a moderate level of maturity, which indicates their formation as a result of mechanical destruction of rocks.

Keywords: Southeastern Caucasus, Shahdag-Khyzy zone, Khashy suite, petrochemistry titanium module

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: at the expense of the postgraduate program of the Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Education and Science of Azerbaijan.

For citation: Mehdiyeva Z.N. Petrochemical features of upper jurassic deposits in Southeastern Caucasus (Azerbaijan). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):114—125. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-114-125> EDN: [VGLMEY](https://www.edn.ru/VGLMEY)

Manuscript received 17 July 2024

Accepted 07 February 2025

Published 31 March 2025

Объектом нашего исследования является верхнеюрский осадочный комплекс, который обнажается на северном склоне Большого Кавказа в пределах Азербайджана. Несмотря на обширные тематические и геологические изыскания, проведенные в этом регионе за последние 150 лет [3, 8, 14, 16] все еще есть неопределенности, которые требуют дальнейшего детального анализа. Много вопросов остаются без ответа в отношении более

детального возрастного расчленения, генезиса и классификации ритмично сложенных карбонатно-терригенных верхнеюрских комплексов, а также выявления внутренних и внешних источников кластического материала. Много нерешенных вопросов в контексте более детального возрастного расчленения, генезиса и классификации ритмично сложенных карбонатно-терригенных комплексов верхнеюрского возраста. Не до конца

выяснены также характер прилегающих участков, которые обеспечивали юрские осадочные бассейны обломочным материалом. Сложное строение региона, фрагментарное обнажение отложений, наличие тектонических покровов, внутриформационных перерывов и меланжевых конгломератов значительно затрудняют изучение верхнеюрских отложений, характеризующихся палеонтологической скудостью или полным отсутствием ископаемых. Эти особенности обуславливают необходимость применения комплексного подхода для реконструкции геологической истории региона и изучения условий формирования верхнеюрских отложений.

Материалы и методика работ

Образцы пород были собраны автором в ходе полевых работ, которые проводились периодически в течение нескольких лет (2015—2023 гг.). Общее количество собранных образцов из указанных разрезов составило 125. Химический и минеральный состав отложений был изучен в Аналитическом центре Института геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана. Анализ проводился на содержание основных породообразующих оксидов и микроэлементов с использованием волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S8-Tiger. Для подготовки каждый образец весом около 10 г измельчался в агатовой ступке до состояния мелкого порошка, после чего использовался метод пробоподготовки пресованным порошком. Аналитическая точность составляла более $\pm 0,5$ для SiO_2 и Al_2O_3 , выше $\pm 0,17$ для Fe_2O_3 и Na_2O , и более $\pm 0,8$ для MgO , K_2O , MnO , TiO_2 и P_2O_5 . Минералогический анализ проводился с использованием рентгеновской дифракции на рентгеновском дифрактометре Miniflex 600. На основе интенсивности дифракционных пиков была выполнена количественная оценка содержания минералов в образцах.

Геологическое строение

Вскрытые эрозией опорные стратиграфические разрезы верхней юры Юго-Восточного Кавказа расположены в пределах Судур, Шахаг-Хызынской и Гутон-Гонагкендской структурно-фациальных зон Бокового Хребта. Фациальная изменчивость верхнеюрских пород региона, которая проявляется в переходе от мелководно-лагунных осадков на севере к более глубоководным грубообломочным флишевым отложениям на юге, обусловлена как структурно-морфологическими особенностями палеобассейна, так и нестабильностью

палеогеодинамических условий. Проведенные на сегодняшний день исследования подтверждают участие здесь всех стратиграфических ярусов [1, 2, 3, 5, 7, 17, 18, 23].

Верхнеюрский комплекс Судурской зоны представлен лагунными отложениями в нижней части и шельфовыми в верхней. В основании разреза обнажается толща чередующихся кирпично-красных песчанистых глин, песчаников и прослоев гипса (75 м), трансгрессивно залегающая на различных горизонтах верхнего аалена. Вверх по разрезу толща приобретает все более выраженный лилово-красный оттенок и в кровле пронизана гипс-ангидритовыми прожилками, несогласно перекрываясь гипсоносной глинисто-песчаной свитой верхнего оксфорда [7, 23]. Породы кимериджского яруса представлены известняками, аргиллитами и песчаниками, с маломощными базальными слоями мелкогалечных конгломератов и гравелитов в основании. Общая мощность их варьируется от 60 до 80 м. Титонский ярус состоит преимущественно из известняков и доломитов, при этом мощность этой свиты увеличивается в южном направлении, к центральной части Судурской зоны, от 50 м на севере до 450—500 м на юге.

Верхнеюрские отложения Шахдаг-Хызынской зоны характеризуются рифовыми и склоновыми фациями. Образования рифовой фации (шахдагская свита) в нижней части сложены серыми грубо-слоисто-массивными доломитизированными известняками (около 260 м), а вверху розовыми брекчиевидными известняками и доломитами с пластами красных известняковых брекчий и конгломератов (550 м). На основании многочисленных фаунистических находок возраст рифовых известняков сегодня признан верхнеоксфордско-титонским [1, 5, 7, 23]. Верхнеюрские отложения зоны, наряду с нижнемеловыми, играют ведущую роль в формировании структуры южной окраинной части карбонатной платформы Северо-Восточного Кавказа [4].

Отложения склоновой фации верхней юры входят в состав автохтонного комплекса Шахдаг-Хызынской зоны и выходят на поверхность в ее юго-восточной части, вдоль реки Гильгильчай. Базальная грубообломочная толща верхней юры, обнажающаяся только в долине реки Гильгильчай, выделена как молтская свита и датируется поздним келловеем — ранним оксфордом. [6, 7]. Свита состоит из чередования мощных мелко- и среднегалечных конгломератов и пачек буровато-черных аргиллитов, переходящих в чередование глинистых

песчаников, гравелитов и конгломератов общей мощностью 130 м. Молтская свита согласно переходит в зеленоцветную толщу флишевого чередования песчаников и алевролитов (200 м), относящуюся к кызылгазминской свите [24].

В Гутон-Гонагкендской зоне можно наблюдать две полосы выходов верхнеюрского комплекса на дневную поверхность (рис. 1). На левом берегу реки Джимичай, на южной окраине села Гонагкенд, верхнеюрские отложения, участвующие в строении Каровулустинской синклинали, были отнесены к оксфордскому ярусу на основе их литологического состава и стратиграфического положения. Гаровулустинская свита состоит из чередования темно-серых до черных, местами зеленовато-серых аргиллитов и массивных (до 1,0 м) мелко- и среднезернистых известковых

песчаников с гальками темных аргиллитов и редкими прослоями мергелистых известняков (60 м) [7, 24]. В верхней половине свиты наблюдается увеличение мощности песчаных слоев, где преобладают массивные песчаники толщиной 1—1,5 м. По реке Джимичай мощность гаровулустинской свиты достигает 646 м, тогда как на севере, вблизи реки Истисучай (приток реки Гильгильчай), она сокращается до 270 м.

Гаровулустинская свита перекрывается кызылгазминской свитой по тектоническому контакту; последняя относится к кимериджскому возрасту. Свита состоит из ритмично чередующихся средне- и толстослоистых светло- и пепельно-серых известковых песчаников (0,2—0,5 м), редких песчаных известняков, а также зеленовато-серых, местами буровато-коричневых известковых

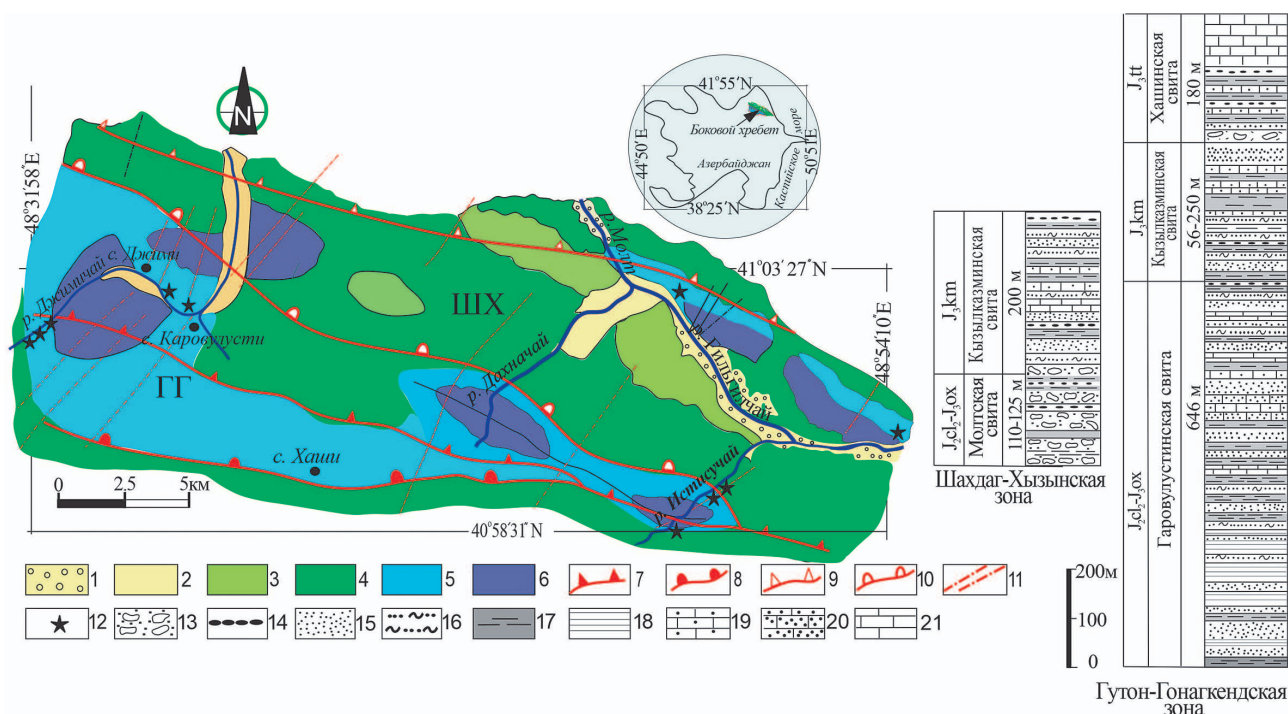


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и стратиграфические колонки верхнеюрских пород Шахдаг-Хызынской и Гутон-Гонагкендской зон: ШХ — Шахдаг-Хызынская, ГГ — Гутон-Гонагкендская; 1 — плейстоцен-голоцен, 2 — неоген-палеоген, 3 — верхний мел; 4 — нижний мел, 5 — верхняя юра, 6 — средняя юра; разломы (7—11): 7 — Главный Кавказский надвиг, 8 — Гамарванский надвиг, 9 — Сиязанский надвиг, 10 — Шахдаг-Гонагкендский разлом, 11 — поперечные разломы; 12 — место отбора проб. Для колонок: 13 — конгломераты, 14 — гравелиты, 15 — песчаники, 16 — алевропесчаники, 17 — аргиллиты и глины песчаные, 18 — аргиллиты и глины кремнистые, 19 — известковые песчаники, 20 — известняки песчаные, 21 — известняки

Fig. 1. Schematic geological map and stratigraphic columns of the Upper Jurassic rocks of the Shahdag-Khyzy and Guton-Gonagkend zones: ШХ — Shahdag-Khyzy, ГГ — Guton-Gonagkend; 1 — Pleistocene-Holocene, 2 — Neogene-Paleogene, 3 — Upper Cretaceous, 4 — Lower Cretaceous, 5 — Upper Jurassic, 6 — Middle Jurassic; Faults (7—11): 7 — Major Caucasus overthrust, 8 — Gamarvan overthrust, 9 — Siyazan overthrust, 10 — Shahdag-Gonagkend fault, 11 — other dislocations; 12 — sampling location. For columns: 13 — conglomerates, 14 — gravelites, 15 — sandstones, 16 — siltstone-sandstones, 17 — mudstones and sandy clays, 18 — mudstones and siliceous clays, 19 — calcareous sandstones, 20 — sandy limestones, 21 — imestones

аргиллитов и алевролитов. В восходящем разрезе ритм чередования становится более грубым: мощность крупнозернистых песчаников и гравелитов увеличивается до 20—25 и 20—30 см. Мощность свиты колеблется от 56 до 390 м. Несмотря на выраженную литологическую изменчивость кызылказминской свиты, в ее составе выделяют три подсвиты [24, 25].

Титонские отложения представлены хашинской свитой (170 м), в основании которой залегает 7-метровый пласт крупногравийных базальных конгломератов. Нижняя часть свиты состоит из чередования песчаных аргиллитов, глинистых песчаников, известковых гравелитов и песчаных известняков. В верхних слоях разреза чаще встречаются сильноизвестковистые песчаники и песчаные известняки (мощность прослоев 5—30 см) с прослоями зеленовато-серых известковистых аргиллитов и мергелей.

Вещественный состав и геохимия верхнеюрских отложений

Песчаники плотные, тонкослоистые, средне- и крупнозернистые, слабо отсортированы и обогащены алевролитовым материалом. Все они в той или иной степени обогащены глинистым и алевролитовым материалом. Наиболее крупнозернистые разности песчаных пород обнаружены в верхнекызылказминской подсвите разреза Джимичай. Они также плохо отсортированы. По составу являются полимиктовыми, состоящими из кварца (20—50%), полевыми шпатами (15—25%), кальцитом (2—62%), глинистыми минералами (11—23%), гематитом (1—9%) и обломками глинистых, кремнистых, карбонатных и эффузивных пород. Песчаники с карбонатным цементом отмечаются почти во всех разрезах. Мощность отдельных прослоев колеблется от 5 до 50 см и более. Алевропесчаники представлены средне- и мелкозернистыми полимиктовыми разностями с кремнисто-карбонатным цементом. В составе пород основное место занимают кварц (35—65%), полевые шпаты (15—30%) и глинистые минералы (21—30%). Глинистые породы представлены очень плотными, не размокающими, заметно известковыми кремнистыми сланцами и аргиллитами. Они залегают в виде тонких слоев толщиной от 1 до 5 см, чередующихся со среднезернистыми песчаниками и мелкозернистыми конгломератами.

В общем комплексе верхнеюрских отложений Юго-Восточного Кавказа карбонатные породы достигают наибольшего развития в титонском ярусе [1, 2]. Представлены они в основном обломочными,

оолитовыми, песчанистыми массивными и толстослоистыми известняками. Известняки оксфорда-кимериджа серые, светло-серые, желтовато- и зеленовато-серые, а титонские розовые. Среди известняков выделяются обломочные, оолитовые, песчанистые, кристаллические и пелитоморфные разновидности.

Анализ основных литогенных компонентов в образцах верхнеюрских пород показал, что их химический состав более или менее сходен. Количество основных породообразующих элементов находится в пределах их кларков. Наиболее распространенными элементами являются кремний, алюминий и кальций. Более высокие концентрации SiO_2 были обнаружены в песчаниках гаровулустинской и кызылказминской свит (табл. 1). Содержание Al_2O_3 колеблется от 2,23 до 19,39% в песчаниках, от 7 до 8% в алевролитах и от 12,89 до 19,53% в аргиллитах. В кимеридж (кызылказминская свита) и титоновых (хашинская свита) отложениях наблюдается увеличение содержания кальция, уменьшение общей щелочности и Fe_2O_3 .

Более высокое содержание Fe_2O_3 (9,96% в образце № 711) было зафиксировано в образцах из кызылказминской свиты. Отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ колеблется от 1,73 до 6,93, а $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ — от 0,81 до 2,87. Тройная диаграмма $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$ также иллюстрирует преобладающий глиноземистый состав верхнеюрских пород (рис. 2).

Согласно [22] соотношение оксидов железа и кальция ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$) является показателем стабильности ферромагнезиальных минералов, тогда как соотношение кремнезема и оксида алюминия варьирует в зависимости от количества кварца, глинистых минералов и полевого шпата. Предположительно источники терригенного материала, формирующие эти отложения, имели глиноземно-кремнеземный состав. На диаграмме, построенной для верхнеюрских отложений на основе этих соотношений, большинство образцов отнесены к грауваккам, лититовым ареникам и железистым песчаникам.

В верхнеюрских отложениях выявлено 16 микроэлементов (Cr, Ni, Co, Ti, V, Pb, Zn, Cu, Sr, Mo, Ge, Ga, Sn, Be, Yb, Y), распределение которых не демонстрирует явной закономерности. Только в нижней части кызылказминской свиты наблюдается незначительное увеличение содержания некоторых элементов (As, Cd, Rb, V, Br и Mo), концентрации которых превышают их кларковые значения. Этот рост, вероятно, связан с локальными геохимическими процессами.

По мнению исследователей [4, 10, 12, 23], окислительно-восстановительное состояние среды

Таблица 1. Минимальные, максимальные и средние значения содержания основных элементов (%) в составе верхнеюрских пород Юго-Восточного Кавказа**Table 1.** The minimum, maximum, and average values of the content of the main elements (%) in the composition of the Upper Jurassic rocks of the Southeastern Caucasus

Компоненты	Каровулустинская свита	Кызылказминская свита	Хашинская свита
SiO ₂	$\frac{38,65-65,82}{44,45}$	$\frac{29,91-63,00}{40,36}$	$\frac{26,13-61,00}{38,40}$
TiO ₂	$\frac{0,64-0,84}{0,72}$	$\frac{0,15-0,69}{0,41}$	$\frac{0,19-0,69}{0,45}$
Al ₂ O ₃	$\frac{8,11-16,65}{13,56}$	$\frac{3,44-15,27}{7,97}$	$\frac{5,98-14,22}{9,58}$
Fe ₂ O ₃	$\frac{5,14-7,09}{6,32}$	$\frac{1,96-9,96}{5,36}$	$\frac{1,60-9,05}{4,65}$
MnO	$\frac{0,03-0,14}{0,11}$	$\frac{0,04-0,52}{0,17}$	$\frac{0,06-0,15}{0,08}$
MgO	$\frac{0,87-1,76}{1,24}$	$\frac{0,56-2,21}{1,36}$	$\frac{1,15-1,99}{1,54}$
CaO	$\frac{1,55-13,4}{5,17}$	$\frac{2,88-44,78}{25,51}$	$\frac{18,80-44,24}{28,58}$
K ₂ O	$\frac{2,15-4,14}{3,22}$	$\frac{0,58-3,75}{1,61}$	$\frac{0,83-2,76}{1,86}$
Na ₂ O	$\frac{0,64-1,59}{1,4}$	$\frac{0,33-2,16}{1,12}$	$\frac{0,52-0,86}{0,65}$
P ₂ O ₅	$\frac{0,20-2,36}{0,25}$	$\frac{0,05-0,74}{0,14}$	$\frac{0,07-0,12}{0,09}$
П.п.п.	$\frac{3,02-8,92}{4,97}$	$\frac{4,89-35,74}{19,02}$	$\frac{11,91-27,41}{20,77}$

Примечание: в числителе — минимальное и максимальное значения, в знаменателе — среднее арифметическое значение.

Note: numerator contains the minimum and maximum values, and the denominator contains the arithmetic mean.

оказывает значительное влияние на содержание соответствующих элементов в осадочных породах. В частности, соотношения молибдена и марганца, а также вольфрама и хрома являются информативными индикаторами, позволяющими оценить уровень окислительно-восстановительных условий, преобладавших в палеобассейне. Изучение соотношений V/Cr и Mo/Mn в верхнеюрских отложениях свидетельствует о преобладании окислительных условий в оксфорд-титонском интервале. Однако вблизи границы киммериджа и титона зафиксированы отдельные случаи аноксических условий, что может указывать на локальные изменения химического режима палеобассейна. Эти эпизодические проявления аноксии, вероятно, связаны с изменением глубины, циркуляции водных масс, колебаниями уровня морской воды. Индекс Ca/Mg биогермов свидетельствует о том,

что температура воды в верхнеюрском бассейне варьировала в пределах 23—27 °С.

Петрохимические модули для верхнеюрских отложений.

Петрохимические модули — это коэффициенты, оценивающие состав и преобразование осадочных пород, их источники, выветривание и диагенез. Геологическая литература содержит множество примеров использования петрохимических модулей для исследования осадочных пород [9, 11, 12, 13, 14].

По величине гидролизатного модуля (ГМ) большинство исследуемых верхнеюрских образцов относятся к гипо- и нормосиаллитам (ГМ = 0,34—0,48). Исключение составляют пять образцов из кызылказминской свиты, которые классифицируются как миоилиты (ГМ = 0,21—0,30).

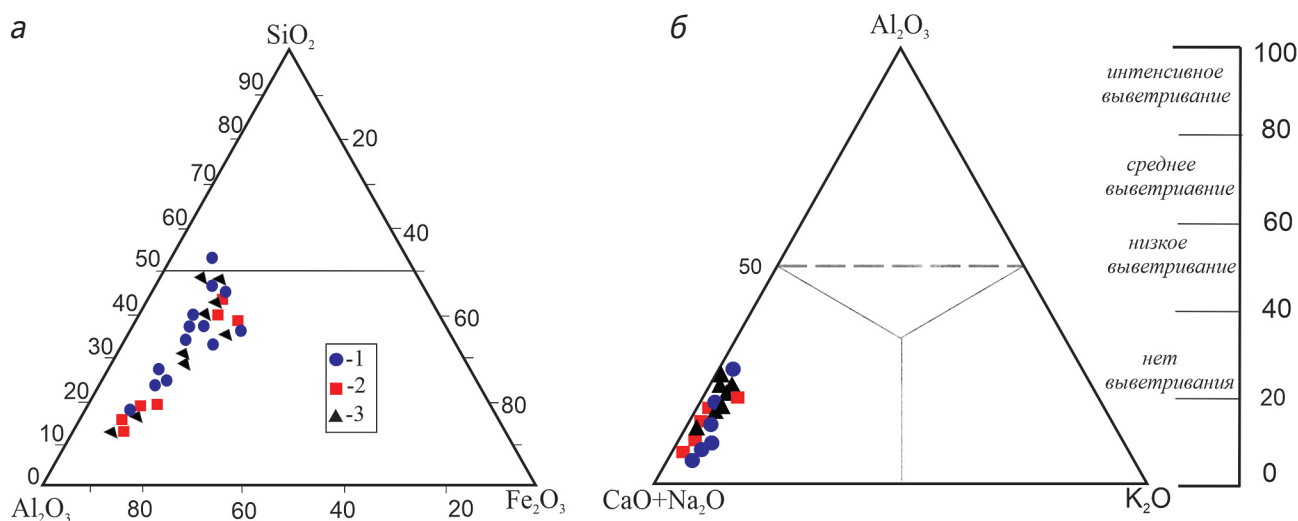


Рис. 2. Треугольные диаграммы, составленные на основе химического состава верхнеюрских отложений: а — диаграмма соотношений SiO_2 — Al_2O_3 — Fe_2O_3 ; б — диаграмма, иллюстрирующая степень химического выветривания по соотношению Al_2O_3 — $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ — K_2O . 1 — каровулустинская свита, 2 — кызылказминская свита, 3 — хашинская свита

Fig. 2. Triangular diagrams based on the chemical composition of Upper Jurassic deposits: а — a diagram of the SiO_2 — Al_2O_3 — Fe_2O_3 ratio; б — a diagram illustrating the degree of chemical weathering based on the Al_2O_3 — $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ — K_2O ratio. 1 — Garovulusty suite, 2 — Gyzykasma suite, 3 — Khashy suite

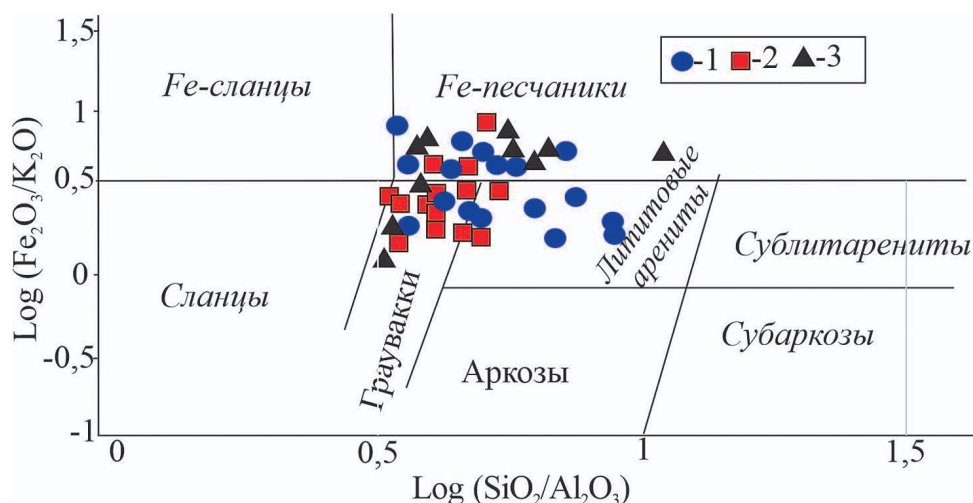


Рис. 3. Расположение верхнеюрских отложений на диаграмме $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ — $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [23]: 1 — каровулу-
стинская свита, 2 — кызылказминская свита, 3 — хашинская свита

Fig. 3: The position of the Upper Jurassic deposits on the $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ — $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ diagram [23]: 1 — Garovulusty suite, 2 — Gyzykasma suite, 3 — Khashy suite

Во всех изученных образцах ГМ $< 0,55$, что указывает на аридный тип выветривания [19, 20, 21].

Алюмокремниевый модуль (АМ) в верхнеюрских отложениях варьирует в пределах 0,18—0,28 и хорошо коррелирует с ГМ. В интенсивно дифференцированных породах АМ имеет более низкие значения. Почти все образцы относятся к группе нормоглиноземистых. Только три образца из гаровулустинской и шесть образцов

из кызылказминских песчаников классифицируются как гипоглиноземистые (АМ $< 0,20$).

Фемический модуль (ФМ) в верхнеюрских отложениях колеблется от 0,08 до 0,25 в кызылказминской свите, от 0,11 до 0,23 в гаровулустинской свите и от 0,12 до 0,24 в хашинской свите. По значениям ФМ большое число изученных образцов попадает в область нормофемических (ФМ = 0,1—0,2). Однако есть также некоторые образцы,

Таблица 2. Рассчитанные петрохимические модули для верхнеюрских пород
Table 2. Petrochemical modules calculated for Upper Jurassic rocks

Литохимические параметры	Хашинская свита		Кызылказминская свита		Каровулустинская свита	
	песчаник	алевролит	песчаник	алевролит	песчаник	алевролит
ГМ	0,35	0,40	0,32	0,40	0,35	0,42
ТМ	0,051	0,055	0,049	0,056	0,050	0,052
ЖМ	0,46	0,66	0,56	0,63	0,42	0,51
ФМ	0,13	0,19	0,14	0,20	0,12	0,19
НКМ	0,26	0,33	0,27	0,34	0,31	0,31
ШМ	0,46	0,51	0,78	0,55	0,46	0,32
АМ	0,22	0,23	0,19	0,23	0,23	0,26
СИА	73	69	69	68	73	72
IVC	1,71	4,69	1,85	4,72	1,26	5,64

Примечание: формулы для расчета петрохимических модулей:

ГМ = $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO})/\text{SiO}_2$; ТМ = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; НКМ = $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; ФМ = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; АМ = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$; ШМ = $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

Note: formulas for calculating petrochemical modules:

Hydrolysate Module («ГМ») = $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO})/\text{SiO}_2$; Titanium Module («ТМ») = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; Normalized Alkalinity («НКМ») = $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$; Femic Module («ФМ») = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$; Aluminum-Silicon Module («АМ») = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$; Alkaline module (SM) = $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

которые относятся к категории гипо- и суперфемических. В первом случае ФМ < 0,1, а во втором ФМ = 0,21—0,25 [19].

Титановый модуль (ТМ = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) является показателем динамической сортировки терригенного материала. В породах, образовавшихся в мелководных бассейнах и в гумидном типе литогенеза, титановый модуль выше [19]. Количество TiO_2 в верхнеюрских породах Юго-Восточного Кавказа меняется от 0,19 до 0,70%, от 0,29 до 1,01% и от 0,12 до 0,92% соответственно в хашинской, гаровулустинской и кызылказминской свитах, а значения ТМ находятся, соответственно, в пределах 0,047—0,065, 0,049—0,069 и 0,041—0,061. Все образцы относятся к группе нормотитанистых. Титанистость верхнеюрских песчаников ниже (табл. 2), чем у алевролитов и аргиллитов, что позволяет классифицировать эти породы как петрогенные.

Практически во всех образцах содержание калия превышает содержание натрия, при этом значение щелочного модуля варьирует в пределах от 0,27 до 1,67. Эти данные свидетельствуют о существенном воздействии кислых пород на образование отложений. Они также указывают на наличие продуктов выщелачивания кислых пород.

Общая щелочность в верхнеюрских отложениях составляет от 0,78 до 6,5 при среднем значении

2,74. По значению нормированной щелочности (НКМ) все верхнеюрские отложения классифицируются как нормощелочные [19], а величина ШМ соответствует типичному диапазону для нормальных сиаллитов и псевдосиаллитов (0,3—1,0), что также указывает на отсутствие вулканических и терригенных пирокластических материалов в этих породах.

Петрогенным породам свойственна положительная корреляция между титанистостью (ТМ) и железистостью (ЖМ), а также отрицательная корреляция между щелочностью (НКМ) и гидролизатностью (ГМ) [19]. Умеренно выраженная положительная корреляция между ТМ и ЖМ ($r = 0,68$), и ФМ и ЖМ ($r = 0,62$) позволяет отнести верхнеюрские отложения к петрогенным. В то же время положительная корреляция между НКМ и ГМ ($r = 0,65$), и ТМ и НКМ ($r = 0,14$) указывает на участие процессов рециклизации древних осадочных пород в их формировании.

Согласно [2, 3, 15] в составе среднеюрских отложений Северного Кавказа преобладают тонкозернистые глинистые осадки с однообразным гидрослюдистым составом и незначительным количеством смешаннослоистых минералов, таких как монтмориллонит-гидрослюда и хлорит-гидрослюда, а также мелкозернистые песчаники с повышенным содержанием кварца.

Микроэлементы обнаруживаются в небольших количествах (0,0001—0,003%), при этом большинство из них в несколько раз превышают свои кларковые значения. Верхнеюрский комплекс Юго-Восточного Кавказа характеризуется распространением средне- и крупнозернистых песчаников, обогащенных крупными обломками кварца, а также крупногалечными конгломератами и гравелитами полимиктового состава. Таким образом, в образовании этих пород предполагается также участие продуктов выветривания более древних кристаллических пород внутренних областей денудации. Источником этих материалов был палеозойский фундамент, который был поднят вдоль глубинных разломов в результате предбатских тектонических движений [8, 16].

С увеличением содержания титана в породах наблюдается также рост содержания железа. Это свойственно породам, формирующимся в условиях низкой химической дифференциации, где железо и титан связаны с кремнисто-алевритовым составом [21]. На модульных диаграммах верхнеюрские отложения демонстрируют весьма слабую химическую дифференциацию литологических типов. Существенных различий в расположении фигуративных точек, отражающих составы песчаников, песчано-алевролитовых и глинистых отложений нет. Слабое разрешение литотипов на модульных диаграммах может быть обусловлено недостаточной дифференциацией обломочного материала в условиях аридного литогенеза.

Для количественной оценки и определения характеристик выветривания пород было предложено несколько индексов выветривания, основанных на молекулярном составе мобильных (Na, Ca, K) и немобильных (Al) элементов. Это индекс хи-

мического изменения [$CIA = (Al_2O_3 / \{Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O\}) \times 100$], предложенный Несбиттом и Янгом [26], и индекс изменчивости состава [$ICV = (Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3$] Кокса и Лоу [28]. CaO^* — здесь CaO в силикатной фракции. В силикатах содержание CaO эквивалентно молярному содержанию Na_2O .

Значение CIA, рассчитанного на основе химического состава верхнеюрских пород, колеблется от 60,83 до 74,19, в среднем равняясь 69,23, что свидетельствует об умеренном химическом воздействии. На треугольной диаграмме Al_2O_3 — $(CaO + Na_2O) - K_2O$ [26] верхнеюрские породы демонстрируют очень низкую степень выветривания. Величина IVC колеблется в интервалах 1,01—7,35 в породах гаровулустинской свиты, 1,26—21,07 в породах кызылказминской свиты и 0,98—2,13 в хашинской свите. Значения CIA и IVC, рассчитанные для верхнеюрских пород, свидетельствуют о низком уровне химического выветривания.

Палеоклимат

В. Смикач-Клосс и Д. Рой [27] установили, что различие соотношений Na_2O/Al_2O_3 , Na_2O/TiO_2 и Na_2O/K_2O меняются в зависимости от климатических условий, в которых формировались породы. Таким образом, разница между этими значениями уменьшается с увеличением влажности, и, наоборот, с увеличением засухи разница между ними увеличивается. Вычисление этих соотношений для разрезов верхней юры указывает на то, что формирование пород происходило в основном в засушливых климатических условиях. На графике (рис. 4) распределения этих соотношений видны два отчетливых перехода (примеры 11 и 13) к очень засушливым условиям.

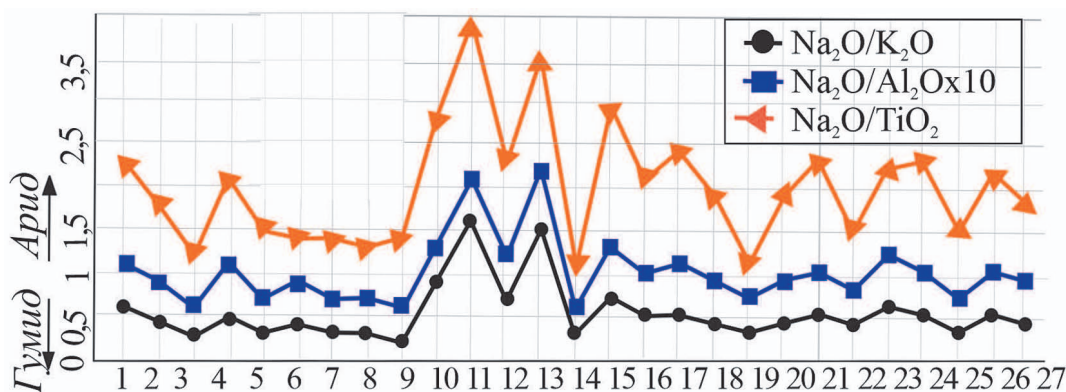


Рис. 4. График распределения соотношений Na_2O/Al_2O_3 , Na_2O/TiO_2 и Na_2O/K_2O и их различия для верхнеюрских отложений [27]

Fig. 4. Distribution graph of Na_2O/Al_2O_3 , Na_2O/TiO_2 and Na_2O/K_2O ratios and their differences for Upper Jurassic deposits [27]

Заключение

Впервые на основе силикатного анализа числены литохимические модули и выполнена петрохимическая характеристика верхнеюрского осадочного комплекса Юго-Восточного Кавказа. Изучение вещественного состава и сравнение петрохимических отложений позволило сделать выводы о сложной многокомпонентной природе этих пород. Химический состав разнофациальных верхнеюрских пород в целом однороден, также распределение микроэлементов в этих породах не демонстрирует значительных отклонений. Более повышенные значения Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O и TiO_2 были обнаружены в глинистых породах кызылкаминской свиты.

Рассчитанные индексы химического изменения (CIA) и изменчивости состава (ICV) для верхнеюрских пород свидетельствуют о сравнительно низком уровне химического выветривания в питающих провинциях. Литохимические параметры песчаников свидетельствуют об умеренном уровне зрелости, что указывает на их образование в результате механического разрушения пород.

По значению ГМ верхнеюрские отложения аттестуются как гипо- и нормосиаллиты. По значению НКМ все верхнеюрские отложения относятся к нормощелочным. Песчаники характеризуются относительно высокими значениями НКМ (в среднем 0,33), что связано с присутствием калиевого полевого шпата. Низкие значения НКМ в глинистых отложениях (0,28) объясняются значительным содержанием бесщелочных алюмосиликатов, таких как хлорит, каолинит и монтмориллонит. Основная часть песчаников состоит из граувакков и лититовых аренитов, при этом K_2O преобладает над Na_2O . Только небольшую долю песчаников составляют железистые песчаники. Значение титанового модуля в отложениях ($TM = 0,040—0,063$) указывает на преобладание кислой природы их петрофона.

Анализ соотношений V/Cr и Mo/Mn в верхнеюрских отложениях указывает на доминирование окислительных условий в оксфордско-титонском интервале. В позднеюрское время на территории всего Юго-Восточного Кавказа существовал аридный тип климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаев В.Б. Стратиграфия юрских отложений Азербайджана. Баку: Элм, 1990. 160 с.
2. Алиев А.Г., Акаева В.Б. Петрография юрских отложений Юго-Восточного Кавказа. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1957. 209 с.
3. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2007. 368 с.
4. Гаврилов Ю.О., Щепетова Е.В., Барабошкин Е.Ю., Щербина Е.А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: Седиментология и геохимия. Литология и полезные ископаемые. 2002. № 4. С. 359—380.
5. Геология Азербайджана. Т. 1, Стратиграфия. Ч. 2. Мезокайнозой. Под ред. А.А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 2007. 580 с.
6. Геология Азербайджана. Т. IV. Тектоника. Под ред. А.А. Ализаде. Баку: Nafta Press, 2005. 506 с.
7. Кенгерли Т.Н., Баламедов Ш.Р., Садыхов Э.А., Мехтиева З.Н. Седиментационные и геодинамические обстановки формирования верхнеюрского комплекса Юго-Восточного Кавказа. Малье зоны Бокового хребта. Известия НАН Азербайджана. 2013. № 3. С. 3—15.
8. Кенгерли Т.Н., Алиев Ф.А., Алиев А.М. и др. Современная структура и активная тектоника Южного Склона Большого Кавказа в пределах Азербайджана (междуречье рр. Мазымчай и Пирсаат). Геолого-тектоническая обстановка. Известия. Науки о Земле. 2018. № 2. С. 19—38. DOI: 10.33677/ggiasnas20180200013
9. Маслов А.В. Вулканические туфы, красноцветные и обычно окрашенные глинистые породы в разрезах верхнего рифея и венда Среднего, и Южного Урала: сравнение литохимических характеристик. Литология и полезные ископаемые. 2021, № 2. С. 122—143. DOI: 10.31857/S0024497X2102004X
10. Маслов А.В., Алексеев В.П. Осадочные формации и осадочные бассейны: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во УГГА, 2003. 203 с.
11. Малиновский А.И. Палеогеодинамическая реконструкция обстановок кайнозойской седиментации Западно-Сахалинского террейна по вещественному составу терригенных пород. Литология и полезные ископаемые. 2021, № 1. С. 28—53. DOI: 10.31857/S0024497X21021006
12. Страхов Н.М. Методы изучения осадочных пород. Химическое изучение осадочных пород в генетических и корреляционных целях. Т. II. Ч. 3. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 157—188.
13. Старцев И.Д. Применение петрохимических модулей к верхнедевонским отложениям юго-восточной части Нюрольской мегаплатины (Томская область). Азимут геонаук. Вып. 2 Материалы Междисциплинарной молодежной научной конференции. Томск. 2022. С. 11—15.
14. Фейзуллаев А.А., Бабазаде А.Н. Палеорекострукция условий формирования продуктивной и красноцветной толщ по геохимическим критериям (на примере Абшерон-Прибалханской зоны). Известия. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 28—33.

15. Халифа-заде Ч.М., Магомедов А.М. Среднеюрские отложения восточной части Большого Кавказа. М.: Наука, 1982.
16. Халифазаде Ч.М., Мехтиева З.Н. Фациальная зональность и палеогеографические критерии верхнеюрских отложений Юго-Восточного Кавказа. Евразийский Союз Ученых. Серия: междисциплинарный. 2024. № 7(115). С. 4—10.
17. Хаин В.Е., Шихалибеги Э.Ш., Гроссгейм В.А. К истории Азербайджанской части Большого Кавказа в верхнеюрское время. Известия АН Азерб. ССР. 1951. № 10. С. 19—43.
18. Хаин В.Е., Шарданов А.Н. Геологическое строение северного склона Юго-Восточного Кавказа. Материалы по геологии Северо-Восточного Азербайджана. Баку, Изд-во АН Аз.ССР, 1957. С. 5—179.
19. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
20. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (Литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
21. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. Геохимия титана. Сыктывкар: Геопринт. 2018. 432 с.
22. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. J. Sediment. Petrology. 1988. No. 58. P. 820—829.
23. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of Geochemical Indices Used for the Interpretation of Palaeoredox Conditions in Ancient Mudstones. Chemical Geology. 1994. No. 111. P. 111—129.
24. Kangarli T.N., Mehdiyeva Z.N. Upper Jurassic Complex of Greater Caucasus side range: Lithofacies and sedimentation (Azerbaijan). Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins. 2017. Vol. 2. P. 28—53.
25. Mehdiyeva Z.N. Characteristics and conditions of accumulation of the Upper Jurassic sediments in the South-Eastern Caucasus. Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins. 2022. Vol. 1. P. 56—65.
26. Nesbitt H.W., Young G.M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. No. 48(7). P. 1523—1534.
27. Smykatzkloss W., Priyadarsi D. Roy. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions: A synthesis. Bulletin of the Mexican Geological Society. 2010. Vol. 62. No. 3. P. 379—390.
28. Cox R., Lowe D., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on the evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. No. 14. P. 2919—2940.

REFERENCES

1. Aghayev V.B. Stratigraphy of the Jurassic deposits of Azerbaijan. Baku: Elm, 180p, 1990 (In Russian).
2. Aliev A.G., Akayeva V.B. Petrography of the Jurassic deposits of the South-Eastern Caucasus. Publishing House of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR, Baku, 1957. 209 p. (In Russian).
3. Alpine History of the Great Caucasus. Ed. by Yu.G. Leonov. Moscow: GEOS, 2007. 368 p. (In Russian).
4. Gavrilov Yu.O., Shchepetova E.V., Baraboshkin E.Yu., Shcherbinina E.A. The Early Cretaceous Anoxic Basin of the Russian Plate: Sedimentology and Geochemistry. Lithology and Mineral Resources. 2002. Vol. 37. No. 4. P. 310—329 (In Russian).
5. Geology of Azerbaijan. Vol. 1. Part 2. Ed. by A.A. Alizade. Mesozoic Stratigraphy. Baku: Nafta-Press, 2007 (In Russian).
6. Geology of Azerbaijan. Vol. IV. Tectonics. Ed. V.Y. Khain, Ak.A. Alizadeh. Baku, 2005. 506 p. (In Russian).
7. Kangarli T.N., Balamedov Sh.R., Sadykhov E.F., Mehdiyeva Z.N.. Lithological-Facies Zonality of Stratification of the Southeastern Caucasus Upper Jurassic Complex. Malmian Formations of Side Range Zone. Proceedings of Azerbaijan National Academy of Sciences. The Sciences of Earth. 2013 No. 3. P. 3—15 (In Russian).
8. Kengerli T.N., Aliyev F.A., Aliyev A.M., et al. Modern Structure and Active Tectonics of the Southern Slope of the Greater Caucasus within Azerbaijan (the Interfluvium of the Mazyamchay and Pirsat Rivers). Geological and Tectonic Setting. Izvestiya. Earth Sciences. 2018. No. 2. P. 19—38 (In Russian).
9. Maslov A.V. Volcanic tuffs, red-colored and usually colored clay rocks in sections of the Upper Riphean and Vendian of the Middle and Southern Urals: comparison of geochemical characteristics. Lithology and Mineral Resources. 2021. No. 2, P. 122—143 (In Russian). DOI: 10.31857/S0024497X2102004X
10. Maslov A.V., Alekseyev V.P. Sedimentary Formations and Sedimentary Basins: A Textbook. Yekaterinburg: UGGU Publishing House, 2003. 203 p.
11. Malinovsky A.I. Paleogeodynamic reconstruction of the Cenozoic sedimentation conditions of the West Sakhalin terrane based on the material composition of terrigenous rocks. Lithology and Mineral Resources. 2021. No. 1. P. 28—53 (in Russian). DOI: 10.31857/S0024497X210210067
12. Strakhov N.M. Methods of studying sedimentary rocks. Chemical study of sedimentary rocks for genetic and correlation purposes Vol. II. Part 3. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1957. P. 157—188 (In Russian).
13. Startsev I.D. Application of petrochemical modules to the Upper Devonian sediments of the southeastern part of the Nyrol mega-basin (Tomsk region). Azimuth of Geological Sciences. Iss. 2 Materials of the Interdisciplinary Youth Scientific Conference. Tomsk, 2022. P. 11—15 (In Russian).
14. Feyzullaev A.A., Babazade A.N. Paleoreconstruction of conditions for the formation of productive

- and red-colored strata according to geochemical criteria (using the example of the Absheron-Balkhane zone) Proceedings. The sciences of Earth. 2016. No. 1. P. 28—33 (In Russian).
15. Khalifazadeh Ch.M., Magomedov A.N. Middle Jurassic Deposits of the Eastern Part of the Greater Caucasus. Moscow: Nauka, 1982. P. 271.
 16. Khalifazadeh Ch.M., Mehdiyeva Z.N. Facies Zonation and Paleogeographic Criteria of Upper Jurassic Deposits of the South-Eastern Caucasus. Eurasian Union of Scientists. Series: Interdisciplinary. 2024. No. 7(115), P. 4—10.
 17. Khain V.Ye., Shikhalibayli A.Sh., Grossgeim V.A. Upper Jurassic History of the Azerbaijani part of the Greater Caucasus. News of Academy of Sciences of Azerbaijan SSR. 1951. No. 10. P. 19—43 (In Russian).
 18. Khain V.Ye., Shardanov A.N. Geological Structure of the Northern Slope of Southeastern Caucasus. In: Materials on the Geology of Northeastern Azerbaijan. Publishing House of the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR, Baku, 1957. P. 5—179 (In Russian).
 19. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Fundamentals of lithochemistry. Saint-Petersburg: Nauka. 2000. P. 479.
 20. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geochemical Indicators of Lithogenesis. Syktyvkar: Geoprint, 2011. 742 p. (In Russian).
 21. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geochemistry of titanium. Syktyvkar: Geoprint, 2018. 432 p. (In Russian).
 22. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. J. Sediment. Petrology. 1988. No. 58. P. 820—829.
 23. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of Geochemical Indices Used for the Interpretation of Palaeoredox Conditions in Ancient Mudstones. Chemical Geology. 1994. No. 111. P. 111—129.
 24. Kangarli T.N., Mehdiyeva Z.N. Upper Jurassic Complex of Greater Caucasus side range: Lithofacies and sedimentation (Azerbaijan). Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins. 2017. Vol. 2. P. 28—53.
 25. Mehdiyeva Z.N. Characteristics and conditions of accumulation of the Upper Jurassic sediments in the South-Eastern Caucasus. Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins. 2022. Vol. 1. P. 56—65.
 26. Nesbitt H.W., Young G.M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. No. 48(7). P. 1523—1534.
 27. Smykatzkloss W., Priyadarsi D. Roy. Evaporite mineralogy and major element geochemistry as tools for palaeoclimatic investigations in arid regions: A synthesis. Bulletin of the Mexican Geological Society. 2010. Vol. 62. No. 3. P. 379—390.
 28. Cox R., Lowe D., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on the evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. Vol. 59. No. 14. P. 2919—2940.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Мехтиева З.Н. — в ходе полевых исследований собрала каменный материал, разработала основу статьи, написала ее текст, утвердила окончательный вариант для публикации и согласна принять ответственность за все этапы работы.

Zabita N. Mehdiyeva — collected rock samples, developed the article's basis, wrote its text, approved the final version for publication, and agreed to take responsibility for all stages of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Мехтиева Забита Намазовна — диссертант, научный сотрудник отдела «Радиоактивное поле Земли» Института геологии и геофизики Министерства науки и образования Азербайджана. 119, пр-т Г. Джавида, г. Баку AZ1143, Азербайджан
e-mail: zabita.mehdiyeva@gmail.com
тел.: +99450 3748908
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6421-7001>

Zabita N. Mehdiyeva — PhD candidate, scientific researcher at the Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic, Department of Radiometry of Geological Environment. 119, G. Javid Ave., Baku AZ1143, Azerbaijan
e-mail: zabita.mehdiyeva@gmail.com
tel.: +99450 3748908
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6421-7001>



ГЕОТОКСИКОЛОГИЯ КАК ВЕКТОР САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ РЕГИОНОВ

С.П. ЯКУЦЕНИ^{1,2,*}, Р.А. АСКАРОВ³

¹ ООО «Геолэкспертиза»

13/3, ул. Садовая-Черногрязская, г. Москва 117342, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

65, корпус 1, проспект Ленинский, г. Москва 119991, Россия

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Выполнено исследование, основанное на авторских материалах, по разделению факторов геотоксикологического риска на природные и техногенные, что является важным элементом обеспечения экологической безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Цель. Изучение факторов геотоксикологического риска и обоснование разделения их на природные и техногенные.

Материалы и методы. Для исследования были использованы материалы полевых, химико-аналитических и биологических исследований в среднем течении р. Печора и Опольском воеводстве, Польша. Работа сочетает методы нового наблюдения и эксперимента и теоретическо-го анализа, основанного на обобщении полученного материала.

Результаты. В результате разработан подход и продолжена разработка метода, который позволяет определить сходство и различия геотоксикологической обстановки различных регионов и их изменения во времени. Становится возможно определить ключевые антропогенные или природные процессы, увеличивающие геоэкологические риски.

Заключение. Предложенный подход позволяет определить не только сходство и различия геотоксикологической обстановки различных регионов и их изменения во времени, но и определить ключевые антропогенные или природные процессы, переводящие потенциально токсичные элементы в активную фазу, увеличивающие риски воздействия на население и на окружающую среду.

Ключевые слова: геотоксикология, геоэкология, санитарно-эпидемиологическое благополучие, Ополье, Печора, антропогенные процессы, природные процессы, политическая экология

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: инициативное исследование авторов.

Благодарности: авторы благодарят П.П. Якуцени (профессор, к.ф.-м.н., д.б.н., главный научный сотрудник Центра перспективных исследований ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия). Статья посвящается Я.Н. Аскаровой (профессор, д.м.н., заслуженный деятель науки БАССР).

Для цитирования: Якуцени С.П., Аскаров Р.А. Геотоксикология как вектор санитарно-эпидемиологического благополучия регионов. *Известия высших учебных заведений. Гео-логия и разведка*. 2025;67(1):126—135. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-126-135> EDN: [YZPQSS](#)

Статья поступила в редакцию 13.02.2025

Принята к публикации 03.03.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

GEOTOXICOLOGY AS A VECTOR OF SANITARY AND EPIDEMIOLOGICAL WELLBEING OF REGIONS

SERGEY P. YAKUTSENI^{1,2,*}, RASUL A. ASKAROV³

¹ LLC "Geolexpertiza"

13/3, Sadovaya-Chernogryazskaya str., Moscow 117342, Russia

² National University of Oil and Gas "Gubkin University"

65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

³ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. The data obtained earlier by the authors were used to classify geotoxicological risk factors into natural and anthropogenic, which contributes to ensuring environmental safety and sanitary and epidemiological wellbeing of the population.

Aim. Study of geotoxicological risk factors and substantiation of their classification into natural and anthropogenic factors.

Materials and methods. The materials collected during the authors' field, chemical, and biological studies in the middle reaches of the Pechora River and the Opole Voivodeship, Poland, were used. The research methodology was based on observational, experimental, and theoretical analyses followed by generalization of the obtained materials.

Results. A methodological approach to determining the similarities and differences of geotoxicological situations in different regions, along with their temporal changes, is proposed. This approach allows identification of the key anthropogenic or natural processes that increase geoeological risks.

Conclusion. The proposed approach can be used to determine not only the similarities and differences of geotoxicological situations in different regions and their changes over time, but also to identify key anthropogenic or natural processes that transfer potentially toxic elements to the active phase, increasing the exposure risks of population and the environment.

Keywords: geotoxicology; geoecology; sanitary and epidemiological wellbeing; Opole; Pechora; anthropogenic processes; natural processes; political ecology

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: proactive research by the authors.

Acknowledgements: the authors would like to thank P.P. Yakutseni (Professor, Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher at the Center for Advanced Studies of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia). The article is dedicated to Ya.N. Askarova (Professor, MD, Honored Scientist of the BASSR).

For citation: Yakutseni S.P., Askarov R.A. Geotoxicology as a vector of sanitary and epidemiological wellbeing of regions. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):126—135. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-126-135> EDN: YZPQSS

Manuscript received 13 February 2025

Accepted 03 March 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Обеспечение глобальной и региональной безопасности в ключевых районах проживания человечества как задача не нуждается в обосновании. Необходимо не только нормативно-правовое обеспечение такого рода стратегий, в РФ это уже выполнено через Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», но и разделение на ключевые элементы ее обеспечения. Важнейшим элементом обеспечения страновой геоэкологической безопасности являются вопросы санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Однако геоэкологическая безопасность оценивается, объединяя природные и антропогенные воздействия на биосферу. Ни в нашей стране, ни за рубежом нет устоявшейся системы разделения факторов геоэкологического риска на природные, геотоксикологические и техногенные. Игнорируется природное наполнение геохимических провинций ПТЭ (потенциально токсичными элементами) и воздействие на них антропогенных факторов. Например, кислотных дождей, привнесенных извне и выпадающих в полиметаллических геохимических провинциях, в результате чего связанные в горной породе ПТЭ становятся миграционно подвижными и опасными для биосферы, включая население.

Пример из нашей исследовательской практики. Нижнесилезское и Опольское воеводства Польши (рис. 1). Эти регионы Юго-Западной Польши отличаются развитая горнодобывающая, металлургическая и топливно-энергетическая промышленность, интенсивная сельскохозяйственная деятельность, широко развитая и загруженная транспортная сеть.

Выявлялись причины ряда распространенных заболеваний, связанных с техногенным воздействием на окружающую среду. Спектр возможных загрязнителей очень широк. Их конкретное выявление затруднительно. Оценивать результаты этих взаимодействий только химико-аналитическим путем практически нереально, так как они подвержены различным, в том числе погодным изменениям. Возникает слишком много неопределенностей в оценке реального состояния конкретной экологической системы в зависимости от оптимизма или пессимизма исследователя, что нередко формирует недоверие к их результатам и в ряде случаев характеризуется административным пренебрежением к действительно опасным для населения, но плохо обоснованным ситуациям. Для выполнения такого рода работ была разработана и опробована методика, сочетающая геохимические и медико-биологические региональные исследования,

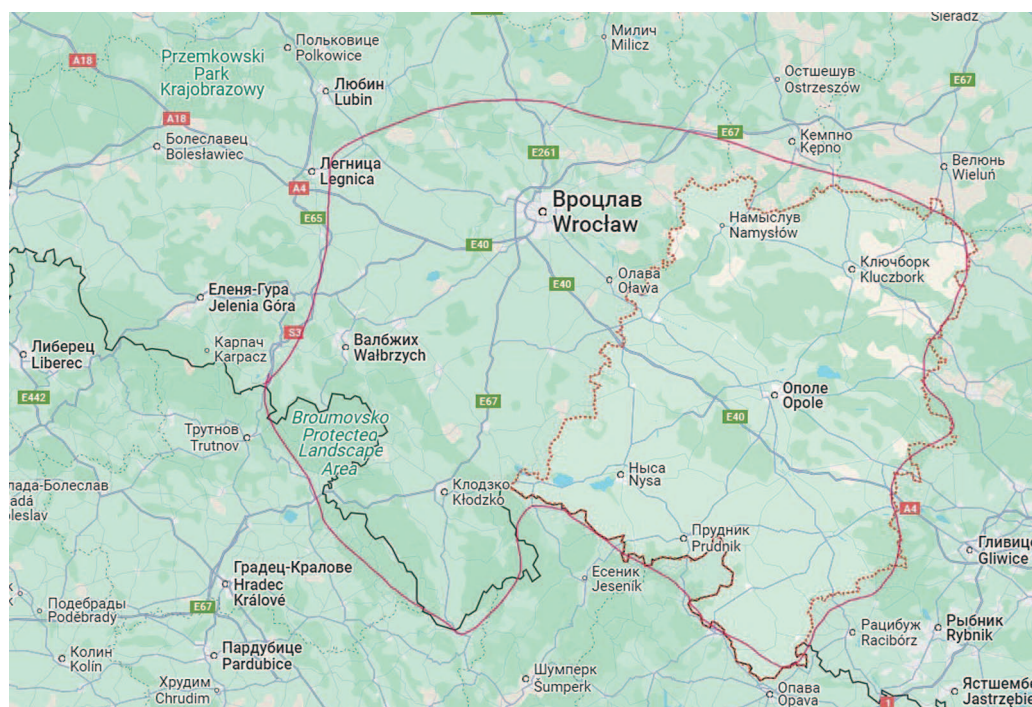


Рис. 1. Район полигонных исследований выделен красной линией: Нижнесилезское и Опольское воеводства Польши

Fig. 1. The area of landfill research is marked by a red line: the Lower Silesian and Opole voivodeships of Poland



Рис. 2. Горный массив Крконоше. Ручей. Место отбора пробы № 14 в лесном массиве Западных Судет
Fig. 2. Krkonoše mountain range. Creek. The sampling site № 14 is in the Western Sudetenland

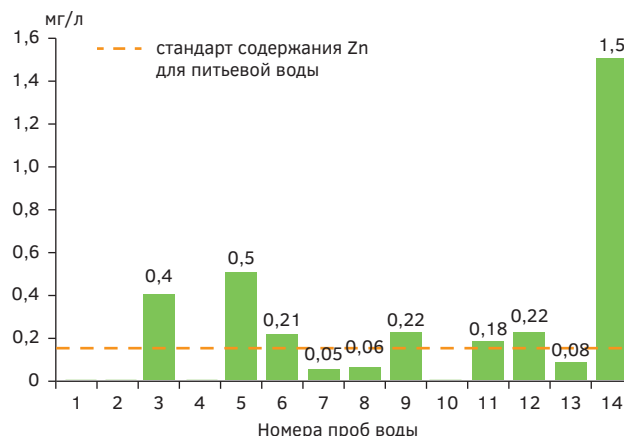


Рис. 3. Содержание цинка в пробах воды (мг/л). Пунктир — стандарт содержания Zn для питьевой воды (№ 14 — горный массив Крконоше, ручей)
Fig. 3. Zinc content in water samples (mg/l). The dotted line is the standard of Zn content for drinking water (no. 14 is the Krkonoše mountain range, the stream)

полностью оправдавшая наши ожидания [7,10—13]. Результаты во многом оказались неожиданными, но крайне важными для формирования направления «геотоксикология», в том числе при оценке санитарно-эпидемиологического благополучия регионов и рисков индустриального воздействия. Так, максимальную степень опасности представляла вода, взятая из ручья лесного массива Западных Судет (Чешско-Моравская возвышенность, район горного массива Крконоше (рис. 2 и 3).

Дальнейшее изучение причин, которые привели к высокой токсичности природной воды в обширном лесном массиве, выявило, что причиной оказались горные породы с высоким содержанием полиметаллов. Однако в естественном состоянии геохимические связи в отобранных горных породах не позволяли металлокомпонентам перейти в биологически активное состояние, но кислотные дожди, выпадающие в Западных Судетах, формирующиеся в результате работы металлургических предприятий Германии, обеспечили переход этих токсикопасных элементов в подвижное

и усвояемое биотой состояние [10]. Таким образом, мы видим, как сочетание естественного фактора, обогащенности геохимических провинций потенциально опасными элементами, и техногенное воздействие на них обеспечивают освобождение токсикомпонентов и формируют существенные санитарно-эпидемиологические риски для населения. Разработанная многоуровневая система биотестов в совокупности с использованием аналитических методов позволяет не только определять содержание загрязняющих веществ любого происхождения, но, что еще более важно, оценивать их влияние на разные системы организма человека.

Геотоксикология как система анализа рисков санитарно-эпидемиологической обстановки регионов позволяет доказательно разделить угрозы, формируемые природной геохимической обстановкой и привнесенные антропогенными факторами. Геотоксикология, как это показано в целом ряде исследований, раскрывает ряд механизмов глобальной эволюции Земли. В начале 1980-х гг. С.Г. Неручев обратил внимание на то, что повторявшиеся в фанерозое с циклическостью ~30 млн лет биосферные кризисы и эпохи активизации геодинамических процессов сопровождались заражением вод Мирового океана ураном и другими редкими химическими элементами. В результате Сергей Германович сформулировал тезис, о том, что массовые вымирания биоты и последующие обновления ее видового разнообразия вызваны действием на живые организмы радиоактивных и других мутагенных элементов [6, 9]. Эти элементы циклически поступают

из недр на поверхность в результате эндогенной активности Земли (рис. 4).

По соотношению эндогенных, экзогенных и космогенных факторов каждое массовое вымирание было абсолютно индивидуально и уникально. При каждом периоде массового вымирания существенно менялась геохимия биосферы, т.е. геотоксикологические признаки исчезновения видов на планете Земля очевидны. Развивая направление, одним из авторов ранее было выполнено исследование показавшее, что тяжелые элементы-примеси, основная часть которых токсична для биоты, накапливаются в надкларковых количествах в осадочных бассейнах, формируя, при определенных условиях, залежи углеводородов, сланцев, угля насыщенными потенциально токсичными элементами [5]. На базе обширного фактического материала мы можем утверждать наличие генетической связи живого вещества при накоплении им токсичных элементов в ключевых точках известной нам истории развития Земли и последующего вымирания живого вещества в соответствии с геотоксикологическими факторами, как минимум в фанерозое.

Это органическое вещество депонировало в себе токсичные компоненты, послужившие причиной геотоксикологических катастроф. За геологически ничтожный срок существования технической цивилизации человечество переместило и изменило такое количество планетарного вещества, что поставило под угрозу свое существование как биологического вида. Либо мы вырабатываем механизмы по самосохранению, либо сформулированный Стругацкими принцип: «Будущее создается тобой, но не для тебя» и являющийся в эволюции биосферы фундаментальным, проверен на себе уже в XXI веке.

Одним из сценариев дальнейшего развития биосферы Земли в зависимости от дальнейших изменений в геохимическом составе биосферы может быть сценарий ползучего отравления биосферы за счет массового и одномоментного, в рамках геологического времени, освобождения токсических компонентов. Фактически мы стоим перед очередным коренным изменением геохимического состава биосферы Земли. В настоящее время активное освоение человечеством депонированных в минеральных ресурсах, в том числе и органическом веществе, токсикантов приводит к проявлению негативной биологической активности продуктов рассеяния токсоеlementов в окружающей среде. Меняется геохимический облик целых регионов планеты.

Таким образом, в наших руках оказывается доказательный исследовательский механизм, позволяющий выполнить оценку пространственно-временного влияния экологических и социально-экономических факторов риска. Важно внедрить кластерную модель обеспечения комплексной безопасности, где исследуются два вектора геотоксикологического влияния — антропогенный и природный, а также их взаимодействие. Приведем два примера техногенного воздействия: в Башкирии и Свердловской области.

Первый пример. Суммарный неканцерогенный риск здоровью населения г. Учалы, Башкирия (рис. 5). Близ города находится Учалинский горно-обогатительный комбинат (Учалинский ГОК). ГОК является градообразующим предприятием. Ведется добыча медных и цинковых руд, дообогащаемых до концентрата. Тип добычи — карьерный и шахтный (рис. 6 и 7). При хроническом аэрогенном воздействии токсических веществ на границе санитарно-защитной



Рис. 4. Тихоокеанский вулканический пояс. Камчатский полуостров. Фотография Сергея Якутсена
Fig. 4. Pacific volcanic belt. Kamchatka Peninsula. Photo by Sergey Yakutseni

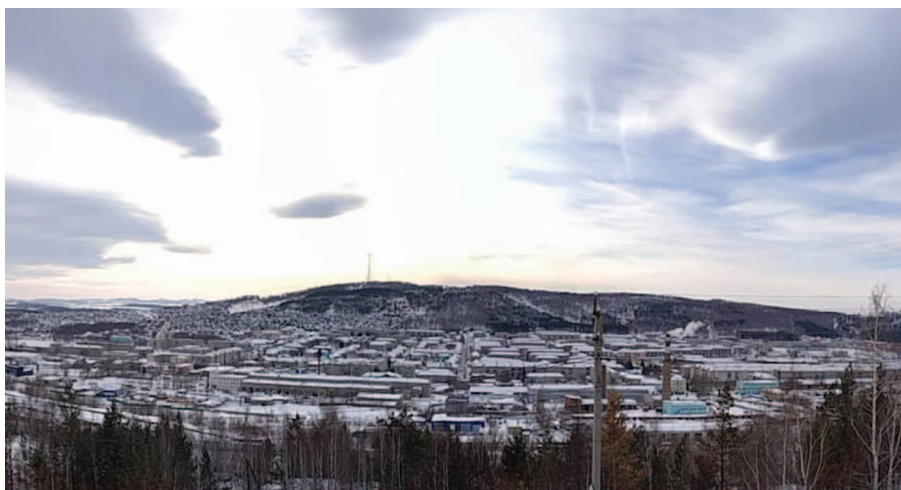


Рис. 5. Панорамная фотография г. Учалы. Фотография Вячеслава Сысоева
Fig. 5. Panoramic photo of Uchaly. Photo by Vyacheslav Sysoev



Рис. 6. Учалинский горно-обогатительный комбинат. Фотография Вячеслава Сысоева
Fig. 6. Uchalinsky mining and processing plant. Photo by Vyacheslav Sysoev

суммарный неканцерогенный риск здоровью населения зоны равен 8,8 и оценивается как высокий. Величина индивидуального канцерогенного риска находится в диапазоне среднего риска здоровью ($2,68 \times 10^{-4}$), что приемлемо для профессиональных групп и неприемлемо для населения в целом [1, 3].

На исследуемой территории заболеваемость у взрослых, подростков и детей по многим классам болезней превышает заболеваемость населения Башкирии. Экологическая обусловленность этих заболеваний по этиологической доле в их развитии оценивается в диапазоне от малого до высокого уровня, составляя для населения Учалинского района (г. Учалы) — $EF = 7,01 \div 78,17\%$, для населения г. Сибай —

$EF = 8,89 \div 82,54\%$. По уровню вероятностного эпидемиологического риска возникновения злокачественных новообразований приоритетными локализациями являются рак слизистой носа, среднего уха, придаточных пазух [4].

Второй пример. Новокузнецк, бывший пос. Абагур, Абагурская аглофабрика (рис. 8).

Хвостохранилище № 2 Абагурского филиала Евразруды, предназначенное для складирования отходов обогащения руд черных металлов (хвостов), было введено в эксплуатацию в 1973 году. Постоянное использование объекта прекращено в 1993 г., когда для складирования отходов обогащения Абагурского филиала было построено хвостохранилище № 3 у поселка Елань г. Новокузнецка (рис. 9).



Рис. 7. Карьер Учалинского горно-обогатительного комбината. Фотография «Alex Lee»
Fig. 7. The quarry of the Uchalinsky mining and Processing plant. Photo of "Alex Lee"

В районе поселка Елань, примыкающего непосредственно к хвостохранилищу, годовое выпадение взвешенных веществ составляет 409 г/м^2 , что более чем в 200 раз превышает фоновый показатель для лесостепной зоны (2 мг/м^2). В радиусе 8 км вокруг Абагурской аглофабрики отмечено загрязнение почв токсичными веществами, входящими в состав хвостов, в том числе железом в 3—3,5 раза выше фона. Оценка риска для здоровья населения от загрязнения окружающей среды проводилась по взвешенным веществам, находящимся в атмосферном воздухе. Расчет содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе от хвостохранилища показал, что для площади отвала 300 га выброс пыли составляет 300 г/сек, при этом максимальная концентрация складывается на расстоянии 567 м от края отвала и составляет $0,85 \text{ мг/м}^3$.

На основании полученных результатов с учетом розы ветров рассчитаны индивидуальный и популяционный пожизненный (неканцерогенный) риски смерти от вдыхания взвешенных веществ. Самый высокий групповой риск дополнительных случаев смерти при ингаляционном воздействии взвешенных веществ отмечается в поселке Елань, он составляет 3,85 случая на 10 000 населения, на втором месте находятся бывший поселок Абагур и Советская площадь (Новокузнецк), уровень риска уменьшается в 18 раз в центральной части города, это Левый берег и Комсомольская площадка, и самый низкий — в радиусе 10 км в поселке Редаково. По данным статистической отчетности анализа состояния здоровья и расчетным данным индивидуального и группового

популяционного риска отмечается достоверное превышение уровня заболеваемости всех групп населения по сравнению с другими районами города в 10-километровой зоне влияния хвостохранилища Абагурской аглофабрики [2].

Это только два конкретных примера техногенного изменения геохимического облика значительных территорий, приводящего к существенному негативному изменению санитарно-эпидемиологической обстановки и уменьшению



Рис. 8. Абагурская аглофабрика. Новокузнецк. Фотография Ильи Дорохина

Fig. 8. Abagura sinter plant. Novokuznetsk. Photo by Ilya Dorokhin



Рис. 9. Хвостохранилище № 3 у поселка Елань г. Новокузнецка для складирования отходов обогащения Абагур-ского филиала ЕВРАЗ (Картографический сервис Google)

Fig. 9. Tailings storage facility No. 3 near the village of Yelan, Novokuznetsk, for the storage of enrichment waste from the Abagura branch of EVRAZ (Google Mapping service)

продолжительности жизни людей и возрастных расходов на здравоохранение.

Предложенный подход позволяет определить сходства и различия геотоксикологической обстановки для крупных геохимических провинций; определить время и темп формирования ключевых изменений геохимического облика территорий; определить основные ПТЭ, воздействующие на окружающую природную среду.

Методика геотоксикологических исследований позволяет определить основные геохимические процессы, влияющие на биосферу, в том числе и на качество и продолжительность жизни людей; разделить их на антропогенные и природные; установить механизмы перевода ПТЭ в активную для биосферы форму и выполнить оценку рисков такого рода геохимических изменений как для населения, так и для окружающей природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарова З.Ф., Аскаров Р.А. Показатели заболеваемости работников горнодобывающих предприятий Южного Урала. Медицина труда и промышленная экология. 2009. № 10. С. 22—27.
2. Аскарова З.Ф., Аскаров Р.А., Тергулова З.С. Оценка риска влияния условий труда на состояние здоровья работников горнодобывающего предприятия. Мат-лы Всероссийской науч.-практ. конференции «Нефть и здоровье». Уфа, май 2009. С. 114—117.
3. Жукова Г.Ф., Савчик С.А., Хотимченко С.А. Йоддефицитные заболевания и их распространенность. Микроэлементы в медицине. 2004. № 2. С. 1—9.
4. Захаренков В.В., Олещенко А.М., Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г. Влияние загрязнения атмосферного воздуха промышленными отвалами на состояние здоровья населения. Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 1—2. С. 156—157.
5. Неручев С.Г. Преобразование планеты Земля живым веществом биосферы. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 1. С. 14.
6. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982. 208 с.
7. Тергулова З.С., Белан Л.Н., Аскаров Р.А., Тергулова З.Ф., Алтынбаева А.И. Особенности загрязнения среды обитания и заболеваемость населения в горнодобывающем регионе Республики Башкортостан. Медицинский вестник Башкортостана. 2009. № 6. С. 20—25.
8. Якуцени С.П. Геотоксикологическая оценка состояния природных ресурсов Крымского полуострова: монография. М. — Берлин: Директ-Медиа, 2017. 155 с.
9. Якуцени С.П. Геотоксикология как фактор глобальной

- эволюции. Эволюция: срез, правила, прогнозы: альманах. Под ред. Л.Е. Гринина, А.В. Коротаева. Волгоград: Учитель, 2016. С. 44—52.
10. Якуцени С.П. Якуцени П.П. Методы региональной оценки качества окружающей среды. Международный научный семинар «Экологическая гидрогеология стран Балтийского моря». СПб.: СПбГУ, 1993. С. 53—54.
11. Якуцени С.П. Якуцени П.П. Прогноз токсико-экологического риска при освоении нефтегазовых месторождений. Сборник статей Первой всероссийской конференции «Поиски нефти, нефтяная индустрия и охрана окружающей среды». СПб.: ВНИГРИ, 1995. С. 93—96.
12. Якуцени С.П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами — примесями. Оценка экологических рисков. СПб.: «Недра», 2005. 372 с.
13. Yakutseni S.P., Yakutseni P.P. Complex multi-level system of ground/surface water biotesting. Second International conference on ground water ecology. USA, Atlanta, AWRA, US EPA, 1994.

REFERENCES

1. Askarova Z.F., Askarov R.A. Morbidity rates of workers at mining enterprises in the Southern Urals. Occupational Medicine and Industrial Ecology. 2009. No. 10. P. 22—27 (In Russ.).
2. Askarova Z.F., Askarov R.A., Teregulova Z.S. Assessment of the risk of the impact of working conditions on the health of workers in a mining enterprise. Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference "Oil and Health". Ufa, May, 2009. P. 114—117 (In Russ.).
3. Zhukova G.F., Savchik S.A., Khotimchenko S.A. Iodine deficiency diseases and their prevalence. Microelements in medicine. 2004. № 2. P. 1—9. (In Russ.).
4. Zakharchenko V.V., Oleshchenko A.M., Surzhikov D.V., Kislytsyna V.V., Korsakova T.G. The Impact of Air Pollution by Industrial Waste on the Health of the Population. International Journal of Experimental Education. 2014. No. 1—2. P. 156—157. (In Russ.).
5. Neruchev S.G. Transformation of planet Earth by living matter of the biosphere. Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2013. Vol. 8. No. 1. P. 14 (In Russ.).
6. Neruchev S.G. Uranium and life in the history of the Earth. Leningrad: Nedra, 1982. 208 p. (In Russ.).
7. Teregulova Z.S., Belan L.N., Askarov R.A., Teregulova Z.F., Altynbaeva A.I. Features of environmental pollution and morbidity of the population in the mining region of the Republic of Bashkortostan. Medical Bulletin of Bashkortostan. 2009. No. 6. P. 20—25 (In Russ.).
8. Yakutseni S.P. Geotoxicological assessment of the state of natural resources of the Crimean Peninsula. Monograph. Moscow — Berlin: Direct-Media, 2017. 155 p. (In Russ.).
9. Yakutseni S.P. Geotoxicology as a factor of global evolution. / Evolution: sections, rules, forecasts: almanac. Ed. L.E. Grinin, A.V. Korotaev. Volgograd: Uchitel, 2016. P. 44—52 (In Russ.).
10. Yakutseni S.P. Yakutseni P.P. Methods of regional assessment of environmental quality. International scientific seminar "Ecological hydrogeology of the Baltic Sea countries". Saint-Petersburg: St. Petersburg state university, 1993. P. 53—54 (In Russ.).
11. Yakutseni S.P. Yakutseni P.P. Forecast of toxic-ecological risk in the development of oil and gas fields. Collection of articles of the First All-Russian conference "Oil exploration, oil industry and environmental protection: Saint-Petersburg: VNIGRI, 1995. P. 93—96 (In Russ.).
12. Yakutseni S.P. Prevalence of hydrocarbon raw materials enriched with heavy impurity elements. Assessment of environmental risks. St. Petersburg: Nedra, 2005. 372 p. (In Russ.).
13. Yakutseni S.P., Yakutseni P.P. Complex multi-level system of ground/surface water biotesting. Second International conference on ground water ecology. USA, Atlanta, AWRA, US EPA, 1994.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Якуцени С.П. — разработал концепцию статьи, выполнил анализ, обобщение и систематизацию материалов для статьи, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Аскаров Р.А. — принимал участие в обобщении систематизации материалов для статьи, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey P. Yakutseni — developed the concept of the article, performed the analysis, generalization and systematization of materials for the article, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Rasul A. Askarov — participated in the generalization and systematization of materials for the article, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Якуцени Сергей Павлович* — кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО «Геолэкспертиза»; доцент кафедры геоэкологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.
13/3, ул. Садовая-Черногрозская, Москва 117342, Россия
65, Ленинский пр-т, Москва, 119991, Россия
e-mail: spyakutseni@gmail.com
тел.: +7 (926) 207-64-14
SPIN-код: 7899-7933
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>

Аскаров Расул Аскарович — кандидат медицинских наук, доцент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, 23, Москва, 117485, Россия
e-mail: rasul72@list.ru
тел.: +7 (917) 525-54-44
SPIN-код: 2903-4272
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7980-4113>

Sergey P. Yakutseni* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), General Director of Geolexpertiza LLC; docent of the Department of Geoecology of Gubkin University.
13/3, Sadovaya-Chernogryazskaya str., Moscow 117342, Russia
65, Leninsky ave., Moscow, 119991, Russia
e-mail: spyakutseni@gmail.com
tel.: +7 (926) 207-64-14
SPIN-code: 7899-7933
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>

Rasul A. Askarov — Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Technosphere Safety, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: rasul72@list.ru
tel.: +7 (917) 525-54-44
SPIN-code: 2903-4272
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7980-4113>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

