

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

2024

Том 66, № 1
Vol. 66, #1

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

1

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

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 66, № 1

2024

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 (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY AND EXPLORATION

Scientific methodological journal

Vol. 66, No. 1

2024

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

Иностранцы 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

Вердоья 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

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

Эпельбаум 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	29.04.2024
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	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

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. Trubetskiy, 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	29.04.2024
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	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- 8 **ВКЛАД РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ В РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА**
Ю.П. ПАНОВ, У.С. СЕРИКОВА, В.Ш. ГУРБАНОВ

ГЕОЛОГИЯ

- 20 **ВЕТРЕННЫЙ ПОЯС — ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ УНИКАЛЬНЫХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА**
С.В. МЕЖЕЛОВСКАЯ, К.И. ЮШИН, А.Д. МЕЖЕЛОВСКИЙ
- 35 **ИНДИКАТОРЫ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ)**
А.П. ГУСЕВ
- 45 **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛЖИРСКОЙ НАРОДНОЙ ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**
В.В. ДЬЯКОНОВ, В. МАУ, Н.А. ПОГРЕБС
- 52 **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ МАГМАТИЧЕСКОГО ГИБРИДИЗМА В ГАББРО-ГРАНИТНОМ МАССИВЕ ДАШКЕСАН (ДАШКЕСАНСКОЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, АЗЕРБАЙДЖАН)**
Э.А. САДЫХОВ, А.С. ДЕСЯТКИН, А.А. ВЕЛИЕВ, Э.К. ХМАРИН

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 65 **ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (Cu, Co, Ni, ERG, Sc, V, Li, REE, Sr, ГРАФИТ, УГЛЕВОДОРОДЫ) В АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ**
П.А. ИГНАТОВ, Р.У. ЕРЕМЕНКО, А.В. ТОЛСТОВ, И.М. ОБЧИННИКОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 79 **МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ АВТОГРП НА НЕРАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПЛАСТАХ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА СИСТЕМУ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРИОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**
А.И. ИСЛАМОВ, С.Д. ЕСАУЛКОВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 88 **ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И СОСТАВА МИНЕРАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ВО ВКРАПЛЕННЫХ И МАССИВНЫХ РУДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН**
Л.С. КАНИМБУЕ, Н.Д. ТОЛСТЫХ, Н.А. КРИВОЛУЦКАЯ, И.В. ТАЛОВИНА

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 99 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА**
Ю.А. АРСЕНТЬЕВ, А.П. НАЗАРОВ, Н.В. СОЛОВЬЕВ, Д.А. ИВАНОВ, А.Г. ИВАНОВ
- 109 **ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ПОТОК И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ЕГО СОЗДАНИЯ ПРИ ПРОМЫВКЕ СКВАЖИН**
С.А. ТУНГУСОВ
- 116 **АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОКОМПЛЕКСОВ НА КАРЬЕРАХ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ**
В.П. ДРОБАДЕНКО, А.Л. ВИЛЬМИС, О.А. ЛУКОНИНА, К.С. НЕКОЗ, И.Н. САЛАХОВ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 128 **АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДЕОФАЙЛА ДЛЯ ОЦИФРОВКИ КОЛЕБАНИЙ АНАЛОГОВОГО ИНДИКАТОРА НА ПРИМЕРЕ КВАРЦЕВОГО ГРАВИМЕТРА ГНУ-КВ**
А.М. ЛОБАНОВ, А.П. БЕЛОВ, А.М. ЕРОХИН, К.В. ВЕНЕДИКТОВ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 135 **ОЦЕНКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА, НАНОСИМОГО БАССЕЙНУ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА**
Ю.А. ЛОБАНОВ, С.П. ЯКУЦЕНИ, Е.А. ЕСИНА

ЮБИЛЕЙ

- 151 **ГРИГОРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ МАШКОВЦЕВ (К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

НЕКРОЛОГ

- 152 **ВАЛЕНТИН МИХАЙЛОВИЧ ГРИГОРЬЕВ**
(05.06.1920—12.02.2024)

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 8 **CONTRIBUTION OF RUSSIAN SCIENTISTS AND SPECIALISTS TO THE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS INDUSTRY IN THE CASPIAN REGION**
YURI P. PANOV, ULYANA S. SERIKOVA, VAGIF Sh. GURBANOV

GEOLOGY

- 20 **VETRENY BELT AS A GEOLOGICAL HERITAGE OF UNIQUE PALEOPROTEROZOIC TECTONOMAGMATIC PROCESSES IN THE FENNOSCANDIN SHIELD**
SOFYA V. MEZHELOVSKAYA, KIRILL I. YUSHIN, ALEXEY D. MEZHELOVSKY
- 35 **INDICATORS OF ACTIVE FAULTS ON THE EXAMPLE OF GOMEL STRUCTURAL BRIDGE**
ANDREY P. GUSEV
- 45 **GEOLOGICAL FORMATION CONDITIONS FOR LEAD AND ZINC ORE DEPOSITS IN THE PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA**
VICTOR V. DYAKONOV, WARDA MAOU, NATALIA A. POGREBS
- 52 **GEOCHEMICAL SIGNS OF MAGMATIC COMMINGLING IN THE DASHKESAN GABBRO-GRANITE INTRUSION (DASHKESAN IRON ORE DEPOSIT, AZERBAIJAN)**
EMIN A. SADIKHOV, ALEXEY S. DESYATKIN, ANAR A. VELIEV, EDUARD K. KHMARIN

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 65 **PROSPECTS FOR THE DISCOVERY OF STRATEGIC MINERAL DEPOSITS (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, GRAPHITE, HYDROCARBONS) IN THE DIAMOND-BEARING AREAS OF THE SOUTH OF WESTERN YAKUTIA**
PETR A. IGNATOV, RUSLAN U. EREMENKO, ALEXANDER V. TOLSTOV, ILYA M. OVCHINNIKOV

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 79 **MECHANISM OF SELF-INDUCED HAUDRALIC FRACTURING IN UNDEVELOPED FORMATIONS AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT ON FIELD DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF THE PRIOBSKOYE FIELD**
AZAMAT I. ISLAMOV, SERGEY D. ESAULKOV

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 88 **MORPHOLOGICAL FEATURES AND COMPOSITION OF NOBLE METAL MINERALS IN DISSEMINATED AND MASSIVE ORES OF THE CENTRAL PART OF THE OKTYABRSKOE DEPOSIT, NORILSK REGION**
LUDMILA S. CANHIMBUE, NADEZHDA D. TOLSTYKH, NADEZHDA A. KRIVOLUTSKAYA, IRINA V. TALOVINA

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 99 **DETERMINATION OF THE INTER-REPAIR CYCLE OF PRODUCTION BOREHOLES FOR UNDERGROUND URANIUM LEACHING**
YURI A. ARSENTIEV, ALEXANDER P. NAZAROV, NIKOLAY V. SOLOVIEV, DMITRIY A. IVANOV, ALEXANDER G. IVANOV
- 109 **PULSED FLOW AND ITS GENERATION FOR BOREHOLE FLUSHING**
SERGEY A. TUNGUSOV
- 116 **TESTING A SYSTEM FOR MONITORING THE OPERATION OF HYDRAULIC COMPLEXES AT HYDROMECHANIZED MINES**
VALERIY P. DROBADENKO, ALEXANDER L. VILMIS, OLGA A. LUKONINA, KSENIA S. NEKOZ, ILMIR N. SALAKHOV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 128 **ALGORITHM OF VIDEO FILE RECOGNITION FOR DIGITIZATION OF ANALOG INDICATOR OSCILLATIONS ON THE EXAMPLE OF GNU-KV QUARTZ GRAVIMETER**
ALEXANDER M. LOBANOV, ALEXEY P. BELOV, ALEXANDR M. EROKHIN, KONSTANTIN V. VENEDIKTOV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 135 **ASSESSMENT OF TRANSBOUNDARY ENVIRONMENTAL DAMAGE TO THE BALTIC SEA BASIN DURING CONSTRUCTION AND OPERATION OF THE OFFSHORE PIPELINE SYSTEM**
YURY A. LOBANOV, SERGEY P. YAKUTSENI, ELENA A. ESINA

ANNIVERSARY

- 151 **MASHKOVTSSEV GRIGORY ANATOLYEVICH (ON THE 80th ANNIVERSARY OF HIS BIRTH)**

MEMORIAL

- 152 **GRIGORIEV VALENTIN MIKHAILOVICH**
(05.06.1920—12.02.2024)



ВКЛАД РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ В РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

Ю.П. ПАНОВ¹, У.С. СЕРИКОВА^{1,*}, В.Ш. ГУРБАНОВ²

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

² Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики
9, ул. Ф. Амирова, г. Баку, AZ1000, Азербайджанская Республика

АННОТАЦИЯ

В становлении Каспийского региона, одной из главных сырьевых баз углеводородов в мире, огромна заслуга российских ученых, инженеров, изобретателей и талантливых предпринимателей, которые определили пути рационального развития нефтяного дела, в целом нефтяной промышленности прибрежных государств. Российские ученые сыграли важную роль в формировании национальных научных школ, а их научные труды оказали существенное влияние на мировую науку.

В работе увековечены имена ученых и крупных специалистов, внесших свой вклад в развитие нефтегазодобывающей промышленности, популяризацию лучших примеров служения Отечеству, обществу и науке.

Статья подготовлена по результатам доклада на пленарной секции Международной научной конференции «Становление и развитие нефтегазодобывающей промышленности — вклад российских и азербайджанских ученых и специалистов».

Ключевые слова: вклад российских ученых, развитие промышленности, Каспийский регион

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Панов Ю.П., Серикова У.С., Гурбанов В.Ш. Вклад российских ученых и специалистов в развитие нефтегазовой промышленности Каспийского региона. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-8-19>

Статья поступила в редакцию 16.11.2023

Принята к публикации 14.01.2024

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

CONTRIBUTION OF RUSSIAN SCIENTISTS AND SPECIALISTS TO THE DEVELOPMENT OF THE OIL AND GAS INDUSTRY IN THE CASPIAN REGION

YURI P. PANOV¹, ULYANA S. SERIKOVA^{1,*}, VAGIF Sh. GURBANOV²

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

² *Oil and Gas Institute of the Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan
9, F. Amirova str., Baku, AZ1000, Republic of Azerbaijan*

ABSTRACT

Russian scientists, engineers, inventors, and talented entrepreneurs have made a great contribution to the development of the Caspian region, one of the main sources of hydrocarbons in the world. In many respects, these specialists have determined the directions of rational development of the oil industry in coastal states and the oil business as a whole. Russian scientists have played an important role in the formation of national scientific schools, which have had a significant impact on the global knowledge in the field. This article memorializes the names of scientists and prominent specialists who have contributed to the development of the oil and gas industry, setting the example of service to the Motherland, Society, and Science. The article is based on the results of a report at the plenary section of the international scientific conference entitled “Formation and development of the oil and gas industry — the contribution of Russian and Azerbaijani scientists and specialists”.

Keywords: contribution of Russian scientists, industrial development, Caspian region

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

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

For citation: Panov Yu.P., Serikova U.S., Gurbanov V.Sh. Contribution of russian scientists and specialists to the development of the oil and gas industry in the Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-8-19>

Manuscript received 16 November 2023

Accepted 14 January 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

После 70-х годов XIX в. началась повсеместная промышленная добыча нефти в Российской империи с одновременным развитием исследований в области нефтяного дела. Огромную роль в обширном исследовании Каспийского региона, ресурсов углеводородов и переработки каспийской нефти сыграли блестящие исследования российских ученых и специалистов-геологов, инженеров нефтяного дела Д. Голубятникова Д. Менделеева, А. Бутлерова, Ф. Бейльштейна, К. Райхенбаха, К. Шорлеммера, К. Энглера, В. Марковникова, В. Оглоблина, Ю. Лермонтовой, К. Лисенко, А. Летнего, А. Никифорова, В. Шухова, С. Квитко, В. Бартона, Л. Гурвича и др.

Географические и геологические изыскания в Каспийском море, начатые еще в Средние века, продолжались до конца XIX в. Накопленные русскими учеными общие сведения были отражены в труде «Каспийское море: Гидрогеографическое описание и руководство для плавания», вышедшем в Санкт-Петербурге в 1908 г. Автор книги Н.Л. Пушин писал: «Общая площадь нефтяного участка составляет 4,5 мили² (8,5 км²). Здесь, на поверхности воды, всегда плавают нефть, выходящая со дна моря и имеющая специфический запах». Еще в 1877 г. изданная Русским гидрографическим департаментом книга содержала 25 карт, 24 плана и атласы, относящиеся к Каспийскому морю.

В конце XIX в. русские ученые и инженеры вели проектные работы по добыче нефти с неглубоких участков моря с помощью буровых площадок. После проведения изыскательских работ на о. Песчаный В. Згленицкий в журнале «Нефтяное дело» печатает статью, где указывает богатые залежами нефти районы Баку: Сураханы, Гала, о. Песчаный, Боздаг, Локбатан, Шых, Гарачухур и т.д. и добавляет, что «остаются еще острова и дно Каспийского моря, где есть признаки наличия богатейших нефтяных месторождений» [3, 7—10].

В 1739 г. вышел первый труд «О нефти» академика И.В. Вейтбрехта, содержащий максимум сведений об апшеронской нефти. Данный трактат основывался на достоверных материалах известного гидрографа и государственного деятеля Ф.И. Соймонова, который направил данные своих исследований в Российскую академию наук еще в 1728 г. Он подробно описал находящиеся на Апшероне нефтяные колодцы и представил план месторождений нефтяных газов. Под руководством Ф.И. Соймонова, исследовавшего Каспий с 1719 по 1727 г., был напечатан в 1731 г. первый атлас Каспийского моря с текстом. Достоверные данные о нефтяных источниках Апшерона можно найти и у академика С.Г. Гмелина, посетившего Баку в 1770 г. Он изучал методы сооружения бакинских нефтяных колодцев, впервые высказав идею о возможности бурения на газ и использования его как топлива. Небезынтересно высказывание Федора Кондратьевича Биберштейна (1768—1826), известного российского ботаника и путешественника, посетившего Баку в 1796 г.: «Апшеронский полуостров содержит неиссякаемый запас нефти» [1, 16].

Выдающийся российский естествоиспытатель Эдуард Иванович Эйхвальд посетил Баку и совершил путешествие по Кавказу и Каспийскому морю в 1825—1827 гг., изучая геологию фауну, флору этих мест. Особенно подробно Эйхвальд описывает колодцы с ценной белой нефтью в своем сочинении «Reise auf dem Caspischen Meer und Caucasus» [2].

В «Горном журнале» (1827 г.) Н.И. Воскобойников отмечал: «Полуостров Апшерон представляет безлесную и почти бесплодную полосу земли. Но природа заменила недостатки страны, разлив в недра изобильные источники нефти и соли, которые не только удовлетворяют нужды жителей, но и служат источником их богатства. А черная нефть — черная смола. Она имеет главное течение во внутренности земли, но выходит и на дневную поверхность на различных

высотах и даже на дне морском» [2]. В дальнейшем Н.И. Воскобойников несколько раз занимал пост директора бакинских нефтяных и солевых промыслов (в 1825 и в 1834—1838 гг.), что положительно отразилось на развитии нефтяного дела. К его основным заслугам следует отнести разработку обширного плана действий в области добычи, разведки, хранения, перевозки и сбыта нефти. По проектам подполковника корпуса горных инженеров Н.И. Воскобойникова в окрестности Баку — Балаханах у подножия вулкана (Бог-Бог) был построен нефтеперегонный завод, работающий по новой технологии. Прогрессивность технологии производства на этом предприятии не раз отмечалась специалистами современниками. Завод, производивший горючее, для нагрева нефти впервые в истории использовал природный газ.

Воскобойников начал проведение буровых работ на нефть на Биби-Эйбатских промыслах. Бурение представляло собой совокупность работ по проведению в земной коре буровых скважин для разведки полезных ископаемых, добыче жидких и газообразных полезных ископаемых для взрывных работ. В 1846 году по инициативе Николая Воскобойникова горные инженеры К. Юндзилл, П. Кульшин, И. Комаров приступили к работам по бурению, имевшим большой успех: 14 июля впервые в мире была пробурена нефтяная скважина! К сожалению, и в современной литературе, в том числе отечественной, нередко можно прочесть, будто впервые в мире машинное бурение нефти было осуществлено в 1859 году полковником Дрейком в штате Оклахома, США.

В 1837 г. по инициативе Воскобойникова было создано Закавказское общество поощрения промышленности и торговли, которое занималось сбором информации о потреблении нефти на всем Кавказе. Деятельность этого общества способствовала улучшению сбыта нефти. В Балаханах в 1837 г. начал действовать первый на Апшероне нефтеперегонный завод Воскобойникова, который «устроил особый перегонный снаряд и железные бочонки для перевозки» [4]. Этот завод успешно функционировал с ноября 1837 по август 1838 г.: за это время было выработано более 900 пудов осветительного масла, позже отправленного в Астрахань.

В феврале 1872 г. в Санкт-Петербурге российский император Александр II утвердил проект «Правил о нефтяном промысле и акцизе с рис.генного производства», написав резолюцию на представленном ему документе — «Быть посему» [6]. Это открыло зеленую дорогу к бакинской

нефти владельцам русского, местного и иностранного капиталов. Начало интенсивного внедрения с 1869—1870 гг. бурения, нефтедобычи, отмена откупа в 1872 г. и предоставление права частным лицам брать в аренду нефтеносные земли способствовали бурному росту нефтяной промышленности в России в целом, что привело к возникновению целого ряда нефтефирм и торговых обществ: «Г.З. Тагиев» (1872 г.), «Бакинское нефтяное общество» (1874 г.), «Бр. Нобель» (1879 г.), Ротшильдское «Каспийско-Черноморское общество» (1883 г.), «Нефть» (1883 г.), «С.М. Шибаяев» (1884 г.), «Каспийское товарищество» (1887 г.), «Нагиев Муса» (1887 г.), «А.И. Манташев» (1889 г.), «Асадуллаев Шамси» (1893 г.), «Кавказ» (1896 г.), «И.А. Ахвердов» (1896 г.), «Русская нефть» (1898 г.), «Соучастники» (1899 г.), «Апшеронское нефтяное общество» (1899 г.), «Александр Бенкендорф» (1900 г.), «Bibi-Heibat Petroleum Co.Ltd.» (1900 г.), «Balakhani Syndicate Ltd.» (1900 г.), «Московско-Кавказское нефтяное общество» (1902 г.), «Бинагадинское нефтепромышленное и торговое общество» (1908 г.), «Санкт-Петербургско-Кавказское нефтепромышленное и торговое общество» (1911 г.), «Мухтаров Муртуза» (1913 г.) и многие другие.

Наряду с разведкой и разработкой месторождений на суше изучались и возможности поисков морских нефтяных месторождений, их эксплуатации. В конце XIX в. русские ученые и инженеры вели проектные работы по добыче нефти с неглубоких участков моря с помощью буровых площадок.

В 1859—1861 гг., районы Бакинского и Апшеронского архипелагов посетил Герман Вильгельм Абих. Он дал описание Нефтяных Камней, впервые составил схему расположения подводных камней в этом регионе, указал на их связь с подводным хребтом, соединяющим Апшеронский полуостров с островом Челекен; отметил здесь выделение углеводородных газов. В 1863 г. Г.В. Абих составил первую геологическую карту Апшеронского полуострова в масштабе 1:42 000, которая долгое время служила основой для проведения на полуострове геолого-поисковых работ на нефть и газ. Абих успел до своей смерти выпустить 4 тома капитального труда «Geologische Forschungen in den Kaukasischen Landern».

Первым разведчиком морских нефтяных месторождений был ученый-геолог Д.В. Голубятников (рис. 1). После окончания Петербургского горного института с 1900 г. работал в Геологическом комитете России в Санкт-Петербурге. С 1903 г. на протяжении многих лет занимался исследо-

ванием Апшеронского полуострова и его нефтяных месторождений. Д.В. Голубятников, исследовав 327 скважин на нефтяных промыслах Апшерона, особенности нефтеносных пластов, химический состав нефти, ее физические свойства и «капризы», создал целую науку о геологии нефти. Широкие геологические исследования, проведенные Д.В. Голубятниковым, позволили в 1907 г. дать сравнительную картину выявленных нефтяных и газовых месторождений. С этой точки зрения особенно ценными выглядят его предложения относительно разработки залежей нефти в Биби-Эйбате. Он составил особые карты глубоководных пластов, определил изменения, происходившие в нефтяном месторождении, дал прогнозы для бурения, разведки и эксплуатации. Его классические работы в области геологических исследований нефтяных месторождений Апшерона, смелые, дальновидные и справедливые прогнозы промышленного значения некоторых крупных нефтяных месторождений этого района создали ученому огромный авторитет. В 1908 г. Д.В. Голубятников установил наличие огромных запасов нефти в Сураханском месторождении, дал оценку Путинского, Карачухурского месторождений и Святого острова (о. Артема), на базе которых впоследствии были созданы крупные нефтепромыслы.

Строго научный подход позволил выяснить причины обводнения скважин: «Ненадежность конструкции скважин, недостаточное цементирование и изоляция подземных пластовых вод, слабая укрепленность эксплуатационных колонн и, как следствие этого, создание благоприятных условий для наводнения...». На основе



Рис. 1. Дмитрий Васильевич Голубятников
Fig. 1. Dmitry Vasilyevich Golubyatnikov

его рекомендаций на скважинах Апшерона были произведены соответствующие работы по изоляции пластовых вод и укреплению стенок скважин. Он указал на необходимость изучения гидрогеологии нефтяных месторождений и использования электрометрических методов исследования буровых скважин (каротаж), был инициатором привлечения в 1929 г. специалистов французской фирмы «Шлюмберже» (Schlumberger), которая была пионером в разработке электрических методов разведки полезных ископаемых, сначала на Грозненских месторождениях, а затем и на Апшероне.

Большой вклад в развитие нефтедобычи и нефтехимии в регионе внес выдающийся российский ученый, академик Д.И. Менделеев (рис. 2). В первый раз Д.И. Менделеев [12] прибыл в Баку по просьбе Василия Кокорева — владельца керосинового завода в Сураханах. Здесь в 1859 г. российские предприниматели Василий Кокорев и Петр Губонин, а также немецкий барон Н.Б. Торнау построили первый на Апшероне крупный керосиновый завод (позже, в 1874 г., В. Кокорев создал в Баку солидную нефтепромышленную фирму «Бакинское нефтяное общество»). С 6 сентября по 8 октября 1863 г. Дмитрий Менделеев работал у Кокорева, проводя исследования по разгону нефти, и внес много предложений по улучшению производства керосина. Позже ученый так вспоминал

о своей первой поездке в Баку: «В 1863 г. В.А. Кокорев пригласил меня, тогда служившего доцентом в Санкт-Петербургском университете, съездить в Баку, осмотреть все дело и решить: как можно сделать дело выгодным, если нельзя, то закрыть завод. Тогда я, в августе 1863 г. и был...»

В 1906 году Д. Менделеев выдвинул одну из первых в мире геополитических теорий, в которой обосновал особое местоположение России. Он говорил так: «Страна-то ведь наша особая, стоящая между молотом Европы и наковальной Азии, долженствующая, так или иначе, их сблизить».

Плодотворно работал он и в Баку, оставив о себе добрую память. Именно Д. Менделеев первым предложил провести «керосинопровод» Баку — Батум.

«Вопрос о нефти и других осветительных веществах чересчур близок интересам России», — так писал великий русский ученый. Он советовал властям и предпринимателям вести разработку на основе научных данных. «Без светоча науки и с нефтью будут потемки» — это его выражение актуально и сегодня. Д.И. Менделеев тщательно изучал нефтяное дело в России; несколько раз приезжал в Баку: в 1863, 1880, 1884 и 1886 (два раза) годах с целью изучения экономики и состояния технической вооруженности нефтяных промыслов.

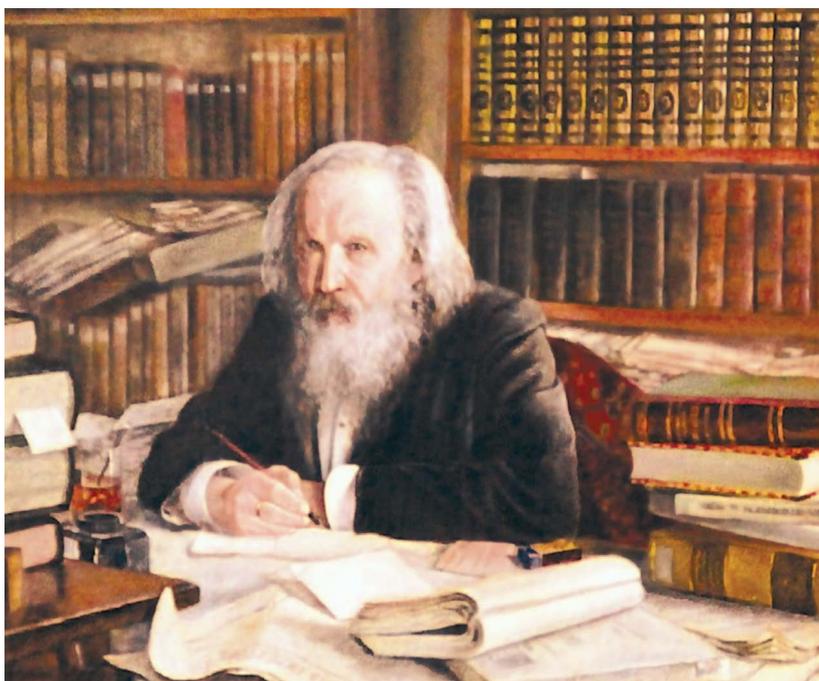


Рис. 2. Дмитрий Иванович Менделеев в своем кабинете
Fig. 2. Dmitry Ivanovich Mendeleev in his office

В своей книге «Бакинское нефтяное дело в 1886 г.» Менделеев отмечал, что «160 бакинских скважин давали почти столько же нефти, сколько в Америке 24 тысячи скважин. Но такому колоссальному богатству Апшеронского полуострова совершенно не соответствовали средства вывоза нефти с Кавказа, и, добывая столько же, сколько Америка, Россия экспортировала в 6 раз меньше нефти. Гораздо выгоднее для страны увеличить спрос на нефть в других городах России, что можно достичь несколькими железными дорогами, связывающими Баку с местами потребления. Но самое главное — надо проложить закавказский нефтепровод Баку — Батуми, по которому каспийская нефть хлынет к берегам Черного моря, а оттуда — во все страны Европы» [11].

Для организации и координации деятельности российских предпринимателей служили съезды бакинских нефтепромышленников, учрежденные в 1884 г. Основной целью съездов была «возможность нефтепромышленников выражать перед правительством свои нужды, стремления и желания». Характерно, что присутствовавший на 1-м съезде нефтепромышленников (Баку, 1884 г.) Дмитрий Менделеев остался довольным глубиной вопросов и проблем по нефтяному делу, рассматриваемых на съезде.

Начало промышленному использованию нефти было положено после изобретения крекинг-процесса. Впервые разработанные в 1891 году Владимиром Шуховым (рис. 3) основы термического крекинг-процесса дали возможность превращать высокомолекулярные углеводороды в низкомолекулярные; а уже после детального изучения особенностей крекинг-процесса около половины добываемой нефти перерабатывалось в бензиновые фракции. Позже крекинг-процесс был дополнен созданием способа каталитического гидрирования насыщенных углеводородов, образующихся при расщеплении нефти.

Имя Владимира Григорьевича Шухова (1853—1939 гг.) неразрывно связано с бакинским нефтяным делом, в котором почти нет ни одной области, где бы он не оставил свой яркий след. Присмотревшись к нефтяному делу, В.Г. Шухов приступил к решению ряда важнейших технических задач, касающихся хранения, транспорта, перегонки и сжигания нефти. Он создал десятки конструкций, отличавшихся смелостью решения, новизной, практичностью: форсунку для сжигания мазута, процесс эрлифта, нефтепроводы, нефтехранилища, газгольдеры, нефтеналивные баржи, нефтеналивные цистерны, установки для термического

крекинга и пиролиза нефти, паровые котлы, инерционный поршневого и шнуровой насосы, мосты, сетчатые и арочные перекрытия, гиперболоидные башни и множество других. Многие его изобретения получили широкое применение в США. Шуховское изобретение крекинг-процесса составило эпоху в деле перегонки нефти, так как оно способствовало получению бензина — ценнейшего горючего для авто- и авиамоторов.

Задачу транспортировки нефти на суше В.Г. Шухов решил следующим образом: он предложил перекачивать ее по трубопроводу, подобно воде. Изучив процесс перекачивания нефти по построенному им же нефтепроводу и на основании своих опытов, Шухов вывел эмпирическую формулу для расчета движения нефти по трубам. Позже «формулу Шухова» будут использовать инженеры всего мира. Для перекачивания нефтяных остатков Шухов разработал специальный метод, основанный на предварительном подогреве их, используя теплоту мятлого пара в прямодействующих паровых насосах Вартингтона. Сущность метода заключается в том, что вследствие подогрева вязкость нефтяных остатков значительно падает и они перекачиваются подобно воде. На основании многочисленных опытов, которые Шухов провел на построенном им же в Баку первом мазутопроводе, он составил свою формулу для расчета вновь проектируемых мазутопроводов, став первым изобретателем способа перекачки нефтепродуктов с подогревом, тем самым значительно опередив американских специалистов.



Рис. 3. Владимир Григорьевич Шухов
Fig. 3. Vladimir Grigoryevich Shukhov

На Апшероне нефть хранили в деревянных чанах емкостью до 200 фунтов, находящихся рядом с нефтяной вышкой, позже ее стали хранить в подземных земляных амбарах-кладовых емкостью до 70 тыс. фунтов. При сильном фонтанировании скважин подземные амбары наполнялись в течение 2 часов, при этом огромное количество нефти просачивалось в землю и испарялось. Вопрос о хранении нефти и нефтепродуктов был блестяще разрешен В.Г. Шуховым путем больших клепаных железных резервуаров (по всей России было построено более 20 тыс. металлических резервуаров; конструкция их сохранилась и до наших дней). В то время вопрос о постройке оснований под такие резервуары не был точно выяснен, и сооружались дорогостоящие фундаментные устройства. В.Г. Шухов, поняв, какое огромное сопротивление составляет ровное земляное основание, отбросил сооружение дорогих фундаментов, отмечая, что можно достигнуть значительной экономии железа (необходимого на постройку резервуара), если использовать простейшие правила о минимальном весе резервуара. Так он вывел свое знаменитое шуховское правило о построении железных резервуаров постоянной высоты; т.е. путем простой рационализации Шухов добился почти двойного удешевления стоимости изготовления железных резервуаров.

Большая роль в развитии нефтяного дела в регионе принадлежит Императорскому Русскому техническому обществу (ИРТО). Образованное в 1866 г. в Санкт-Петербурге, оно являлось организацией, объединившей всю передовую и научно-техническую мысль России. Бакинское отделение (БО) ИРТО образовано 24 марта 1879 г. Его деятельность

и выпускаемые им труды оказали огромное влияние на развитие нефтедобычи в регионе. Первым председателем БО ИРТО являлся П. Семянников, который вместе с другими известными инженерами и химиками С. Квитко, А. Дорошенко, А. Булгаковым, Н. Лебедевым, В. Абрамовичем, И. Сафаровым, А. Манчо, В. Деловым, А. Гухманом, В. Герром, А. Муатом, К. Харичковым, Д. Ландау, Р. Острейко, М. Ханларовым, Ф. Рустамбековым, А. Адиясевицем, И. Глушковым и др. внес огромный вклад в становление нефтяного дела [13—15].

Наибольшее значение для развертывания деятельности БО ИРТО имела помощь профессоров Д.И. Менделеева, К.И. Лисенко, академика Ф.Ф. Бейльштейна и др., а также крупных бакинских нефтяных фирм (братьев Нобель, братьев Ротшильд, А.М. Бенкендорфа, К.Я. Зубалова и др.), которые своими ежегодными взносами поддерживали отделение.

Существенный вклад в технологию высокотемпературной переработки бакинских нефтей внесли Н. Зелинский, С. Вышетравский, С. Лебедев, А. Добрянский, Ф. Инчик, К. Харичков, Р. Вишин, Ю.Г. Мамедалиев, Р.Г. Исмаилов и другие ученые, работы которых способствовали также и возникновению нового направления в химии нефти — нефтехимического синтеза, а Бакинское отделение Императорского Русского технического общества стало центром научных исследований по нефти на Кавказе.

Выдающийся русский и советский химик-органик Николай Дмитриевич Зелинский (рис. 4) неоднократно посещал Баку с целью изучения состава и свойств апшеронских нефтей; открыл явление дегидрогенизационного катализа (1910 г.). Начатое в первых годах XX века тесное сотрудничество Н.Д. Зелинского, М.М. Тихвинского и А.Н. Никифорова привело к усовершенствованию способа переработки нефти; они определили выходы различных ароматических углеводородов и повысили в них содержание бензола и толуола. Важнейшее значение в нефтепереработке имел процесс алкилирования углеводородов и их производных, детально разработанный и обстоятельно изученный Н.Д. Зелинским и Ю.Г. Мамедалиевым. В 1918 г. на основании работ Марковникова Зелинский создал каталитический способ получения бензина из тяжелых нефтяных остатков.

Лев Гаврилович Гурвич (1871—1926 гг.) организовал первую заводскую химическую лабораторию в Баку, с 1904 г. в Баку и с 1909 г. в Петербурге он являлся научным руководителем химических лабораторий фирмы «Бр. Нобель». Исследования Гурвича

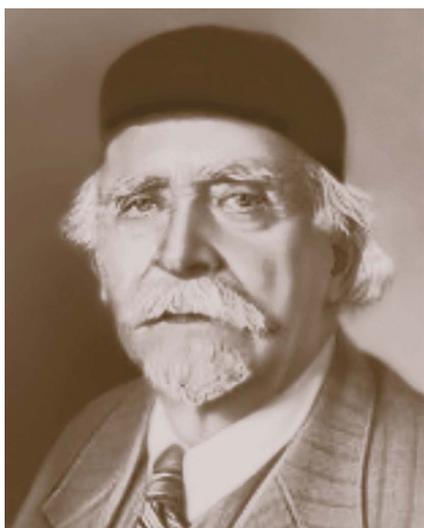


Рис. 4. Николай Дмитриевич Зелинский
Fig. 4. Nikolay Dmitrievich Zelinsky

по технологии переработки нефти не утратили своего значения и по сей день; его всемирно известный труд «Научные основы переработки нефти» (впервые был опубликован в Германии на немецком языке в 1913 г., а первое русское издание вышло в Баку в 1921 г.) до настоящего времени является ценным пособием для нефтехимиков и технологов. В 1920 г. Лев Гурвич был избран профессором как Бакинского политехнического института, так и Азербайджанского государственного университета (учрежден в 1919 г.).

Огромная роль в становлении и развитии нефтегазового комплекса Каспийского региона, в создании нефтегазовой научной геологической школы принадлежит академику Иван Михайловичу Губкину (рис. 5).

Он был одним из первых, кто встал на защиту недр Каспийского региона и Баку. Анализируя досоветское время разработки нефтяных месторождений Баку, говорил: «Клевали недра подобно стервятникам». В феврале 1921 года И.М. Губкин с тревогой доложил В.И. Ленину: «Что же касается небывалого сокращения эксплуатационной деятельности, то это может грозить порчей месторождения настолько глубоко, что потом не исправить этой порчи самой напряженной и буровой, и эксплуатационной деятельностью» [17—28].

Необходимо отметить значительный вклад российских ученых в развитие науки и образования в Азербайджане. Развитие нефтяной промышленности, ее история предопределили



Рис. 5. Академик Иван Михайлович Губкин — выдающийся геолог-нефтяник

Fig. 5. Academician Ivan Mikhailovich Gubkin is an outstanding petroleum geologist

интернациональный облик Баку и других нефтегазодобывающих центров, которые были родиной многих людей различных национальностей, добившихся впоследствии выдающихся достижений. В частности, в Баку в разное время жили и работали выдающиеся ученые академики И.В. Курчатов, Л.Д. Ландау, Л.С. Лейбензон, С.А. Ковалевский, М.В. Абрамович, М.А. Павлов [18, 19, 21].

Игорь Васильевич Курчатов (рис. 6) осенью 1924 года поступил ассистентом на кафедру физики Азербайджанского политехнического института в Баку. В 1925 году по рекомендации профессора Семена Николаевича Усатого, с которым Курчатов работал в Баку, стал научным сотрудником в Физико-техническом институте в Ленинграде под руководством академика А.Ф. Иоффе.

Леонид Самуилович Лейбензон — с 1921 г. профессор и декан нефтепромышленного факультета Бакинского политехнического института. В 1922 г. вернулся в Московский университет, где проработал до конца жизни. Одновременно в 1922—1930 гг. был профессором Московской горной академии; в 1925 г. Лейбензон организовал и возглавил первую в Советском Союзе нефтепромышленную лабораторию.

Ко времени установления советской власти в Баку было единственное высшее учебное заведение — университет. В первые же недели своего существования и практической деятельности советская власть приступила к созданию высшей и средней специальных школ. Для того чтобы удовлетворить потребности производства, были созданы краткосрочные курсы по подготовке



Рис. 6. Игорь Васильевич Курчатов

Fig. 6. Igor Vasilyevich Kurchatov

кадров для обслуживания народного хозяйства. Для восстановления нефтяного хозяйства страны надо было в первую очередь иметь высококвалифицированные инженерно-технические кадры, способные своим трудом, своими знаниями и опытом решать возникающие проблемы. Одним из первых высших учебных заведений в регионе, призванным готовить инженеров для социалистической и прежде всего нефтяной промышленности, был Бакинский политехнический — в дальнейшем Азербайджанский институт нефти и химии им. М. Азизбекова. 16 ноября 1920 года был обнародован декрет «Об учреждении политехнического института в г. Баку». В этом историческом документе говорилось: «1. Бакинское политехническое училище преобразуется в высшее учебное заведение под наименованием “Бакинский политехнический институт имени Азизбекова” в составе пяти факультетов: нефтепромышленного, электромеханического, инженерно-строительного, сельскохозяйственного и экономического»

В декрете также указывалось, что профессора Н.А. Дубровский, П.К. Жузе, Л.Г. Гурвич, доцент Петроградского университета А.С. Шепотьев и инженер Д.Д. Гадаскин назначаются профессорами; Н.А. Лебедев, инженеры С. Векилов, А.И. Козлов, А.П. Шушеров и М.В. Абрамович — штатными преподавателями по кафедрам, соответствующим их специальностям и прежней преподавательской деятельности. Профессор

Н.А. Дубровский назначался ректором института сроком до 1 сентября 1921 года.

Среди профессорско-преподавательского состава института первого созыва были выдающиеся российские ученые: И.В. Курчатов — выдающийся физик, лауреат Ленинской премии; А.П. Серебровский — выдающийся организатор нефтяной промышленности; Л.С. Лейбензон — академик; М.В. Абрамович — академик Академии наук Азербайджанской ССР; первые профессора института Н.А. Дубровский, П.К. Жузе, В.С. Гридин, Я.Н. Дунин, З.Б. Ельяшевич, К.А. Красусский, С.А. Ковалевский, С.Н. Усатый, И.Г. Есьман — ректор института (1922—1928 гг.), М.В. Баринов — ректор института (1928—1929 гг.). Все вышеуказанные и другие российские ученые сыграли важную роль в становлении института и в целом в развитии нефтегазового дела в Каспийском регионе.

Таким образом, как свидетельствует сделанный исторический экскурс, в становлении Каспийского региона, одного из главных сырьевых баз углеводородов в мире, огромна заслуга российских ученых, инженеров, изобретателей и талантливых предпринимателей, которые определили пути рационального развития нефтяного дела, в целом нефтяной промышленности прибрежных государств. Российские ученые сыграли важную роль в формировании национальных научных школ, а их научные труды оказали существенное влияние на мировую науку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архив РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (Архив РГУ). Оп. 1. д. 119. Л. 51—88.
2. Ашумов Г.Г. Азербайджанские нефти. Баку.: Изд-во Акад. наук АзССР, 1961. 555 с.
3. Балаев С.Г. Нефть страны вечного огня. Баку: Азернешр, 1969. 158 с.
4. Большая Энциклопедия. В 22 тт. СПб.: Книгоиздательское товарищество «Просвещение» под редакцией С.Н. Южакова. 1896—1909.
5. Брилинский А. Краткий исторический и статистический обзор. Баку: тип. Р. Сегаль и с-вья, 1915. 229 с.
6. Владимиров А.И. Высшее нефтегазовое образование. Проблемы, перспективы. М.: РГУ нефти и газа им. И. Москва Губкина, 1999. 496 с.
7. Керимов В.Ю., Серикова У.С. Основатель современного Азербайджанского государства Гейдар Алиев — автор концепции о нефтяной стратегии Азербайджана // В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий. Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 12—15.
8. Керимов В.Ю., Серикова У.С., Валиев Н.Г. Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана (к 100-летию со дня рождения выдающегося политического деятеля) // Горный журнал. 2023. № 4. С. 79—82.
9. Лисичкин С.М. Выдающиеся деятели отечественной нефтяной науки и техники. М.: Недра, 1967. 284 с.
10. Мир-Бабаев М.Ф. Бакинская нефть и Ротшильды // Нефтяное хозяйство. 2002. № 1. С. 93—95.
11. Мир-Бабаев М.Ф. Владимир Шухов и российское нефтяное дело // Территория Нефтегаз. 2004. № 10. С. 60—63.
12. Мир-Бабаев М.Ф. Дмитрий Менделеев и российское нефтяное дело // Территория Нефтегаз. 2002. № 10. С. 44—48.
13. Мир-Бабаев М.Ф. Императорское русское техническое общество и бакинское нефтяное дело // Территория Нефтегаз. 2002, № 9. С. 38—44.
14. Мир-Бабаев М.Ф. История черного золота // Consulting & Business. 2006. № 8. С. 26—32.
15. Мир-Бабаев М.Ф. Краткая хронология истории

- азербайджанского нефтяного дела. Баку: Sabakh, 2004. 199 с.
16. *Мир-Бабаев М.Ф.* Петр Первый и азербайджанская нефть // Территория Нефтегаз. 2002. № 6—7. С. 46—50.
 17. Московский Горный. 1918—1998. М., 1998. 30 с.
 18. *Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Серикова У.С., Леончик М.И., Мустаев Р.Н.* Проблемы развития сырьевой базы нефтегазодобычи и основные направления поисково-разведочных работ в акватории Каспийского моря // В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий. Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 317—321.
 19. *Серикова У.С.* Исторический анализ становления и развития научных знаний о нефтехимии и технологиях переработки нефти и газа // История и педагогика естествознания. 2023. № 2. С. 45—51.
 20. *Серикова У.С.* Основные направления перехода нефтегазовой промышленности к шестому технологическому укладу в Каспийском регионе // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 3. С. 76—86.
 21. *Серикова У.С.* Основные этапы развития нефтегазовой промышленности в Каспийском регионе // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 70—83.
 22. *Серикова У.С.* Системно-исторический подход и методы исследований объектов нефтегазового комплекса Каспийского региона // В сб.: Новые идеи в науках о Земле. Мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф.: в 7-ми томах. 2019. С. 193—196.
 23. *Серикова У.С.* Становление и развитие нефтедобывающей промышленности Каспийского региона // В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий. Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 36—41.
 24. *Старцев Т.Е.* Бакинская нефтяная промышленность. Историко-статистический очерк. Баку: Типография «Арорь», 1901. 115 с.
 25. *Федоров С.Ф.* Академик Иван Михайлович Губкин — основоположник высшего нефтяного образования в нашей стране. Академия наук Азербайджанской ССР. Под редакцией Г.Б. Абдуллаева. Баку: Изд-во Элм, 1976. 100 с.
 26. *Фролов В.И.* Из прошлого русской нефтяной промышленности // Нефтяное и сланцевое хозяйство. 1920. № 12. С. 18.
 27. *Фукс И.Г., Матишев В.А.* Иллюстрированные очерки по истории российского нефтегазового дела. Часть I. Север и Юг европейской части России (до 1917 г.). М.: Нефть и Газ. 2000. 176 с.
 28. *Senin B.V., Kerimov V.Yu., Leonchik M.I., Mustaeв R.N., Serikova U.S.* Hydrocarbon resources of the Caspian Sea // В сб.: Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: Достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий. Мат-лы науч.-практ. конф., посв. 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. Баку, 2023. С. 439—444.

REFERENCES

1. Archive of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (Archive of Gubkin Russian State University). Op. 1. d. 119. L. 51—88 (In Russian).
2. Shumov G.G. Azerbaijani oil. Baku: Publ. House of the Academy of Sciences of the AzSSR, 1961. 555 p. (In Russian).
3. Balaev S.G. Oil of the land of eternal flame. Baku: Azerneshr, 1969, 158 p. (In Russian).
4. A large Encyclopedia. At 22 tt. St. Petersburg: Book Publishing Association “Enlightenment”, edited by S.N. Yuzhakov. 1896—1909 (In Russian).
5. Brilinsky A. A brief historical and statistical review. Baku: printing house R. Segal and sons, 1915. 229 p. (In Russian).
6. Vladimirov A.I. Higher oil and gas education. Problems, prospects. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 1999. 496 p. (In Russian).
7. Kerimov V.Yu., Serikova U.S. The founder of the modern Azerbaijani state, Heydar Aliyev, is the author of the concept of the oil strategy of Azerbaijan // In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 12—15 (In Russian).
8. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Valiev N.G. Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan (to the 100th anniversary of the birth of an outstanding political figure) // Mining Journal. 2023. No. 4. P. 79—82 (In Russian).
9. Lisichkin S.M. Outstanding figures of Russian petroleum science and technology. Moscow: Nedra, 1967. 284 p. (In Russian).
10. Mir-Babaev M.F. Baku oil and the Rothschilds. // Oil industry. 2002. No. 1. P. 93—95 (In Russian).
11. Mir-Babaev M.F. Vladimir Shukhov and the Russian oil business // Territory of Neftegaz. 2004. No. 10. P. 60—63 (In Russian).
12. Mir-Babaev M.F. Dmitry Mendeleev and the Russian oil business // The territory of Neftegaz. 2002. No.10. P. 44—48 (In Russian).
13. Mir-Babaev M.F. Imperial Russian Technical Society and Baku oil business // The territory of Neftegaz. 2002. No. 9. P. 38—44 (In Russian).
14. Mir-Babaev M.F. The history of black gold // Consulting

- & Business. 2006. No. 8. P. 26—32 (In Russian).
15. Mir-Babayev M.F. A brief chronology of the history of the Azerbaijani oil business. Baku: Sabakh, 2004. 199 p. (In Russian).
 16. Mir-Babayev M.F. Peter the Great and Azerbaijani oil. // Territory of Neftgaz. 2002. No. 6—7. P. 46—50 (In Russian).
 17. Moskovsky Gorny. 1918—1998. Moscow, 1998. 30 p. (In Russian).
 18. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Leonchik M.I., Mustaeв R.N. Problems of development of the raw material base of oil and gas production and the main directions of prospecting and exploration in the Caspian Sea // In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 317—321 (In Russian).
 19. Serikova U.S. Historical analysis of the formation and development of scientific knowledge about petrochemistry and technologies of oil and gas refining // History and pedagogy of natural sciences. 2023. No. 2. P. 45—51 (In Russian).
 20. Serikova U.S. The main directions of the transition of the oil and gas industry to the sixth technological order in the Caspian region // Izvestia of Higher educational institutions. Geology and exploration. 2023. No. 3. P. 76—86 (In Russian).
 21. Serikova U.S. The main stages of the development of the oil and gas industry in the Caspian region // Izvestia of higher educational institutions. Geology and exploration. 2022. No. 6. P. 70—83 (In Russian).
 22. Serikova U.S. System-historical approach and methods of research of objects of the oil and gas complex of the Caspian region // In the collection: New ideas in Earth Sciences. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference: in 7 volumes. 2019. P. 193—196 (In Russian).
 23. Serikova U.S. Formation and development of the oil industry in the Caspian region // In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 36—41 (In Russian).
 24. Startsev I.E. The Baku oil industry. Historical and statistical essay. Baku: Aror, 1901. 115 p. (In Russian).
 25. Fedorov S.F. Academician Ivan Mikhailovich Gubkin is the founder of higher oil education in our country, the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR. Edited by G.B. Abdullaev. Baku: Elm Publ., 1976. 100 p. (In Russian).
 26. Frolov V.I. From the past of the Russian oil industry // Oil and shale farming. 1920. No. 12. P. 18 (In Russian).
 27. Fuchs I.G., Matishev V.A. Illustrated essays on the history of the Russian oil and gas business. Part I. North and South of the European part of Russia (before 1917). Moscow: Oil and Gas. 2000. 176 p. (In Russian).
 28. Senin B.V., Kerimov V.Yu., Leonchik M.I., Mustaeв R.N., Serikova U.S. Hydrocarbon resources of the Caspian Sea // In the collection: Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: Achievements of Oil and Gas Geology and Geotechnologies. Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. Baku, 2023. P. 439—444.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

Yury P. Panov— 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.

Uliana S. Serikova — 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.

Vagif Sh. Gurbanov — 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

Панов Юрий Петрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2002
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-код: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Серикова Ульяна Сергеевна* — кандидат технических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117997, Россия
e-mail: lubava45@gmail.com
тел.: +7 (965) 429-39-79
SPIN-код: 9363-4064
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Гурбанов Вагиф Шыхи оглы — доктор геолого-минералогических наук, исполнительный директор Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. 9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджанская Республика
e-mail: vaqifqurbanov@mail.ru
тел.: +009 (412) 493-67-13
Scopus ID: 57193747031
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1042-9025>

Yuri P. Panov — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2002)
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-code: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Uliana S. Serikova* — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: lubava45@gmail.com
tel.: +7 (965) 429-39-79
SPIN-code: 9363-4064
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Vagif Sh. Gurbanov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Executive Director, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Oil and Gas Institute. 9, F. Amirova str., Baku AZ1000, Republic of Azerbaijan
e-mail: vaqifqurbanov@mail.ru
tel.: +009 (412) 493-67-13
Scopus ID: 57193747031
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1042-9025>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ВЕТРЕННЫЙ ПОЯС — ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ УНИКАЛЬНЫХ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА

С.В. МЕЖЕЛОВСКАЯ^{1,*}, К.И. ЮШИН^{1,2}, А.Д. МЕЖЕЛОВСКИЙ²

¹ ФГБУН «Геологический институт» Российской академии наук
7, стр. 1, пер. Пыжевский, г. Москва 119017, Россия

² ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Приведена история открытия и развития геологических гипотез об условиях формирования одной из крупнейших палеопротерозойских структур Фенноскандинавского щита — Ветреного пояса. Показана его уникальность по отношению к одновозрастным осадочно-вулканогенным структурам региона, заключающаяся в формировании вулканитов со структурой «спинифекс», типичной для архейских образований. Для Ветреного пояса установлены уникальные по составу породы с хорошей сохранностью первичных структур и минералов. В ходе проведенного эксперимента доказана принадлежность вулканических пород к коматиитовой серии. Рассмотрены проблемы стратиграфических и тектонических схем, часть из которых остаются до настоящего времени дискуссионными. Проведенное исследование изотопного состава детритового циркона методом LA-ICP-MS из метатерригенных пород Ветреного пояса позволяет предположить спокойные тектонические обстановки седиментации, стабильный уровень эрозионного среза, а возраст образования структуры — как сумийский.

Ключевые слова: Фенноскандинавский (Балтийский) щит, Восточная Карелия, Ветренный пояс, палеопротерозой, стратиграфия, геохронология, коматиит-базальтовая серия, спинифекс-структуры, история изучения, детритовый циркон

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Межеловская С.В., Юшин К.И., Межеловский А.Д. Ветренный пояс — геологическое наследие уникальных тектоно-магматических процессов палеопротерозоя Фенноскандинавского щита. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):20—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-20-34>

Статья поступила в редакцию 15.02.2024

Принята к публикации 15.03.2024

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

VETRENY BELT AS A GEOLOGICAL HERITAGE OF UNIQUE PALEOPROTEROZOIC TECTONOMAGMATIC PROCESSES IN THE FENNOSCANDIN SHIELD

SOFYA V. MEZHELOVSKAYA^{1,*}, KIRILL I. YUSHIN^{1,2}, ALEXEY D. MEZHELOVSKY²

¹ *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7/1, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia*

² *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

We presented the history of discovery and development of geological hypotheses about the conditions of formation of one of the largest Paleoproterozoic structures of the Baltic Shield — the Vetreny Belt. Its uniqueness in relation to the same-age sedimentary-volcanogenic structures of the region is shown, consisting of the formation of volcanics with the spinifex structure, typical only for Archean formations. The unique composition of rocks with good preservation of primary structures and minerals was established for the Vetreny Belt. The experiment proved that volcanic rocks belong to the komatiite series. The problems of stratigraphic and tectonic schemes were considered, some of which are still debatable. The study of the isotopic composition of detrital zircon by LA-ICP-MS from metaterrigenous rocks of the Vetreny Belt hypothesizes calm tectonic conditions of sedimentation, a stable level of erosional shearing, and the age of formation of the structure being Sumian.

Keywords: Fennoscandin (Baltic) shield, East Karelia, Vetreny belt, paleoproterozoic, stratigraphy, geochronology, komatiite-basalt series, spinifex structures, history of study, detrital zircon

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

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

For citation: Mezhelovskaya S.V., Yushin K.I., Mezhelovsky A.D. Vetreny belt as a geological heritage of unique paleoproterozoic tectonomagmatic processes in the Fennoscandin shield. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):20—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-20-34>

Manuscript received 15 February 2024

Accepted 15 March 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Первое упоминание Ветреного пояса

В далеком 1928 году Михаилом Николаевичем Карбасниковым на месте предполагаемой заболоченной равнины был обнаружен хребет, обращенный к морю. Благодаря его усилиям и пристальному изучению протяженной возвышенности хребет нашел свое место на карте, а произошло это только в 1940 г. Пояс, получил название Ветренный, прослежен от р. Нюхча на северо-западе до р. Онега на юго-востоке. Административно он расположен в Архангельской области и в Республике Карелия. Слово «пояс» в переводе со старорусского

обозначало горный хребет, а издревле заселившиеся здесь поморы хорошо видели протяженную возвышенность с моря, полагая, что пояс овеян ветром, отсюда и пошло такое название [11]. Первое геологическое изучение Ветреного пояса относится к довоенному времени. Территорию изучали В.С. Трофимов (1939 г.), Н.В. Альбов (1937, 1940 гг.) и А.Г. Бетехтин (1940 г.), были описаны разрезы вулканических пород и сланцев, относящихся к протерозойскому комплексу. Пояс был отделен от беломорских гнейсов системой крупных разрывов сбросового типа.

Геологические открытия. Комплексное и детальное изучение Ветреного пояса было продолжено в послевоенный период (1949—1960 гг.). В это время была выполнена геологическая съемка масштаба 1:200 000 (А.П. Пекуров, 1953, 1956 г.; Г.А. Бойда, 1957 г.; В.В. Сиваев, 1960 г., и др.). Разработанные и составленные в ходе данных работ карты в настоящее время признаны некондиционными, однако эти исследования внесли большой вклад в познание геологического строения района. В период 1962—1968 гг. огромную работу по изучению стратиграфии, магматизма и металлогении Ветреного пояса провел коллектив Института геологии Карельского филиала АН СССР под руководством А.И. Богачева. В итоге были составлены тектонические и металлогенические карты масштаба 1:500 000 с выделением перспективных участков для поисков сульфидных никелевых руд.

Систематическое геологическое изучение Ветреного пояса началось после 50-х гг. прошлого века. Неоценимый вклад в его изучение внесла династия Куликовых: Вячеслав Степанович Куликов, Виктория Владимировна Куликова, а также Яна Вячеславовна Бычкова (Куликова). За более чем полувековое всестороннее изучение структуры были получены уникальные данные. Метавулканиты Ветреного пояса, обладая специфическим геохимическим составом и удивительной структурой, которая в последствии была названа спинифекс, на тот момент не укладывались в общепризнанные классификации. Только спустя 17 лет при содействии В.С. Куликова на Международном геологическом конгрессе 1984 года в Москве удалось пообщаться с зарубежными коллегами и выяснить, что подобные породы существуют в ЮАР, Австралии, на Канадском щите и отнесены к коматиитовой серии. Термин «коматиит» был введен в литературу братьями Морисом и Робертом Вильонами в 1969 г. [15].

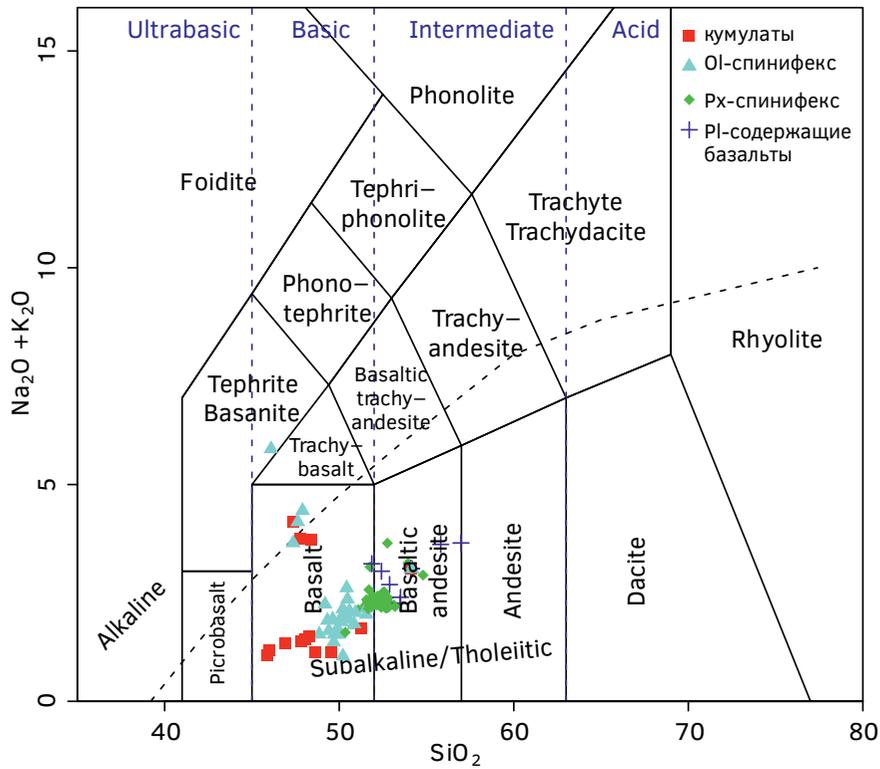
Под этим названием в районе р. Комати (ЮАР) они описали вулканические породы с высоким содержанием MgO, низким Al_2O_3 и необычно высоким отношением CaO/Al_2O_3 , что отличает их от базальтов, пикритов и перидотитов. В 1971 г. подобные породы были описаны в Австралии [33]. В более поздние годы В.В. Куликовой были открыты коматииты в архейском Сумозерско-Кенозерском зеленокаменном поясе, и лишь потом докембрийские геологи стали обособлять подобные породы в других архейских структурах Карелии. Однако вулканогенные породы Ветреного пояса имеют немного отличный химический

состав от коматиитов. Согласно петрографическому кодексу [29] внутри семейства пикритов выделены разновидности перидотитовых (>25% MgO) и пироксенитовых (<25% MgO) коматиитов. Вулканиды Ветреного пояса в среднем содержат 14% MgO, и только лишь кумулятивные части дифференцированных потоков обогащены MgO до 28%. Содержания SiO_2 в среднем составляет 50% (рис. 1), что характерно для базальтов, в то время как коматииты обеднены кремнеземом. По содержанию $TiO_2 = 0.66$ породы близки к пикритам. Отношение Al_2O_3/TiO_2 в среднем составляет 19, а в некоторых случаях достигает 33, что существенно отличает породы Ветреного пояса от других ультраосновных вулканидов и напротив типично для коматиитовой серии, согласно [29]. Таким образом, кумулятивные части потоков геохимически отвечают коматиитам, а их дифференциаты, обладающие структурой спинифекс, относятся к коматиитовым базальтам.

Структура «спинифекс», кристаллизующаяся из мантийных ультраосновных расплавов в зоне закалки, является неотъемлемым признаком пород коматиитовой серии. Получила свое название по сходству с австралийской остролистной травой *Triodia spinifex*. Подобные структуры можно наблюдать, например, зимой на стеклах в окнах строений или на поверхности воды, а также в некоторых продуктах металлургических производств, когда происходит быстрая кристаллизация воды или расплавов в условиях переохлаждения. Вероятность сохранности таких «хрупких» структур при метаморфизме, охватывающем все докембрийские образования, невелика [14]. В доказательство первичной закалочной природы структур спинифекс В.С. Куликовым были проведены эксперименты по плавлению вулканических пород Ветреного пояса, в результате которых при кристаллизации были получены структуры, аналогичные природным [12].

В конце XX в. значительный вклад в изучение геологии и полезных ископаемых территории внесли сотрудники ПГО «Архангельскгеология», в первую очередь геологи Плесецкой экспедиции (А.И. Зудин, А.А. Черепанов, А.Д. Казеннова, В.П. Копылов, Г.В. Канев, В.П. Кислов и другие). В начале 2000-х годов А.К. Корсаков и В.Я. Федчук проводили активную работу по изучению геодинамики и металлогении структуры. Большой вклад в геологическое изучение вещественных комплексов Ветреного пояса также внесли А.В. Синицын, В.А. Ильин, С.Б. Лобач-Жученко и др. [18].

а



б

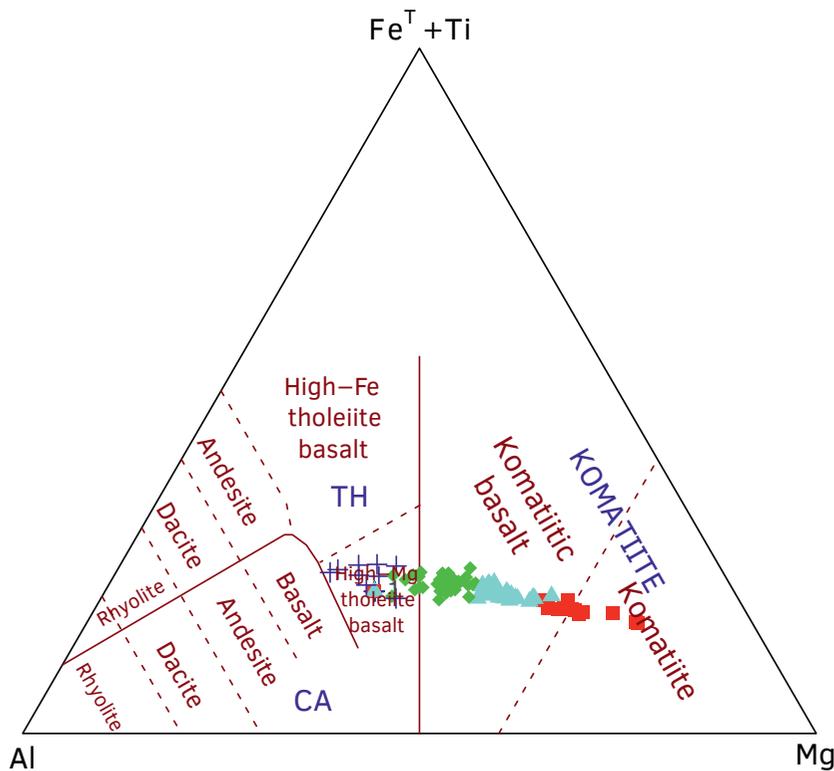


Рис. 1. Классификационные диаграммы для коматиитовых базальтов Ветреного пояса. а — TAS диаграмма Le Bas (1986), б — диаграмма для вулканических пород Jensen (1976).

Fig. 1. Classification diagrams for komatiite basalts of the Vetryny Belt. а — TAS diagram (Le Bas et al., 1986), б — Jensen cation plot for volcanic rocks (Jensen 1976)

За последние 20 лет в рамках тематических работ территорию Ветреного пояса изучали В.Ф. Смолькин, Е.В. Шарков, А.В. Самсонов, И.С. Пухтель, Ю.А. Костицын, Ю.Б. Богданов, А.М. Ахмедов. Результаты этих работ отражены в многочисленных публикациях. В пределах Нименьгской прогнозной площади проводилось геологическое изучение ЗАО «Онегазолото» (2007—2010 гг.) в рамках поисковых работ на золото и элементы платиновой группы.

Результаты исследований

На территории Фенноскандинавского щита на рубеже 2.4—2.5 млрд лет начался крупный импульс мантийного магматизма, который привел к деструкции ранее сформированной консолидированной коры и, как следствие, масштабному рифтогенезу. В результате этих процессов были заложены многочисленные рифтогенные прогибы, одним из которых является Ветренный пояс. Раннепротерозойская структура, расположенная на юго-востоке Карельского кртона, является пограничной между Беломорским подвижным поясом и Карельской гранит-зеленокаменной областью (рис. 2). Пояс образован чередованием осадочных и вулканогенных толщ, погружающихся под углами 20—40° в северо-восточном направлении. Протяженность его в пределах Фенноскандинавского щита составляет 250 км при ширине от 15 до 85 км. Согласно геофизическим данным, пояс погружается под чехол Восточно-Европейской платформы примерно на такое же расстояние [27].

В разрезе Ветреного пояса преобладают осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные толщи, нарушенные взбросо-надвигами. Геологической границей Ветреного пояса с Беломорским геоблоком является региональный надвиг, который отчетливо фиксируется зоной максимального горизонтального градиента силы тяжести. На юго-западе комплекс Ветреного пояса надвинут на саамский серогнейсовый комплекс и лопийские зеленокаменные пояса Карельского кртона.

Традиционно в разрезе структуры выделяются шесть свит: (снизу вверх) токсинская терригенная, киричская вулканогенная, калгачинская грубообломочная, кожозерская карбонатно-терригенная с потоками вулканитов, виленгская терригенно-глинистая и свита ветреного пояса вулканогенная (рис. 3). Стратиграфия Ветреного пояса являлась предметом многочисленных дискуссий на протяжении длительного

времени. При проведении геологосъемочных работ еще в 1966 году А.И. Богачев относил середину разреза (кожозерская свита) к ятулию. В 1968 году А.И. Богачевым, В.С. Куликовым и другими из разных частей структуры были получены многочисленные датировки K-Ar методом по породе для коматиитовых базальтов. Все полученные возраста укладывались в интервал от 2.4 до 2.2 млрд лет [3,6], что противоречило сопоставлению вулканитов Ветреного пояса с суйсарским комплексом докембрия. Однако Новикова А.С. совместно с Куликовым В.С., обратили внимание на уникальный петрохимический состав вулканитов Ветреного пояса и отсутствие подобных пород в более молодых разрезах аналогичных структур [28].

На структурно-формационной карте Ветреного пояса 1984 г под ред. Куликова В.С., весь комплекс структуры относится к четырем надгоризонтам палеопротерозоя от сумия до людиковия. Такое расчленение структуры обусловлено сходством разреза Ветреного пояса с аналогичными палеопротерозойскими структурами Фенноскандинавского щита, такими как Лехтинский и Шомбозерский синклиории, Кумсинская и Онежская структуры и многие другие. Для них характерным является чередование вулканогенных и осадочных образований в следующей последовательности (снизу вверх): кварциты, андезиты и андезибазальты, кварцевые порфиры, дациты, метапорфириты с горизонтами карбонатных пород, металевролиты, метапелиты, кварцитопесчаники, туфосилициты, чередующиеся с силлоподобными телами пикритов. Примечательным является также появление рассеянного углеродистого вещества.

В 1997 году И.С. Пухтель и др. впервые получили Sm-Nd возраст коматиитовых базальтов, который составил 2410 ± 34 млн лет [34]. Эти данные кардинально поменяли представления многих геологов-съемщиков о стратиграфии и геологическом развитии структуры. Но, несмотря на опубликованные данные в более молодых материалах, на Госгеолкарте Р-37 — VII от 2001 г. свита Ветреного пояса и виленгская рассматриваются наравне с суйсарской и заонежской свитами людиковия [7]. В объяснительной записке к этой карте проводится сопоставление местных стратонтов ранних карелид, где наблюдается аналогичная ситуация. Не изменилось и представление о разрезе у авторов миллионной карты Р-(35,36) от 2015 г. [10]. Богданов Ю.Б. и др. в 2011 г. в своей работе, несмотря на новые изотопные данные,

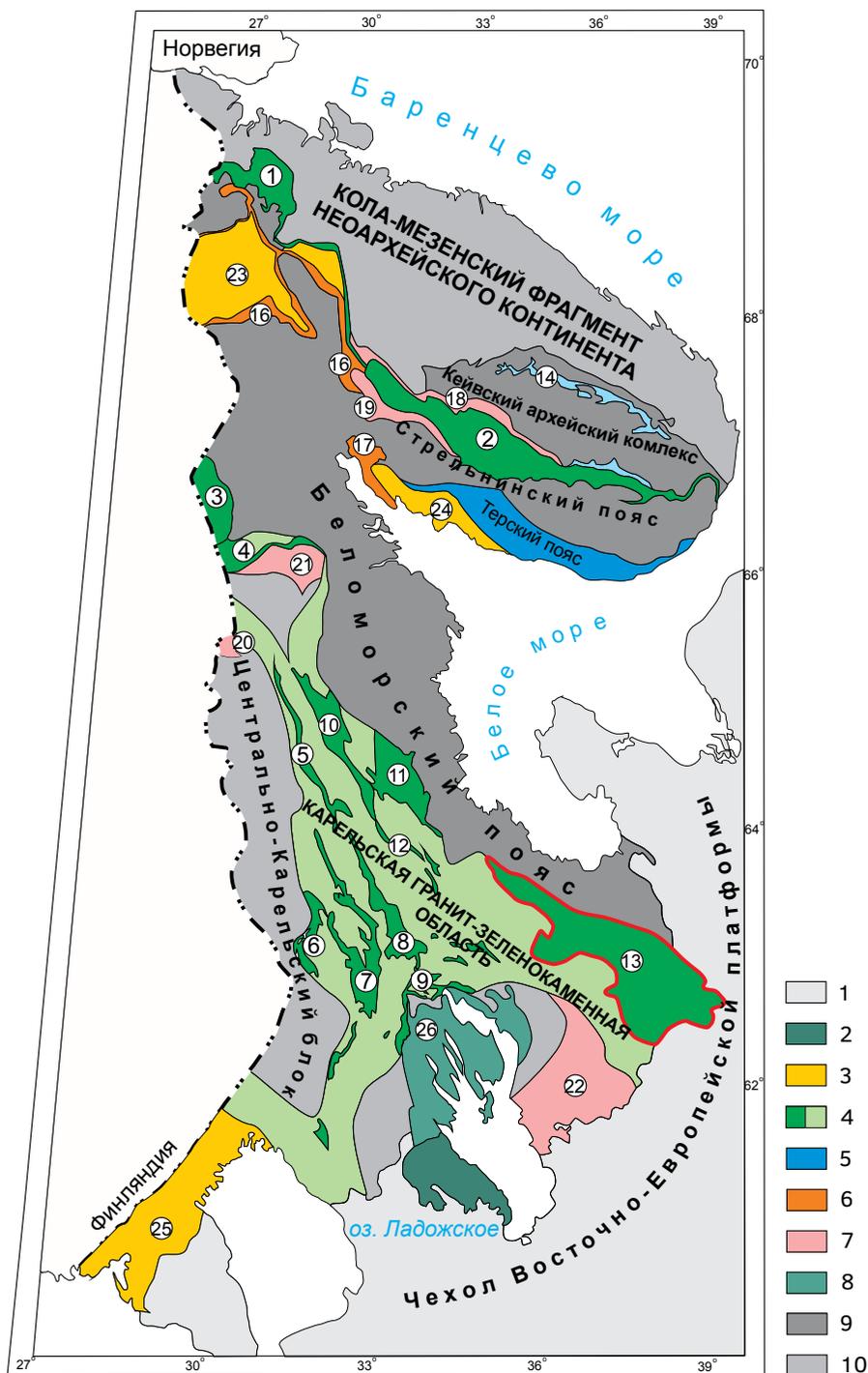


Рис. 2. Геологическая схема главных тектонических подразделений палеопротерозоя Фенноскандинавского щита по [27] с упрощениями: 1 — осадочный чехол Восточно-Европейской платформы; 2 — Прионежская впадина; 3 — тектонические покровы; 4 — тектонические пластины чешуйчато-надвиговых ансамблей (темно-зеленый — палеопротерозойские, светло-зеленый — архейские); 5 — тектонические пластины, образованные палеопротерозойскими ортогнейсами; 6 — пояса расслоенных габбро-анортозитов; 7 — пояса расслоенных мафит-ультрамафитов; 8 — вулканогенно-осадочные комплексы пассивной окраины преобразованной в чешуйчато-надвиговые ансамбли; 9 — автохтонные и параавтохтонные неархейские комплексы; 10 — неархейские комплексы, переработанные в палеопротерозое. Цифрами в кружках показаны следующие структуры: 1 — Печенга; 2 — Имандра-Варзуга; 3 — Куоляярви; 4 — Кусамо-Паанаярви; 5 — Чирка-Кемь;

6 — Лубосалма; 7 — Янгозеро-Маслозеро; 8 — Сегозеро-Елмозеро; 9 — Кумса; 10 — Шомбозеро; 11 — Лехта; 12 — Компаковская; 13 — Ветренный пояс; 14, 15 — большие и малые Кейвы. Пояса расслоенных интрузий: 16 — Яврозеро; 17 — Колвицкий; 18 — Монча-Пана; 19 — Имандра; 20 — Койлисмаа; 21 — Оланаа; 22 — Бураковский. Тектонические покровы: 23 — Лапландский пояс; 24 — Колвица-Умбинский пояс; 25 — Южнофинляндский пояс. 26 — Онежская структура

Fig. 2. Geological scheme of the main Paleoproterozoic tectonic subdivisions of the Fennoscandian Shield [27] with simplifications: 1 — sedimentary cover of the East-European Platform; 2 — Prionezhskaya depression; 3 — tectonic covers; 4 — tectonic plates of scale-overthrust ensembles (dark green — Palaeoproterozoic, cool green — Archean); 5 — tectonic plates formed by Palaeoproterozoic orthogneisses; 6 — belts of stratified gabbro-anorthosite; 7 — belts of stratified mafic-ultramafic; 8 — volcanogenic-sedimentary complexes of the passive margin transformed into scaly thrust ensembles; 9 — autochthonous and para-autochthonous Neoarchean complexes; 10 — Neoarchean complexes reworked in the Paleoproterozoic. Figures in circles show the following structures: 1 — Pechenga; 2 — Imandra-Varzuga; 3 — Kuolayarvi; 4 — Kusamo-Panayarvi; 5 — Chirka-Kem; 6 — Lubosalma; 7 — Yangozero-Maslozero; 8 — Segozero-Yelmozero; 9 — Kumsa; 10 — Shombozero; 11 — Lekhta; 12 — Kompakovskaya; 13 — Vetreny Belt; 14, 15 — large and small Keivas. Belts of stratified intrusions: 16 — Yavrozzero; 17 — Kolvitsky; 18 — Moncha-Pana; 19 — Imandra; 20 — Koilismaa; 21 — Olanaa; 22 — Burakovsky. Tectonic covers: 23—Lapland belt; 24 — Kolvitsa-Umba belt; 25 — South Finlandland belt. 26 — Onega structure

по-прежнему омолаживает верхнюю часть разреза Ветреного пояса [5]. Однако в опубликованных материалах Куликова В.С. и др. от 2011 г. весь комплекс структуры относится к сумийскому надгоризонту, что было подтверждено новыми, надежными изотопными данными [13].

В 2016 году вышла работа Пухтеля И.С., в которой он подтвердил раннепротерозойский (сумийский) возраст коматиитовых базальтов Re-Os методом — 2407 ± 6 млн лет [35]. Рядом исследователей были предприняты попытки выделения монофракции циркона из коматиитовых базальтов для проведения прецизионного изотопного датирования U-Pb методом SIMS-SHRIMP-II, однако был получен более древний (архейский) возраст [4, 32], который, вероятно, характеризует ксеногенную природу циркона за счет коровой контаминации [1, 8, 21]. Авторами также была предпринята попытка выделения монофракции циркона из плагиобазальтов средней части разреза; конкордантный возраст по двум зернам составил 2856 ± 8 млн лет. Скорее всего, данные зерна были захвачены в процессе ассимиляции. Корреляция Ветреного пояса с другими стратотипическими структурами палеопротерозоя Фенноскандинавского щита во многом была основана на хронособытийном подходе [22, 23], используя надежные датировки планетарных событий. К ним относятся событие Ломагунди, во время которого накапливались карбонатные толщи с тяжелым углеродом, характерные для ятулийского времени, или феномен «Шуньга», во время которого стали накапливаться толщи, существенно обогащенные органическим веществом и типичные для людиновия. Комплекс Ветреного пояса хорошо укладывается в общепринятые модели таких разрезов. Например, в составе кожозерской свиты

присутствуют карбонаты, представленные сланцами по известнякам, местами мраморами по доломитам; в составе вышележащей виленгской свиты присутствуют металевролиты и метапелиты с тонко рассеянным углеродистым веществом органического происхождения. Данные особенности существенно сближают середину разреза структуры с более молодыми надгоризонтами палеопротерозоя, однако имеющиеся на сегодня ограничения возраста по завершающему этапу вулканизма противоречат такой стратиграфической последовательности при условии ненарушенного залегания.

Вклад авторов

Многие исследователи Ветреного пояса основное внимание уделяют вулканитам коматиитовой серии, оставляя без внимания осадочную составляющую разреза структуры. Нами был изучен изотопный U-Pb возраст зерен детритового циркона из всех осадочных уровней разреза Ветреного пояса методом LA-ICP-MS. Самый молодой возраст по единичным зернам циркона был получен из аркозовых метапесчаников кожозерской свиты — 2464 ± 10 млн лет, а самый молодой циркон из метапесчаников виленгской свиты имел возраст 2494 ± 73 млн лет [25], что может отвечать нижнему пределу осадконакопления и характеризовать принадлежность разреза к сумийскому надгоризонту, однако небольшая популяция зерен с молодым возрастом не позволяет в полной мере это утверждать.

Большое количество изотопно-геохронологических данных (рис. 3) по вулканитам, завершающим разрез структуры, однозначно подтверждает сумийский возраст Ветреного пояса. Предположить иную возрастную последовательность разреза

Акротема	Зонотема	Комплекс	Надгоризонт	Колонка	Мощность, м	Характеристика пород	Возраст, млн лет	Метод	Порода	Источник			
Протерозой	Нижний	Карелийский	Сумийский		4000	Свита ветренный пояс. Коматиитовые metabазальты, туффиты среднего и основного состава	2415±5 2407±6 2410±34 2424±178 2448±42 2449±35 2405±5 2441±24 2801±16 2100-2200	Sm-Nd (Вал+Ол+Пи) Re-Os (изохрона) Sm-Nd (Вал+Ав+Пж+Ол) Pb-Pb (изохрона) Sm-Nd (Вал) Sm-Nd (Вал+Пи+Ол+Пл) U-Pb (Zr ID-TIMS) U-Pb (Zr кайма n=1 SHRIMP-II) U-Pb (Zr ядро ксеног. SHRIMP-II) K-Ar (Вал)	Коматиитовый базальт	[9] [35] [34] [34] [30] [34] [20] [32] [32] [3]			
				1200-1500	Виленгская свита. Песчаники с прослоями алевролитов и обломками кремнистых сланцев, светло-серые кремнистые породы, алевролиты с метапелитами, тонкослоистые темные кремнистые сланцы, метапесчаники, в верхах карбонат-хлорит-альбит-кварцевые сланцы	2494±73 2751±7 2823±5 2873±12	U-Pb (dZr) LA-ICP-MS n=2 U-Pb (dZr) LA-ICP-MS n=38 U-Pb (dZr) LA-ICP-MS n=31 U-Pb (dZr) LA-ICP-MS n=17	Метапесчаник	[25] [19] [19] [19]				
				400-600	Кожозерская свита. Зеленые сланцы по туфам, мраморизованные карбонатные. Потоки порфировых метаплагиобазальтов, мелко-среднезернистые метапесчаники с обломками гранитоидов	2464±10 2761±8 2829±8 2851±7 2854±7 2848±7	U-Pb (dZr) LA-ICP-MS (n=1) U-Pb (Zr) LA-ICP-MS ксеног.	Метапесчаник Метабазальт	[25] н.р.				
				250	Калгачинская свита. Конгломераты с аргиллитовым или алевролитовым цементом, с галькой гранитного и основного состава	2876±16 2934±19 2859±16	U-Pb (dZr) LA-ICP-MS цемент (n=26, 17) U-Pb (dZr) LA-ICP-MS галька (n=35)	Конгломерат Конгломерат	[25] [25]				
				700-1000	Киричская свита. Метандезиты и метандезитобазальты с прослоями туфов. В основании коматиитовые metabазальты	2437±3 2704±10 2991±12 2662-2751 2817-2863 2379-2440 2693-2767	U-Pb (Zr) n=3 U-Pb (Zr ксеног.) (SHRIMP-II) U-Pb (Zr ксеног.) (SHRIMP-II) n=7 U-Pb (Zr ксеног.) (LA-ICP-MS) n=26 U-Pb (Zr ксеног?) (SHRIMP-II) n=2,5	Дациит Андезитобазальт	[34] [4] [4] [21] [9]				
				300-1500	Токшинская свита. Кварциты, кварцевые гравелиты, полимиктовые песчаники, в основании конгломераты	2755±2 2824±5 2919±8 3148-3364	U-Pb (dZr) LA-ICP-MS (n=34) U-Pb (dZr) LA-ICP-MS (n=38) U-Pb (dZr) LA-ICP-MS (n=12) U-Pb (dZr) LA-ICP-MS (n=4)	Кварцитопесчаник	[20] [20] [20] [20]				
				Архей					Метаморфические комплексы Карельской гранит-зеленокаменной области				

★ Пробы и их номера, отобранные авторами в ходе изучения Ветренного пояса. Zr — циркон, dZr — детритовый циркон, Пи — пироксен, Ол — оливин, Пл — плагиоклаз, Пж — пижонит, Ав — авгит, Вал — валовая проба

Рис. 3. Сводный разрез Ветренного пояса по [13] с дополнениями

Fig. 3. Summary section of the Vetryny Belt according [13] with additions

возможно только при условии нарушенного залегания, что характерно для многих докембрийских структур, претерпевших многократные тектонические деформации. Впервые полученные изотопно-геохронологические данные по детритовому циркону (dZr) из всех метаосадочных уровней Ветреного пояса позволяют сделать вывод о том, что процессы седиментации в раннем протерозое на юго-востоке Фенноскандинавского щита происходили в спокойной тектонической обстановке, в условиях развивающегося рифта. На это указывают схожие возрастные популяции dZr по всему разрезу (рис. 3), характеризующие одинаковые источники сноса, при несущественном изменении эрозионного среза. В кварцитопесчаниках базальной токшинской свиты основные популяции циркона показали полимодальное распределение со средневзвешенными пиками 2755, 2824, 2919 млн лет и единичными более древними возрастными. Для гальки гранитоидного состава в конгломератах калгачинской свиты определен возраст 2859 ± 16 млн лет. Циркон из цемента имеет два основных пика: 2876 и 2934 млн лет. В метапесчаниках кожозерской свиты установлено унимодальное распределение с возрастом 2761 млн лет. Для метатерригенных пород виленгской свиты характерно полимодальное распределение с основными пиками 2751, 2823, 2873 млн лет.

Изучение карбонатсодержащих пород кожозерской свиты не показало аномально высоких значений тяжелого углерода, характерных для события Ломагунди ятулийского времени (2200—2100 млн лет). Содержание $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ (-0,9...-1) не позволяет коррелировать карбонатсодержащие сланцы средней части разреза Ветреного пояса (кожозерская свита) с аналогичными породами ятулийского уровня в других структурах Фенноскандинавского щита (Онежская, Лехтинская, Шомбозерская и др.).

Метабазальты, завершающие разрез Ветреного пояса, имеют ряд особенностей. Впечатляют объемы вулканизма: согласно предварительной оценке гравиметрических данных, мощность вулканитов в северо-западной части структуры достигает 4000 м [24]. Учитывая уровень эрозионного среза и возраст пород (2,4 млрд лет), изначальная мощность была больше. Вулканиты Ветреного пояса обладают уникальным петрографо-геохимическим составом и не укладываются в номенклатуры петрографического кодекса [16]. При низких для коматиитовой серии содержаниях MgO (9—18%) породы обладают структурой спинифекс хорошей сохранности. В некоторых кумулятивных частях лавовых

потоков сохраняются реликты первичных минералов, прежде всего пироксена и оливина, что обусловлено минимальными преобразованиями пород в условиях низких ступеней метаморфизма, не выше зеленосланцевой фации [15]. Подобная сохранность глубинных минералов позволяет изучать эволюцию мантии с применением современных прецизионных методов [1].

Узкий временной диапазон распространения пород коматиитовой серии и их принадлежность к докембрию, преимущественно архею, объясняет дефицит имеющихся на сегодняшний день данных об условиях образования коматиитов. Такие породы, являясь продуктом чрезвычайно высокотемпературных магм, быстро подвергаются ассимиляции окружающими породами, что влияет на конечный состав пород после кристаллизации.

Для получения информации о составе исходных (первичных) магм необходимо статистическое изучение содержаний летучих компонентов и воды, сосредоточенных в расплавных включениях, которые были захвачены наиболее ранними минеральными фазами при кристаллизации. На сегодняшний день имеется ограниченное количество работ по изучению расплавных включений в коматиитах, однако получение новых данных позволит не только установить составы исходных расплавов, но и установить режимы образования коматиитовых магм, тем самым дополнив сведения о составе и эволюции древней мантии [1, 2, 36].

Для моделирования скорости остывания расплава повторно проведен эксперимент В.С. Куликова по плавлению пород свиты ветреного пояса [26]. В качестве исходного материала взяты образцы коматиитовых базальтов с содержанием MgO более 18%, отобранные на г. Голец (северо-западная часть Ветреного пояса). В ходе проведения нескольких экспериментов наиболее благоприятными условиями для кристаллизации структур спинифекс было плавление при температурах 1300 градусов в печи, далее корундовый тигель с расплавом постепенно остывал внутри камеры. Петрографическое изучение полученной закристаллизованной породы позволило установить структуры спинифекс, напоминающие «соцветие» (рис. 4). Анализ состава минеральных фаз на электронном микроскопе показал, что удлиненные пластинчатые кристаллы отвечают авгиту, а по центру расположен хромшпинелид, послуживший затравкой для роста минералов группы пироксена. Материал основной массы обеднен кремнеземом и железом, обогащен алюминием, кальцием и натрием и соответствует

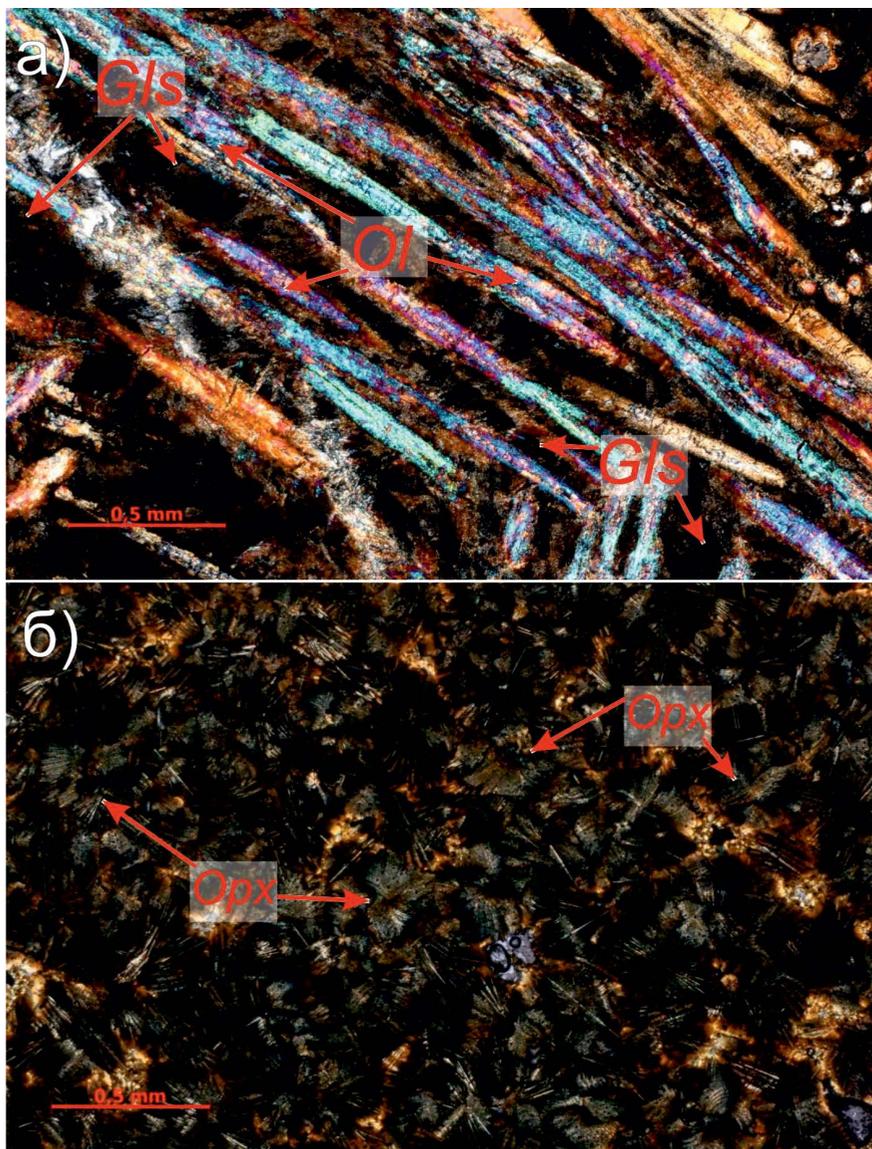


Рис. 4. Структуры спинифекс: а — оливиновый спинифекс в коматиитовых базальтах Ветренного пояса (г. Голец); б — пироксеновый спинифекс, полученный экспериментальным путем при плавлении коматиитового базальта, отобранного с г. Голец

Fig. 4. Spinifex structures: a — olivine spinifex in komatiite basalts of the Vetryny Belt (Golets); б — pyroxene spinifex obtained experimentally by melting of komatiite basalt sampled from Golets

вулканическому стеклу [26]. Следует отметить, что при более быстром остывании расплава в воздушной или водной среде структуры спинифекс не образовались.

Эксперименты по плавлению аналогичных пород коматиитовой серии Кольской провинции ранее проводились В.Ф. Смолькиным и др. [31]. При температуре 1400–1390 °С наблюдался интенсивный рост первой фазы оливина, образованной спинифексподобной структурой. При снижении температуры кристаллизовался

оливин идиоморфной конфигурации, дипирамидального габитуса. Позже, при температурах 1250 °С, к нему присоединялся шпинелид кубооктаэдрической морфологии.

Для подтверждения существующих датировок коматиитового вулканизма были изучены породы комагматичного расслоенного интрузива Руйга (габбро-норитовая часть) [17]. Полученный авторами U-Pb возраст по циркону, определенный методом TIMS в лаборатории КНЦ РАН, составил 2415 ± 11 млн лет. Также было выделено

единичное зерно циркона из раскристаллизованной части лавового потока коматиитовых базальтов на г. Голец, его возраст аналогичным методом показал 2405 ± 5 млн лет [20].

Заключение

Несмотря на длительную историю геологического изучения структуры Ветреный пояс, на сегодняшний день остаются актуальные и важные вопросы о положении его стратиграфических подразделений, что требует уточнения. Для возможного решения данного вопроса авторы предлагают обратить внимание на плагиобазальты в составе кожозерской свиты, а также дайки габбро-долеритов, слагающих дайковый пояс, приуроченный к полям развития пород виленгской свиты. Всестороннее изучение комплексов структуры прецизионными методами с получением надежных

изотопных данных по указанным выше объектам, возможно, поможет разобраться в стратиграфии Ветреного пояса.

Наличие в разрезе коматиитовых пород, обладающих уникальным петрохимическим составом с хорошей степенью сохранности первичных структур и минералов не встречаются (или в значительной степени переработаны наложенными тектоно-метаморфическими процессами) в других докембрийских структурах на территории Российской Федерации. Высокая сохранность первичных магматических минеральных фаз дает возможность получать уникальную информацию для реконструкции режимов генерации коматиитовых магм и изучать эволюцию древней мантии Земли. Это позволяет предложить Ветреный пояс в качестве геологического памятника природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асафов Е.В., Кошлякова А.Н., Соболев А.В., Тобелко Д.П., Батанова В.Г., Пухтель И.С., Межеловская С.В. Состав расплавов коматиитовых базальтов Ветреного пояса (Карелия) по данным изучения расплавных включений в оливине // Мат-лы Всеросс. ежег. семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2023): ГЕОХИ РАН. М., 2023. С. 6.
2. Асафов Е.В. Условия образования и кристаллизации коматиитов: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2019.
3. Богачев А.И., Куликов В.С., Пекуров А.В., Слюсарев В.Д. Новые данные по геологии и магматизму синклинойной зоны Ветреного пояса. — В кн. «Вулканогенные и гипербазитовые комплексы протерозоя Карелии». Петрозаводск, Карельск. кн. изд-во. 1968. 289с.
4. Богданов Ю.Б., Анисимова С.А., Бережная Н.Г. Новые данные о возрасте вулканитов сумия Карелии // Материалы VIII Российской конференции по проблемам геологии докембрия «Стратиграфия докембрия: проблемы и пути решения». СПб.: Своё издательство, 2023. С. 22-25.
5. Богданов Ю.Б., Робонен В.И. Результаты деятельности региональной межведомственной стратиграфической комиссии по северо-западу России (1984—2010) // Геология Карелии от архея до наших дней. ИГ КарНЦ РАН. ВСЕГЕИ, 2011. С. 65.
6. Вулканогенные и гипербазитовые комплексы протерозоя Карелии: сб. статей / Научн. ред. канд. геол.-минерал. наук А.И. Богачев. Петрозаводск: Карел. кн. изд-во, 1968. 293 с.: ил.; 27 см. (Труды Института геологии/ Карел. филиал АН СССР; Вып. 1).
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Карельская. Листы Р-37-I (Маленьга), Р-37-VII (Сергиево). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. 94 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Карельская. Лист Р-37-XV (Поча). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2023. 209 с.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Серия Карельская. Лист Р-37-IX (Скарлахта). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2023. 148 с.
10. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1: 1 000000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35),36 Петрозаводск. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.
11. Карбасников М.Н. Ветреный пояс. Л., 1940. 58 с., 4 л. карт.: карт.; 22 см. (Труды по географии Севера Европейской части СССР / Географо-экон. науч.-исслед. ин-т Ленингр. гос. ун-та; Ч. 1).
12. Куликов В.С., Калинин Ю.К. Экспериментальное воспроизведение некоторых структур базальтов Ветреного пояса // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. Петрозаводск, 1971. Вып. 7а. С. 168—173.
13. Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В. Ветреный пояс: тектоно- и петротип палеопротерозоя Юго-Восточной Фенноскандии // Геология Карелии от архея до наших дней. Материалы докладов Всеросс. конф., посвященной 50-летию Института геологии Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2011. С. 91—103.
14. Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В. Коматиитовый магматизм в Карелии: история открытия, основные характеристики, проблемы изучения // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика. Материалы Междунар.

- конф., посвященной 60-летию КарНЦ РАН. Секция «Науки о Земле». Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2006. С. 280—282.
15. Куликов В.С., Куликова В.В., Светова А.И., Раевская М.Б., Горьковец В.Я., Вяхирев С.А., и др. Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита / ИГ Карельск. фил. АН СССР. Л.: Наука, 1988, 192 с.
 16. Куликова В.В. и др. Петрохимические серии магматических пород: (анализ состояния и проблемы систематизации, предпочтительные модули химических элементов, новые направления). Карел. науч. центр Рос. акад. наук, Ин-т геологии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2001. С. 114.
 17. Куликова В.В., Куликов В.С., Бычкова Я.В. 2007. К вопросу о вулканоплутонической системе «вулкан Голец — интрузив Руйга». Геология и полезные ископаемые Карелии. Тр. КарНЦ РАН. Вып. 10: с. 69—81.
 18. Межеловская С.В. Особенности геологического строения и время формирования осадочно-вулканогенного комплекса Ветреного пояса: юго-восток Балтийского щита: дис. ... геол.-мин. наук. М., 2016. С. 211.
 19. Межеловская С.В., Асафов Е.В., Кошлякова А.Н., Тобелко Д.П., Межеловский А.Д. Изотопно-геохронологическая характеристика метаосадочных пород виленгской свиты, Ветренный пояс // Материалы 55-го тектонического совещания «Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы — 2024», Том 2. М.: ГЕОС, 2024, с. 24-28.
 20. Межеловская С.В., Корсаков А.К., Межеловский А.Д., Бибикина Е.В. Временной диапазон формирования осадочно-вулканогенного комплекса Ветреного пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 2. С. 1—14.
 21. Межеловская С.В., Межеловский А.Д. Ксеногенные цирконы в разрезе Ветреного пояса как признак коровой контаминации в палеопротерозое юго-востока Фенноскандинавского щита // Разведка и охрана недр. 2019. № 3. С. 38—42.
 22. Межеловская С.В., Межеловский А.Д. Особенности корреляции палеопротерозойских (сумийско-людиковийских) комплексов Балтийского щита // Мат-лы XIII науч. чтений, посвященных памяти профессора Михаила Владимировича Муратова «Проблемы региональной геологии северной Евразии». М.: Парадигма, 2022. С. 52—57.
 23. Межеловская С.В., Межеловский А.Д. Палеопротерозойская структура, Ветренный пояс: нерешенные вопросы // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 5. С. 99—102.
 24. Межеловский А.Д. Блоковое строение Ветреного пояса (юго-восток балтийского щита): дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2011. С. 184.
 25. Межеловский А.Д., Межеловская С.В. Ветренный пояс: сумийский рифтогенез // Разведка и охрана недр. 2022. № 2. С. 27—36.
 26. Межеловский А.Д., Ульянов Д.К. Результаты экспериментального плавления коматиитовых базальтов свиты Ветреного пояса // Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). Мат-лы Междунар. науч.-практич. конф. 2018. С. 81—83.
 27. Минц М.В. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС. 2010. Т.2. 400с.
 28. Новикова А.С. Тектоника основания Восточно-Европейской платформы. Труды ГИН, вып. 237. М.: «Наука», 1971. С. 81.
 29. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. — Изд. 2. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — 200 с.
 30. Пухтель И.С., Журавлев Д.З., Куликова В.В., Самсонов А.В., Симон А.К. Коматииты Водлозерского блока (Балтийский щит) // Докл. АН СССР, 1991, т. 317, № 1, с. 197—202.
 31. Смолькин В.Ф. Коматиитовый и пикритовый магматизм раннего докембрия Балтийского щита. СПб.: Наука, 1992. 272 с.
 32. Смолькин В.Ф., Шарков Е.В., Лохов К.И., Капитонов И.Н., Сергеев С.А. Генезис высокомагнезиальных вулкаников Ветреного пояса палеопротерозоя по данным исследований U-Pb- и Lu-Hf систем в цирконах (Восточная Карелия) // ДАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 528—533.
 33. Nesbitt R.W. Skeletal crystal forms in the ultramafic rocks of the Yilgarn Block, Western Australia: evidence for an Archean ultramafic liquid. // Geol.Soc. Aust. Spec. Publ., 1971. No. 3.
 34. Puchtel I.S., Haase K.M., Hofmann A.W., Chauvel C., Kulikov V.S., Garbe-Schnberg C.D., Nemchin A.A. Petrology and geochemistry of crustally contaminated komatiitic basalts from the Vetryny Belt, southeastern Baltic Shield: evidence for an early Proterozoic mantle plume beneath rifted Archean continental lithosphere // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. Vol. 61. P. 1205—1222.
 35. Puchtel I.S., Touboul M., Blichert-Toft J., Walker R.J., Brandon A.D., Nicklas R.W., et al. Lithophile and siderophile element systematics of Earth's mantle at the Archean-Proterozoic boundary: Evidence from 2.4 Ga komatiites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2016. Vol. 180. P. 227—255.
 36. Sobolev A.V., Arndt N.T., Batanova V.G., Asafov E.V., Portnyagin M.V., Krashennikov S.P., Gurenko A.A., Garbe-Schönberg D. Komatiites reveal a hydrous-archaeo-deep-mantle reservoir // Nature. 2016. Vol. 531. No. 7596. P. 628—632.

REFERENCES

1. Asafov E.V., Koshlyakova A.N., Sobolev A.V., Tobelko D.P., Batanova V.G., Puchtel I.S., Mezhelovskaya S.V. Composition of melts of komatiite basalts of the Vetreny belt (Karelia) according to the study of melt inclusions in olivine // Report of All-Russian annual seminars on experimental mineralogy, petrology and geochemistry. Moscow. 2023. 6 p. (In Russian).
2. Asafov E.V. Conditions of formation and crystallisation of komatiites. Diss. dokt. geol.-min. nauk. Moscow. 2019. 337 p. (In Russian).
3. Bogachev A.I., Kulikov V.S., Pekurov A.V., Slyusarev V.D. New data of the geology and magmatism of the syncline zone of the Vetreny belt. Volcanogenic and hyperbasite complexes of the Proterozoic of Karelia. Petrozavodsk: Karelian book Publ., 1968. 289 p. (In Russian).
4. Bogdanov Y.B., Anisimova S.A., Berezhnaya N.G. New data on the age of volcanics of the Karelian Sumia volcanics. Theses of VIII Russian Conference on Precambrian Geology "Precambrian Stratigraphy: Problems and Solutions". St. Petersburg Publ., 2023, pp. 22—25. (In Russian).
5. Bogdanov Y.B., Robonen V.I. Results of the Regional Interdepartmental Stratigraphic Commission for North-West Russia (1984—2010). Geology of Karelia from the Archean to the present day. Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2011. 65 p. (In Russian).
6. Volcanogenic and hyperbasite complexes of the Proterozoic of Karelia: collection of articles / Edited by A.I. Bogachev, Cand. Sc. of Geological and Mineral. Petrozavodsk: Karelian Book Publishing House, 1968. 293 p. (Proceedings of the Institute of Geology/Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences; Vol. 1).
7. The 1: 200 000 State Geological Map of the Russian Federation (1rd ed.) Ser. Karelian. Sheets P-37-I (Malenga), P-37-VII (Sergievo). Explanatory Note (Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2001) (In Russian).
8. The 1: 200 000 State Geological Map of the Russian Federation (2rd ed.) Ser. Karelian. Sheet P-37-XV (Pocha). Explanatory Note (Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2023) (In Russian).
9. The 1: 200 000 State Geological Map of the Russian Federation (2rd ed.) Ser. Karelian. Sheet P-37-IX (Skarlahta). Explanatory Note (Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2023) (In Russian).
10. The 1: 200 000 State Geological Map of the Russian Federation (1rd ed.) Ser. Baltic. Sheet P-(35),36 Petrozavodsk. Explanatory Note (Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2015) (In Russian).
11. Karbasnikov M.N. Vetreny belt. L., 1940. 58 p. (Works on the geography of the North of the European part of the USSR / Geografo-ekon. scientific research institute of the Leningr. state university; Ch. 1). (In Russian).
12. Kulikov V.S., Kalinin Yu.K. Experimental reproduction of some structures of basalts of the Vetreny belt basalts. Mineralogy and geochemistry of the Precambrian of Karelia. Petrozavodsk Publ., 1971. no.7a. pp.168—173 (In Russian).
13. Kulikov V.S., Kulikova V.V., Bychkova Y.V. Vetreny belt: tectono- and petrotype of the Palaeoproterozoic of South-Eastern Fennoscandia. Geology of Karelia from the Archean to the present day. Theses of reports of the All-Russian Conf. dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Geology of the Karelian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. Petrozavodsk Publ., 2011. pp. 91—103 (In Russian).
14. Kulikov V.S., Kulikova V.V., Bychkova Y.V. Komatiite magmatism in Karelia: history of discovery, main characteristics, problems of study // Northern Europe in the XXI century: nature, culture, economy. Theses of the International Conf. devoted to the 60th anniversary of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. Section «Earth Sciences». Petrozavodsk: Izd-vo KarRC RAS, 2006. 280—282 p. (In Russian).
15. Kulikov V.S., Kulikova V.V., Svetova A.I., Raevskaya M.B., Gorkovets V.Ya. Komatiites and high-magnesian volcanics of the Early Precambrian of the Baltic Shield. Karelian branch of the USSR Academy of Sciences. Nauka Publ., 1988, 192 p. (In Russian).
16. Kulikova V.V. et al. Petrochemical series of igneous rocks: (analysis of the state and problems of systematisation, preferred modules of chemical elements, new directions). Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Institute of Geology. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2001. 114 p. (In Russian).
17. Kulikova V.V., Kulikov V.S., Bychkova Y.V. On the issue of the volcanic-plutonic system «Golets volcano — Ruiga intrusion». Geology and mining resources of Karelia. Karelian Centre of RAS. no.10. 2007. pp. 69—81 (In Russian).
18. Mezhelovskaya S.V. Peculiarities of the geological structure and time of formation of the sedimentary-volcanogenic complex of the Vetreny Belt: south-east of the Baltic Shield. Diss. dokt. geol.-min. nauk. Moscow. 2016, 211 p. (In Russian).
19. Mezhelovskaya S.V., Asafov E.V., Koshlyakova A.N., Tobelko D.P., Mezhelovsky A.D. Isotope-geochronological characterisation of meta-sedimentary rocks of the Vilenga Formation, Vetreny belt. Theses of Tectonic Conference «Tectonics and Geodynamics of the Earth's Crust and Mantle: Fundamental Problems — 2024», Vol. 2. Moscow Publ., 2024, pp. 24—28 (In Russian).
20. Mezhelovskaya S.V., Korsakov A.K., Mezhelovskii A.D., Bibikova E.V. Age range of formation of sedimentary-volcanogenic complex of the Vetreny Belt (the south-east of the Baltic Shield). Stratigr. Geol. Correl. 2016, 24, pp.105—117 (In Russian).
21. Mezhelovskaya S.V., Mezhelovsky A.D. Xenogenic zircons in the Vetreny belt section as a sign of crustal contamination in the Palaeoproterozoic of the south-eastern Fennoscandinavian Shield. Prospect and protection of mineral resources. 2019. no.3. pp. 38—42 (In Russian).
22. Mezhelovskaya S.V., Mezhelovsky A.D. Peculiarities

- of correlation of the Paleoproterozoic (Sumian-Ludikovian) complexes of the Baltic Shield. Theses of XIII Scientific Readings in Memory of Professor Mikhail Vladimirovich Muratov «Problems of Regional Geology of Northern Eurasia». Moscow Publ., 2022. pp. 52—57 (In Russian).
23. Mezhelovskaya S.V., Mezhelovskiy A.D. Vetreny belt paleoproterozoic structure: unresolved issues // Proceedings of the Karelian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. 2022. N 5. P. 99—102 (In Russian).
 24. Mezhelovsky A.D. Block structure of the Vetreny Belt (south-east of the Baltic Shield). Diss. dokt. geol.-min. nauk. Moscow. 2011. 184 p. (In Russian).
 25. Mezhelovsky A.D., Mezhelovskaya S.V. Vetreny belt: Sumian riftogenesis. Prospect and protection of mineral resources. 2022. no.2. pp. 27—36 (In Russian).
 26. Mezhelovsky A.D., Ulyanov D.K. Results of experimental melting of komatiite basalts of the Vetreny belt Formation. Strategy of development of geological study of subsoil: present and future (to the 100th anniversary of MGRI-RGGRU). Theses of International scientific-practical conf. 2018. pp. 81—83 (In Russian).
 27. Mints M.V., Suleimanov A.K., Babayants P.S., et al. Deep structure, evolution and mineral deposits of the Early Precambrian basement of the East European Platform: interpretation of the materials on the 1-EU geotraverse and profiles 4B and TATSEIS (GEOKART, Geos, Moscow, 2010), Vol. 1/2 (in Russian).
 28. Novikova A.S. Basement tectonics of the East European Platform. Moscow, Nauka Publ., 1971. 81 p. (In Russian).
 29. Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact rock-assemblages (2nd ed.). Vseross. Nauchno-Issled. Geol. Inst., St. Petersburg, 2008. 200 p. (In Russian).
 30. Puhtel' I. S., Zhuravlev D. Z., Kulikova V. V., Samsonov A.V., Simon A. K. Komatiiti Vodlozerskogo bloka (Baltiiskij shhit) [Komatiites of the Vodlozero block (Baltic Shield)]. DAN SSSR [Proceedings of the USSR Academy of Sciences]. 1991. Vol. 317, no. 1. P. 197—202 (In Russian).
 31. Smol'Kin V.F. Komatiite and picrite magmatism of the Early Precambrian of the Baltic Shield. St. Petersburg, Nauka Publ., 1992. 272 p. (in Russian).
 32. Smol'Kin V.F., Sharkov E.V., Lokhov K.I., Kapitonov I.N., Sergeev S.A. Genesis of high-magnesium volcanic rocks of the paleoproterozoic Vetrennyi belt (Eastern Karelia): evidence from the study of U-Pb and Lu-Hf systems in zircons // DES. 2011. Vol. 439. N 4. P. 528—533 (In Russian).
 33. Nesbitt R.W. Skeletal crystal forms in the ultramafic rocks of the YilgarnBlock, Western Australia: evidence for an Archean ultramafic liquid. -Geol.Soc. Aust. Spec. Publ., 1971.No. 3 (In Russian).
 34. Puchtel I.S., Haase K.M., Hofmann A.W., Chauvel C., Kulikov V.S., Garbe-Schnberg C.D., Nemchin A.A. Petrology and geochemistry of crustally contaminated komatiitic basalts from the VetrenyBelt, southeastern Baltic Shield: evidence for an early Proterozoic mantle plume beneath rifted Archean continental lithosphere//Geochim. CosmochimActa. 1997. Vol. 61. P. 1205—1222.
 35. Puchtel I.S., Touboul M., Blichert-Toft J., Walker R.J., Brandon A.D., Nicklas R.W., et al. Lithophile and siderophile element systematics of Earth's mantle at the Archean-Proterozoic boundary: Evidence from 2.4 Ga komatiites //Geochimica et CosmochimicaActa. 2016. Vol. 180. P. 227—255.
 36. Sobolev A.V., Arndt N.T., Batanova V.G., Asafov E.V., Portnyagin M.V., Krashennnikov S.P., Gurenko A.A., Garbe-Schönberg D. Komatiites reveal a hydrousarchaean deep-mantle reservoir // Nature. 2016. T. 531. No. 7596. P. 628—632.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Межеловская С.В. — проанализировала фондовую и опубликованную литературу, разработала концепцию статьи, выделила ключевые этапы геологического изучения палеопротерозойской структуры Ветренный пояс, обозначила ряд нерешенных вопросов на сегодняшний день, требующих дальнейшего изучения, подготовила текст статьи. Окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Юшин К.И. — собрал и ознакомился с фондовой литературой по объекту исследования, разработал базу ретроспективных данных для дальнейшего использования, проанализировал опубликованные научные статьи, касающиеся структуры Ветренный пояс, оформил иллюстрации к статье и участвовал в подготовке итогового макета статьи. Окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sofia V. Mezhelovskaya — analysed the stock and published literature, developed the concept of the article, highlighted the key stages of geological study of the Paleoproterozoic structure of the VetrenyBelt, identified a number of unresolved issues to date that require further study, prepared the text of the article. Finalised the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Kirill I. Yushin — collected and familiarised himself with the stock literature on the object of research, developed a database of retrospective data for further use, analysed published scientific articles concerning the structure of the VetrenyBelt, designed illustrations for the article and participated in the preparation of the final layout of the article. Finalised the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Межеловский А.Д. — участвовал в подготовке статьи, разработал ее структуру, описал полученные новейшие данные при изучении структуры, включая личный вклад авторов. Занимался редактированием итогового макета. Окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexey D. Mezhelovsky — participated in the preparation of the article, developed its structure, described the latest data obtained during the study of the structure, including the personal contribution of the authors. He edited the final layout. Finalised the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Межеловская Софья Владимировна* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Тектоника консолидированной коры», ФГБУН «Геологический институт» Российской академии наук.
7, стр. 1, пер. Пыжевский, г. Москва 119017, Россия
e-mail: Mezhelsofya@gmail.com
тел.: +7 (916) 906-77-92
SPIN-код: 5624-8838
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-8507>

Sofia V. Mezhelovskaya* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Consolidated Crust Tectonics Laboratory, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.
7/1, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: mezhelsofya@gmail.com
tel.: +7 (916) 906-77-92
SPIN-code: 5624-8838
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-8507>

Юшин Кирилл Игоревич — аспирант ФГБОУ ВО «Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе», младший научный сотрудник лаборатории «Неотектоники и современной геодинамики», ФГБУН «Геологический институт» Российской академии наук.
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
7, стр. 1, пер. Пыжевский, г. Москва 119017, Россия
e-mail: yushin-kirill@mail.ru
SPIN-код: 2228-2419
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3299-5761>

Kirill I. Yushin — post-graduate researcher of Post-graduate student of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Junior Research Associate, Laboratory of Neotectonics and Modern Geodynamics, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
7/1, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: yushin-kirill@mail.ru
SPIN-code: 2228-2419
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3299-5761>

Межеловский Алексей Дмитриевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Общая геология и геокартирование» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: mezhelovskiyad@mgi.ru
SPIN-код: 8624-1909
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8527-0063>

Alexey D. Mezhelovsky — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor, Department of General Geology and Geomapping Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: mezhelovskiyad@mgi.ru
SPIN-code: 8624-1909
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8527-0063>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44>
УДК 504.5+551.24



ИНДИКАТОРЫ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ)

А.П. ГУСЕВ

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»
104, ул. Советская, г. Гомель 246028, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Современная геодинамическая активность проявляется в разломных зонах асейсмичных регионов в колебаниях флюидо-газового режима, что определяет важность газогеохимических индикаторов.

Цель. Диагностика современной геодинамической активности разломных зон Гомельской структурной перемычки на основе комплекса индикаторов (мощность четвертичных отложений, рельеф, гидрографическая сеть, аномалии водорода и метана).

Материалы и методы. Исследования современной активности разломных зон проводились индикационным и геохимическим методами (изучение подпочвенных газов и содержания метана в тропосфере).

Результаты. Изучена взаимосвязь разломных зон с особенностями морфолитогенной основы ландшафтов. По аномальной мощности четвертичных и размытости палеогеновых отложений обнаружены ледниковые ложбины, контролируемые зонами разломов (в северной и юго-западной частях Гомельской структурной перемычки). Зафиксированы газогеохимические аномалии в подпочвенном воздухе и подземных водах. Наземным газогеохимическим аномалиям соответствуют повышенные концентрации тропосферного метана.

Заключение. Газовые аномалии указывают на различную степень современной активности разломных зон. Наибольшая геодинамическая активность характерна для северной части Гомельской структурной перемычки.

Ключевые слова: активный разлом, геодинамическая активность, индикаторы, подпочвенный водород, тропосферный метан, Гомельская структурная перемычка

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гусев А.П. Индикаторы активных разломов (на примере Гомельской структурной перемычки). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):35—44. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44>

Статья поступила в редакцию 14.11.23

Принята к публикации 15.01.2024

Опубликована 29.04.2024

INDICATORS OF ACTIVE FAULTS ON THE EXAMPLE OF GOMEL STRUCTURAL BRIDGE

ANDREY P. GUSEV

*Francisk Skorina Gomel State University
104, str. Sovetskaya, Gomel 246028, Republic of Belarus*

ABSTRACT

Introduction. Modern geodynamic activity manifests itself in fault zones of aseismic regions as fluctuations in the fluid-gas regime, which determines the importance of gas geochemical indicators.

Aim. Diagnostics of the modern geodynamic activity of fault zones in the Gomel Structural Bridge based on a set of indicators (thickness of Quaternary deposits, relief, hydrographic network, hydrogen and methane anomalies)/

Materials and methods. Studies of the modern activity of fault zones were carried out by indication and geochemical methods (study of subsoil gases and methane content in the troposphere).

Results. The relationship between fault zones and the morpholithogenic basis of landscapes was studied. Based on the anomalous thickness of Quaternary deposits and erosion of Paleogene deposits, glacial troughs controlled by fault zones were discovered (in the northern and southwestern parts of the Gomel Structural Bridge). Gas-geochemical anomalies were recorded in the subsurface air and groundwater. The ground gas geochemical anomalies correspond to increased concentrations of tropospheric methane.

Conclusion. Gas anomalies indicate a different degree of modern activity of fault zones. The greatest geodynamic activity is typical of the northern part of the Gomel Structural Bridge.

Keywords: active fault, geodynamic activity, indicators, subsoil hydrogen, tropospheric methane, Gomel Structural Bridge

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

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

For citation: Gusev A.P. Indicators of active faults on the example of Gomel structural bridge. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):35—44. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44>

Manuscript received 14 November 2023

Accepted 15 January 2024

Published 29 April 2024

Для геологических условий Беларуси принято под активными разломами (или флексурно-разломными зонами) понимать линейно вытянутые пликативно-дизъюнктивные малоамплитудные нарушения, которые проявляются на неотектонической стадии и выражены в строении фундамента и осадочного чехла комплексом признаков: смещения и флексурные изгибы слоев, повышенная трещиноватость и проницаемость земной коры, геохимические и геофизические аномалии, особенности рельефа и гидрографической сети, сейсмичность, аномалии современных движений земной коры и т.д. [2].

Инструментально установлено, что к зонам активных разломов приурочены интенсивные локальные аномалии вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности. Эти аномальные движе-

ния характеризуются высокой амплитудой (50—70 мм/год), коротким периодом (0,1—1,0 года), пространственной локализацией (0,1—1 км), пульсационным и знакопеременным характером (суперинтенсивные деформации земной поверхности). При этом пространственно-временные характеристики суперинтенсивных деформаций идентичны как для сейсмоактивных, так и для асейсмичных регионов, например для Беларуси. Более того, интенсивность деформационного процесса в разломах асейсмичных регионов даже выше, чем в сейсмоактивных [7, 11].

Исследования на территории Припятского прогиба (юг Беларуси) показали, что даже в пределах одной разломной зоны пространственное распределение деформаций крайне неоднородно, имеет дискретный характер.

Предполагается, что аномальные деформационные процессы в зонах разломов, происходящие в обстановке квазистатических региональных полей напряжений, обусловлены флуктуациями параметров среды внутри самих разломов (т.е. разломная зона — параметрически возбудимая активная среда, нелинейный усилитель деформаций по [7, 11]).

Отмечена высокая динамичность систем линеаментов, выделяемых по космическим снимкам. Предполагается, что облик космолинеаментов является генерализованным отражением на земной поверхности как деформаций, так и флюидно-газового режима приповерхностной части земной коры [1]. Линеаменты — это зоны (каналы) повышенной проницаемости, которые служат проводящими путями флюидов. Изменения флюидно-газового режима отражаются в колебаниях состава газов, влажности и температуры почвогрунтов, приземного слоя атмосферы, отчасти растительности. Это, в свою очередь, вызывает изменения спектральных характеристик земной поверхности и атмосферы. Интегральный эффект указанных изменений приводит к изменению текстур космического изображения, которые могут распознаваться методами автоматизированной обработки. Таким образом, физическая природа космолинеаментов основана на флюидно-газовом режиме в ослабленных и высокопроницаемых зонах земной коры [1].

Поскольку параметрические изменения в зоне активного разлома обусловлены динамикой флюидно-газового режима, то ведущую роль будут играть индикаторы, отражающие процессы флюидопереноса и влияющие на спектральные свойства земной поверхности или атмосферы, то есть газы. Такие индикаторы могут быть получены на основе современных систем дистанционного зондирования Земли.

Актуальность изучения активных разломов обусловлена их геоэкологической опасностью, проявляемой в возможном влиянии на технические системы, на развитие инженерно-геологических процессов, на устойчивость геологической среды к техногенным воздействиям [8]. Важность исследования современной геодинамической активности Гомельской структурной перемычки определяется тем, что на ее территории располагается второй по величине город Беларуси и крупный промышленный центр — Гомель.

Цель исследований — диагностика современной геодинамической активности разломных зон на основе комплекса индикаторов (на примере разломов Гомельской структурной перемычки).

Решаемые задачи: изучение пространственной структуры морфолитогенной основы ландшафтов, гидрографической сети и болот в связи с разломной тектоникой; анализ влияния разломных зон на особенности залегания кайнозойских отложений; выявление активных разломов по газогеохимическим индикаторам (водород в почвенном газе, метан в тропосфере).

Район и методика исследований

Гомельская структурная перемычка — это тектоническая структура, соединяющая Воронежскую антеклизу с Припятским прогибом и Брагинско-Лоевской седловиной и расположенная на юго-востоке Беларуси (рис. 1).

Юго-западной границей Гомельской структурной перемычки является Северо-Припятский суперрегиональный разлом (мантийного заложения), северо-западной границей — Малиновско-Глазовский региональный разлом, восточной границей — Гомельский субрегиональный разлом, южной границей — Верхнеднепровский региональный разлом [3]. В средней части перемычку пересекает Тетеревский суперрегиональный разлом. Частично по границе, частично в пределах перемычки проходит Первомайский суперрегиональный разлом (рис. 2).

По данным сейсмических исследований, гравиразведки и бурения скважин в пределах перемычки по поверхности кристаллического фундамента выделены три структурные зоны: западная мелкоблоковая, южная среднеблоковая и восточная крупноблоковая — Ченковский блок [3]. В западной структурной зоне поверхность фундамента находится на глубине от -0,9 до 1,4 км. Фундамент здесь разбит локальными разрывными нарушениями на мелкие блоки (Урицкий, Рандовский, Западно-Гомельский, Сосновский, Приборский и другие). Южная структурная зона включает Бобовичский и Терешковичский блоки. Поверхность фундамента моноκлиально погружается с северо-востока на юго-запад от -1,0 до -1,5 км. Восточная структурная зона (Ченковский блок) ограничена Западно-Ченковским и Гомельским разломами. В северной части поверхность фундамента находится на глубинах от -0,7 до 1,2 км; в южной части — от -0,7 до -1,0 км [3].

Исследования современной активности разломных зон проводились ландшафтно-индикационным и газогеохимическими методами.

Ландшафтно-индикационный метод использует характеристики ландшафтов как индикаторы строения и геодинамической активности разломов

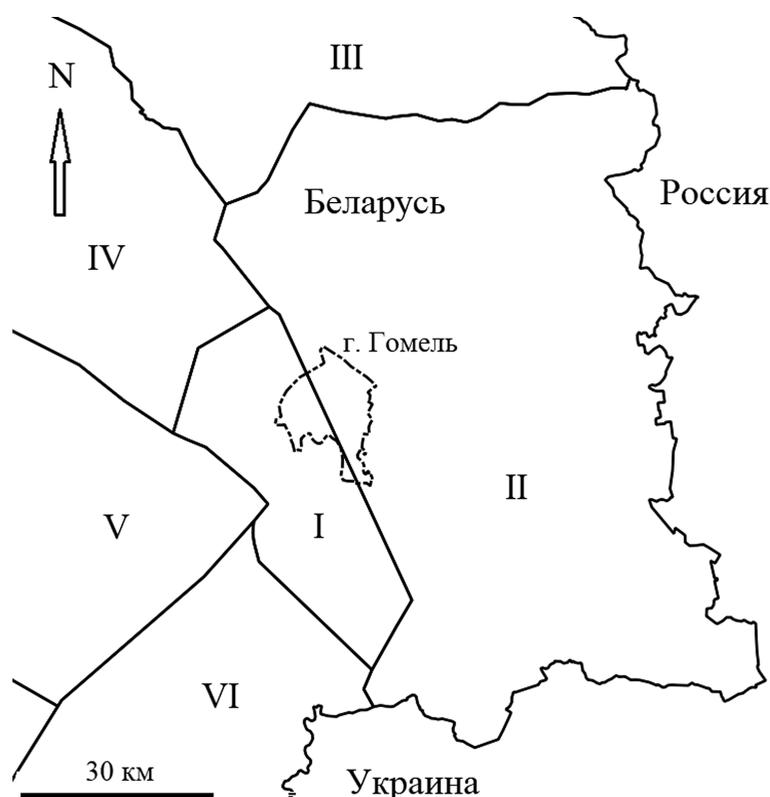


Рис. 1. Тектонические структуры юго-востока Беларуси: I — Гомельская структурная перемычка; II — Воронежская антеклиз; III — Жлобинская седловина; IV — Северо-Припятское плечо; V — северная ступень Припятского грабена; VI — Брагинско-Лоевская седловина

Fig. 1. Tectonic structures of southeast Belarus: I — Gomel structural bridge; II — Voronezh anteclise; III — Zhlobin saddleback; IV — North Pripyat shoulder; V — northern step of the Pripyat graben; VI — Bragin-Loev saddleback

земной коры [4]. Для выявления ландшафтных индикаторов использовались цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), топографическая карта (1975—1980 гг., масштаб 1:100 000), военно-топографическая карта Российской империи (1846—1863 гг., масштаб 3 версты в 1 дюйме), карта четвертичных отложений (масштаб 1:200 000), снимки спутника Landsat 8.

Геологическое строение Гомельской структурной перемычки было уточнено на основе анализа 30 буровых скважин.

Изучение содержания водорода в почвенном газе проводилось путем отбора проб из шпуров 0,5—1 м и последующего измерения в лаборатории с помощью водородного газоанализатора на основе Si-SiO₂-Па структуры с предельной чувствительностью 10⁻⁶ об.% [10].

Изучение тропосферного метана проводилось с помощью космической съемки спутника Sentinel-5P с сенсором TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument). Сенсор TROPOMI определяет атмосферные концентрации (общее

содержание в вертикальном столбе тропосферы) метана. Измерения ведутся ежедневно с октября 2017 г. Пространственное разрешение 7×5,5 км. Величина случайной ошибки определения метана составляет не более 1%. Архивированный продукт съемки TROPOMI содержит значения концентрации сухого метана в толще атмосферы в миллиардных долях от объема (ppb). Регулярная составляющая потока метана определялась с помощью осреднения измерений на заданном временном отрезке. Определены концентрации метана на временных срезах: лето 2021 г.; зима 2022 г.; лето 2022 г.; осень 2022 г.; зима 2023 г.

Для обработки данных Sentinel-5P TROPOMI, Landsat 8, оцифровки топографических карт, карты четвертичных отложений, создания цифровой модели мощностей четвертичных отложений, построения картосхем использовалась геоинформационная система QGIS.

Результаты и их обсуждение

Границы Гомельской перемычки частично отражаются в морфолитогенной основе ландшафтов.

Так, на северо-восточной окраине перемычки (населенный пункт Костюковка) отметки земной поверхности снижаются со 140—145 до 130—135 м; на границе с Припятским прогибом (западная окраина) — со 130—135 до 120—130 м; на границе с Гремячским выступом Воронежской антеклизы — со 140—150 до 130—140 м. Границы Гомельской перемычки также индицируются гидрографической сетью: граница с Северо-Припятским плечом — малая река Беличанка; граница с Припятским прогибом — река Уза; граница с Брагинско-Лоевской седловиной — река Сож.

Ландшафтный анализ территории показал, что переходный характер Гомельской перемычки отражается в смене ландшафтов. Северо-восточная окраина — переход от моренно-зандрового ландшафта (Воронежская антеклиза) к водно-ледниковому (перемычка); юго-восточная окраина — переход от водно-ледникового ландшафта (Воронежская антеклиза) к аллювиальному террасированному (перемычка). Ландшафтная структура Гомельской перемычки имеет вид: водно-ледниковый ландшафт — 28,5%; моренно-зандровый ландшафт — 4,2%; аллювиальный террасированный ландшафт — 50,0%; пойменный ландшафт — 17,3%. В сопредельной части Воронежской антеклизы доминирует водно-ледниковый ландшафт (более 60% территории), а в сопредельной части Припятского прогиба — аллювиальный террасированный и озерно-аллювиальный ландшафты (более 80%).

Современная речная сеть и болота в значительной степени трансформированы деятельностью человека. На изучаемой территории все малые реки канализированы, а болотные массивы осушены при проведении осушительной мелиорации. Техногенные преобразования являются помехой для использования речной сети и болот как индикаторов активности разломных зон. Нами предлагается использовать речную сеть и болота в их домелиоративном состоянии — на основе карт XIX века. Наиболее пригодным картографическим материалом является военно-топографическая карта Российской империи (1846—1863 гг., 3 версты в 1 дюйме). Домелиоративная ситуация, полученная на основе данной карты, показана на рисунке 3. Видно, что массивы болот приурочены к северному углу Гомельской перемычки, отделяя ее от Буда-Кошелевской ступени Северо-Припятского плеча. Болота протягиваются вдоль Северо-Припятского суперрегионального разлома в пределах Припятского грабена. Однако взаимосвязь речной сети с разломами

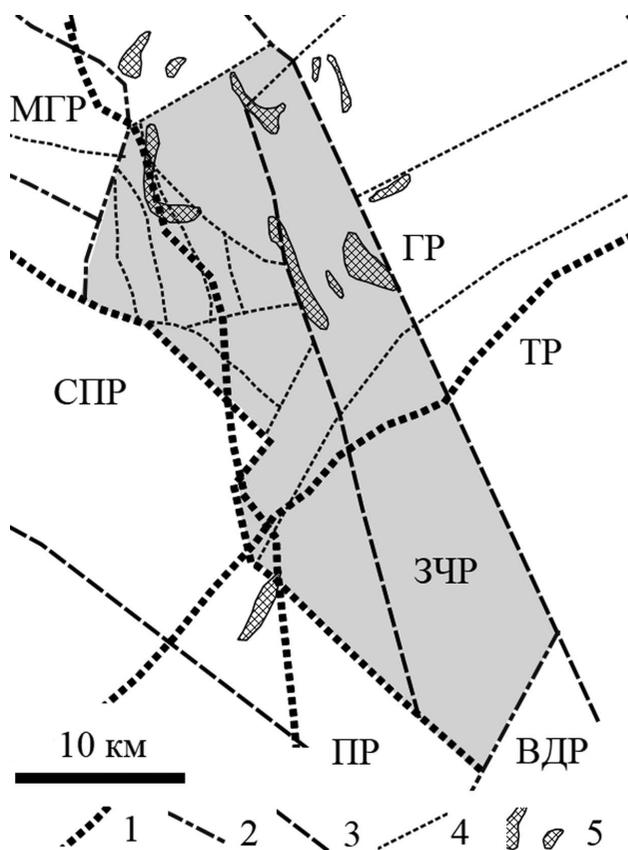


Рис. 2. Разломы Гомельской структурной перемычки: СПР — Северо-Припятский; МГР — Малиновско-Глазовский; ГР — Гомельский; ЗЧР — Западно-Ченковский; ТР — Тетеревский; ПР — Первомайский; ВДР — Верхнеднепровский; 1 — суперрегиональные разломы; 2 — региональные разломы; 3 — субрегиональные разломы; 4 — локальные разломы; 5 — ареалы с отсутствием палеогеновых отложений.

Fig. 2. Faults of the Gomel structural bridge: СПР — North Pripjat; МГР — Malinovsko-Glazovsky; ГР — Gomel; ЗЧР — Zapadno-Chenkovsky; ТР — Teterevsky; ПР — Pervomaisky; ВДР — Verkhnedneprovsky; 1 — super-regional faults; 2 — regional faults; 3 — subregional faults; 4 — local faults; 5 — areas with the absence of Paleogene deposits.

на изученной территории имеет неоднозначный характер.

Изучение литогенной основы ландшафтов — четвертичных отложений показало, что их мощность колеблется от 3 до 84 м, в среднем составляя $23,4 \pm 2,4$ м. Цифровая модель мощностей четвертичных отложений, построенная по данным буровых скважин, демонстрирует два аномальных участка (рис. 4). На участке Западно-Ченковского разлома мощность четвертичных отложений резко увеличивается за счет пород межледникового муравинского горизонта (мощность — 28 м) и толщи

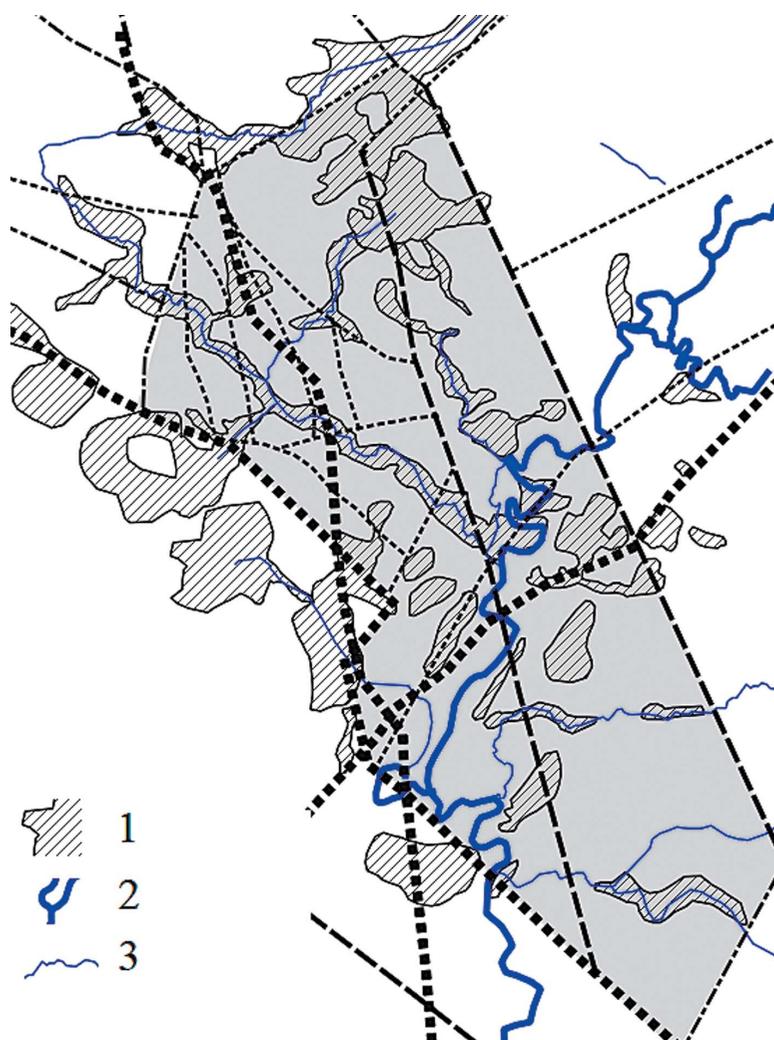


Рис. 3. Болота и гидрографическая сеть в пределах Гомельской структурной перемычки и соседних территорий (середина XIX века): 1 — болота и заболоченные земли; 2 — река Сож; 3 — малые реки
Fig. 3. Swamps and hydrographic network within the Gomel structural bridge and neighboring territories (mid-19th century): 1 — swamps and wetlands; 2 — Sozh River; 3 — small rivers

нерасчлененных отложений, образовавшихся между днепровским этапом припятского оледенения и березинским оледенением (мощность — более 41 м). При этом мощность днепровской морены снижается (до 10 м). Вероятно, здесь находится эрозионный врез, где в муравинское межледниковье накопилась толща озерно-аллювиальных и болотных осадков. В современное время (до осушительной мелиорации) здесь также существовал болотный массив («Кобылянское болото»). Образование эрозионного вреза может быть связано с неотектонической активностью Гомельского и Западно-Ченковского разломов на северном участке Гомельской перемычки.

Второй участок с аномально большой мощностью четвертичных отложений примыкает к Гомельской

перемычке со стороны северной ступени Припятского грабена. Скважина, расположенная в районе деревни Старые Дятловичи, вскрыла четвертичный чехол, имеющий мощность 143,2 м. С поверхности залегают аллювиальные отложения поозерского горизонта (25,3 м), под которыми находится нерасчлененная толща, образовавшаяся между днепровским этапом припятского оледенения и березинским оледенением (мощность — 117,9 м). Под четвертичными отложениями сразу залегают породы юрской системы.

Кроме того, в ложбинах, тяготеющих к ряду разломов, имеет место размыв палеогеновых отложений (рис. 1), которые на территории Гомельской структурной перемычки и сопредельных тектонических структур залегают почти

повсеместно под четвертичным чехлом. Морские палеогеновые отложения характеризуются средней мощностью от 22,7 м в пределах Воронежской антеклизы до 40,0 м в пределах Гомельской структурной перемычки.

Можно предположить, что участки с аномальной мощностью четвертичного чехла и размытым палеогеном представляют собой ледниковые ложбины, контролируемые зонами разломов. Известно, что активизация разломных зон под действием ледниковой нагрузки способствовала образованию трещин в теле ледника и оказывала влияние на расположение водно-ледниковых форм. В результате по простиранию разломных зон могли образовываться линейные системы ледниковых ложбин и озер [9]. Особенности разреза здесь являются (кроме аномальной мощности): доминирование песчаного состава и отсутствие (или небольшая мощность) днепровской морены (т.е. факторы, способствующие снижению защищенности подземных вод).

Активный характер ряда участков разломных зон разного ранга подтверждается газогеохимическими исследованиями. В колодцах населенного пункта Костюковка обнаружена повышенная минерализация (1—2 г/м³ при фоновых значениях 0,3—0,6 г/дм³). Здесь же установлены аномально высокие содержания водорастворенного гелия в напорных подземных водах [5, 6]. В ходе изучения поля подпочвенного водорода выявлено, что его содержание составляет (15,5—37,0)×10⁻⁴ (среднее — 19,5×10⁻⁴) об.%, существенно выше фоновой концентрации ((0,5—1)×10⁻⁴ об.%). На рисунке 5 показаны результаты водородной съемки в пределах Гомельской перемычки и на сопредельных территориях Воронежской антеклизы и Припятского прогиба. Кроме аномалии повышенного содержания водорода на участке «Костюковка» выделены также аномалии «Урицкое» и «Цыкуны», вероятно, имеющие связь с разломной тектоникой.

Аномалия «Урицкое» приурочена к западной мелкоблоковой зоне. Содержание водорода в подпочвенном воздухе здесь составляло (1,1—15,8)×10⁻⁴ (среднее — 5,0×10⁻⁴) об.%. Аномалия «Цыкуны» находится в пограничной зоне Гомельской перемычки и Припятского грабена. Содержание водорода изменялось от 1,1 до 15,0×10⁻⁴ (среднее — 5,1×10⁻⁴) об.%.

Над выделенными газогеохимическими аномалиями были изучены потоки тропосферного метана (табл.). В качестве фоновых показателей использовались средние содержания метана

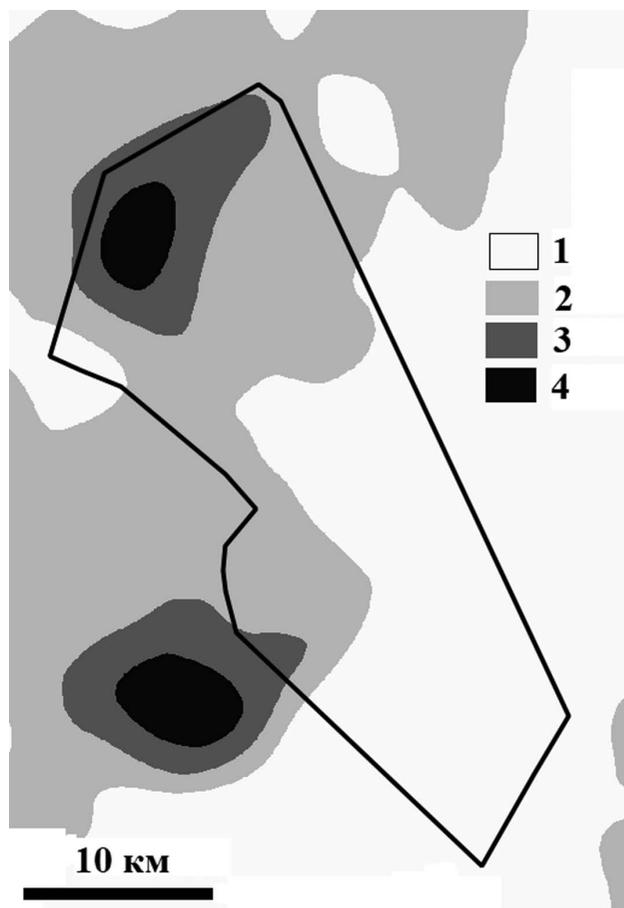


Рис. 4. Мощность четвертичных отложений, м (интерполяция — кубический сплайн): 1 — менее 20; 2 — 20—40; 3 — 40—60; 4 — более 60 м

Fig. 4. Thickness of Quaternary deposits, m (interpolation — cubic spline): 1 — less than 20; 2 — 20—40; 3 — 40—60; 4 — more than 60 m

над территорией Республики Беларусь на соответствующем временном срезе.

Установлено, что над зоной «Костюковка» усредненное содержание тропосферного метана изменялось от 1873,5 ppb летом 2022 г. до 1912,9 ppb зимой 2022 г. Медианные содержания находились в пределах от 1883,0 до 1917,0 ppb, максимальные от 1887,0 до 1950,0 ppb. Наиболее высокие концентрации метана отмечены 26.08.2022 г. (1922,0—1932,0 ppb), 07.01.2022 г. (1922,0—1923,0 ppb), 08.01.2022 г. (1949,0—1950,0 ppb). Превышение содержания метана над фоном составляли 14,6—48,0 ppb.

Над зоной «Урицкое» усредненное содержание метана колебалось от 1849,3 ppb летом 2021 г. до 1905,9 ppb зимой 2022 г. Медианные содержания изменялись от 1847,0 до 1907,5 ppb. Максимальные — от 1873 до 1939 ppb. Максимумы

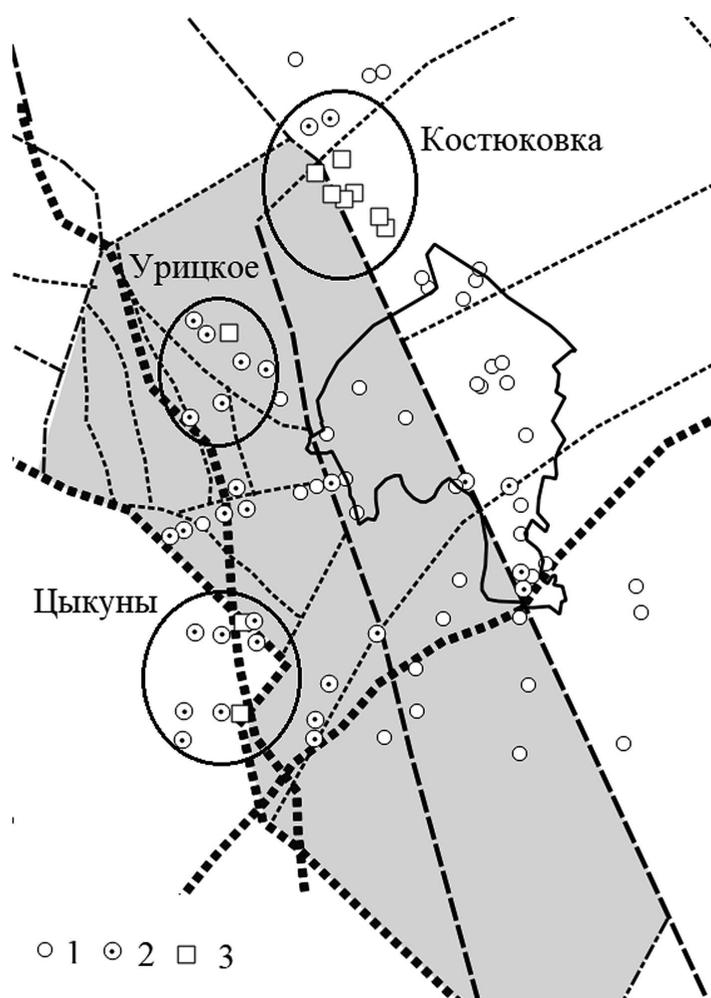


Рис. 5. Содержание водорода в подпочвенном воздухе: 1 — до 1×10^{-4} об.%; 2 — $(1-10) \times 10^{-4}$ об.%; 3 — более 10×10^{-4} об.%

Fig. 5. Hydrogen content in subsoil air: 1 — up to 1×10^{-4} vol.%; 2 — $(1-10) \times 10^{-4}$ vol.%; 3 — more than 10×10^{-4} vol.%

Таблица. Динамика тропосферного метана над активными зонами
Table. Dynamics of tropospheric methane (ppb) over active zones

Временной срез	Активные зоны			Фон
	«Костюковка»	«Урицкое»	«Цыкуны»	
Лето 2021 г.	1878,0 ± 4,0 (6)	1849,3 ± 6,6 (7)	1848,6 ± 9,3 (20)	1830,2 ± 0,7 (9410)
Зима 2022 г.	1912,9 ± 5,5 (8)	1905,9 ± 10,3 (7)	1897,1 ± 6,2 (14)	1898,3 ± 0,2 (17535)
Лето 2022 г.	1873,5 ± 5,7 (27)	1872,7 ± 5,8 (23)	1850,2 ± 7,8 (64)	1843,0 ± 0,5 (30952)
Осень 2022 г.	1900,8 ± 1,5 (4)	1905,0 ± 6,3 (4)	1893,4 ± 3,9 (9)	1874,0 ± 0,4 (5486)
Зима 2023 г.	1901,5 ± 4,2 (6)	1895,4 ± 10,4 (5)	1887,5 ± 7,1 (10)	1882,7 ± 0,4 (6814)

Примечание. (X) — в скобках указано количество точек измерения содержания тропосферного метана.

Note. (X) — the number of measurement points for tropospheric methane content is indicated in parentheses.

концентраций имели место 08.02.2023 г. (1916,0—1920,0 ppb), 07.01.2022 г. (1905,0—1933,0 ppb), 08.01.2022 г. (1939 ppb). Превышения над фоном составляли 7,9—31,0 ppb.

Над зоной «Цыкуны» усредненное содержание метана изменялось от 1848,6 ppb летом 2021 г. до 1897,1 ppb зимой 2022 г. Медианное значение колебалось от 1868,0 до 1904,0 ppb. Максимальные значения — от 1889,0 до 1937,0 ppb. Максимумы наблюдались 26.08.2022 г. (1922,0—1924,0 ppb), 08.02.2023 г. (1910,0—1918,0 ppb), 08.01.2022 г. (1914,0—1937,0 ppb). Превышения над фоном — от 4,8 до 19,4 (кроме зимы 2022 г., когда содержания метана над зоной были ниже фоновых на 1,2 ppb).

Таким образом, аномалия повышенного содержания метана наиболее устойчиво выделяется над зоной «Костюковка». Менее четкие отличия потока метана от фоновых значений в зонах «Урицкое» и «Цыкуны», вероятно, обусловлены увеличением глубины залегания кристаллического фундамента (с -0,7 до -1,5 и более км).

Следует отметить, что газогеохимические аномалии имеют «рассеянный» характер (причина — зоны трещиноватости и проницаемости в осадочном чехле могут не совпадать с глубинными разломами кристаллического фундамента), однако пространственно тяготеют к узлам пересечения разломов различного ранга. Участки одного и того же разлома характеризуются различным

уровнем проявлений современной геодинамической активности, что отражается в потоках глубинных газов.

Заключение

Гомельская структурная перемычка — тектоническая структура, находящаяся на границе Воронежской антеклизы, Припятского прогиба и Брагинско-Лоевской седловины, фундамент которой разбит разломами на многочисленные блоки разного размера. Активность разломных зон проявлялась в течение оледенений и межледниковий плейстоцена, что отразилось в особенностях залегания четвертичных отложений. В северной и юго-западной частях Гомельской структурной перемычки зафиксированы газогеохимические аномалии, в почвенном воздухе и подземных водах [5, 6]. Благодаря космической съемке спутника Sentinel-5P TROPOMI получены новые данные, свидетельствующие о приуроченности потоков тропосферного метана, устойчиво превышающих региональный фон, к зонам наземных газогеохимических аномалий.

Таким образом, комплекс индикаторов указывает на различную степень современной активности разломных зон в пределах Гомельской структурной перемычки. Наибольшая геодинамическая активность характерна для северной части данной тектонической структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Физическая природа линейных элементов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. № 3. Т. 2. С. 177—183.
2. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Святогоров А.А. Космотектоническая карта Беларуси масштаба 1:500 000: создание и результаты // Літасфера. 2013. № 1(38). С. 3—30.
3. Гарецкий Р.Г., Толстошеев В.И., Кручек С.А., Сахарук П.О., Левый М.Г. Структура поверхности кристаллического фундамента Гомельской структурной перемычки и сопредельных территорий // Літасфера. 2018. № 1(48). С. 19—29.
4. Губин В.Н., Марцинкевич Г.И. Ландшафтные индикаторы активных разломов земной коры // Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География. 1997. № 2. С. 51—54.
5. Гумен А.М., Гусев А.П. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси // Літасфера. 1997. № 6. С. 140—149.
6. Гумен А.М., Гусев А.П., Киссин И.Г., Рудаков В.П. Газогеохимические индикаторы современной геодинамической активности асейсмичной территории // Физика Земли. 1998. № 7. С. 63—71.
7. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика опасных разломов // Физика Земли. 2016. № 5. С. 87—101.
8. Лобацкая Р.М., Коффе Г.Л. Разломы литосферы и чрезвычайные ситуации. М.: Изд-во РЭФИА, 1997. 196 с.
9. Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А. Линеаменты территории Беларуси. Минск: ИГН НАН Беларуси, 2001. 124 с.
10. Рудаков В.П., Уточкин Ю.А. О мониторинге состояния геологической среды посредством непрерывных измерений вариаций концентрации водорода и радона почвенных отложений // Геохимия. 1993. № 9. С. 1368—1370.
11. Kuzmin Yu.O. Recent geodynamics of fault zones: faulting in real time scale // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. No. 5(2). P. 401—443.

REFERENCES

1. Bondur V.G., Zverev A.T. Physical nature of lineaments recorded on satellite images during monitoring of seismically hazardous areas // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2006. No. 3. V. 2. P. 177—183 (In Russian)
2. Garetsky R.G., Karataev G.I., Aizberg R.E., Karabanov A.K., Svyatogorov A.A. Cosmotectonic map of Belarus at a scale of 1:500 000: creation and results // Litasfera. 2013. No. 1(38). P. 3—30 (In Russian).
3. Garetsky R.G., Tolstosheev V.I., Kruchek S.A., Sakharuk P.O., Levyi M.G. Surface structure of the crystalline basement of the Gomel structural bridge and adjacent territories // Litasfera. 2018. No. 1(48). P. 19—29 (In Russian).
4. Gubin V.N., Martsinkevich G.I. Landscape indicators of active faults in the earth's crust // Bulletin of BSU. Series 2. Chemistry. Biology. Geography. 1997. No. 2. P. 51—54 (In Russian).
5. Gumen A.M., Gusev A.P. Gas-geochemical indicators of geodynamic activity of deep faults in the southeast of Belarus // Litasfera. 1997. No. 6. P. 140—149 (In Russian).
6. Gumen A.M., Gusev A.P., Kissin I.G., Rudakov V.P. Gas-geochemical indicators of modern geodynamic activity of an aseismic territory // Physics of the Earth. 1998. No. 7. P. 63—71 (In Russian).
7. Kuzmin Yu.O. Modern geodynamics of dangerous faults // Physics of the Earth. 2016. No. 5. P. 87—101 (In Russian).
8. Lobatskaya R.M., Koff G.L. Lithosphere faults and emergency situations. Moscow: Publishing house REFIA, 1997. 196 p. (In Russian).
9. Matveev A.V., Nechiporenko L.A. Lineaments of the territory of Belarus. Minsk: IGN NAS of Belarus, 2001. 124 p. (In Russian).
10. Rudakov V.P., Utochkin Yu.A. On monitoring the state of the geological environment through continuous measurements of variations in the concentration of hydrogen and radon in subsoil deposits // Geochemistry. 1993. No. 9. P. 1368—1370 (In Russian).
11. Kuzmin Yu.O. Recent geodynamics of fault zones: faulting in real time scale // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. No. 5(2). P. 401—443.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Andrey P. Gusev — 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 АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Гусев Андрей Петрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии и географии УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

104, ул. Советская, г. Гомель 246028, Республика Беларусь

e-mail: andi_gusev@mail.ru

тел.: +375 295307467

SPIN-код: 9583-3114

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-1172>

Andrey P. Gusev — Cand. Sci. (Geol.-Min.), director of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University.

104, str. Sovetskaya, Gomel 246028, Republic of Belarus

e-mail: andi_gusev@mail.ru

tel.: +375-295307467

SPIN-code: 9583-3114

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-1172>



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-45-51>
УДК 551.7:553.44



ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛЖИРСКОЙ НАРОДНОЙ ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В.В. ДЬЯКОНОВ, В. МАУ*, Н.А. ПОГРЕБС

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Изложены новые взгляды на формирование свинцово-цинковых месторождений Алжирской Народной Демократической Республики.

Цель. Представить геолого-структурную модель формирования месторождений Pb—Zn (свинец—цинк) Алжира в пределах палеовулканического сооружения.

Материалы и методы. Проведен анализ материалов существующих месторождений свинца и цинка в пределах Республики Алжир. Предложена структурно-генетическая схема формирования стратиформных месторождений свинца и цинка в карбонатных породах на примере сульфатно-фумарольной деятельности вулкана Эребус.

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

Заключение. Стратиформные месторождения свинца и цинка представляют собой продукты вулканической сульфатно-фумарольной деятельности гидротерм под покрывкой карбонатных отложений, сформировавшиеся на склонах палеовулканического сооружения юрско-олигоценного времени.

Ключевые слова: Алжир, Атласские горы, стратиформные месторождения свинца и цинка, вулкан Эребус, металлоносные гидротермы, фумаролы вулкана Кудрявый

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Дьяконов В.В., Мау В., Погребс Н.А. Геологические условия формирования свинцово-цинковых месторождений Алжирской Народной Демократической Республики. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):45—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-45-51>

Статья поступила в редакцию 02.02.2024

Принята к публикации 15.03.2024

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

GEOLOGICAL FORMATION CONDITIONS FOR LEAD AND ZINC ORE DEPOSITS IN THE PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA

VICTOR V. DYAKONOV, WARDA MAOU*, NATALIA A. POGREBS

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

ABSTRACT

Background. New viewpoints on the formation of lead and zinc (Pb and Zn) ore deposits in the People's Democratic Republic of Algeria are presented.

Aim. To develop a geological and structural model for the formation of Pb and Zn ore deposits in Algeria within the paleovolcanic structure.

Materials and methods. An analysis of the existing materials on the Pb and Zn deposits of the Algerian Republic was conducted. A structural and genetic scheme for the formation of stratiform Pb and Zn deposits in carbonate rocks was proposed using the example of the sulfate-fumarole activity of Mount Erebus volcano.

Results. The stratiform ore deposits of Pb and Zn are of the same age (Oligocene), regardless of the age of the host carbonate rocks.

Conclusion. The stratiform deposits of Pb and Zn are the products of a volcanic sulfate-fumarole activity of hydrotherms under the cover of carbonate deposits formed on the slopes of a paleovolcanic structure of the Jurassic-Oligocene age.

Keywords: Algeria, Atlas Mountains, stratiform deposits of lead and zinc, Erebus volcano, metalliferous hydrotherms, fumaroles of Kudryavy volcano

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: Dyakonov V.V., Maou W., Pogrebs N.A. Geological formation conditions for lead and zinc ore deposits in the People's Democratic republic of Algeria. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):45—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-45-51>

Manuscript received 02 February 2024

Accepted 15 March 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Алжир среди стран Африки занимает третье место по совокупности запасов и прогнозируемых ресурсов (520 + 300 тыс. тонн) свинца. По запасам и ресурсам цинка (1820 + 1270 тыс. т) занимает пятое место на континенте. Запасов свинца и цинка в стране находится 0,5 % от общемировых [5]. Пятнадцать наиболее крупных по запасам месторождений сосредоточены в восточной части Магрибской металлогенической зоны (рис. 1).

В геологическом понимании под территорией «Магриба» рассматривается западное Средиземноморское побережье Северной Африки, относящееся к государствам Марокко, Алжир и Тунис. Крупнейшим геологическим сооружением этой территории являются Атласские горы. Их формирование приходится на эпоху альпийского тектоно-магматического цикла активизации, продолжающегося и сегодня. Здесь сосредоточено большое количество молодых вулканических сооружений.

Среди месторождений выделяются следующие геолого-промышленные типы [3]:

- скарново-полиметаллические;

- полиметаллические и медно-полиметаллические гидротермальные жильные;

- вулканогенно-гидротермальные;

- стратиформные свинцово-цинковые залежи в карбонатных породах.

Главным промышленным типом являются месторождения стратиформные в карбонатных породах. В них сосредоточены более 80 % свинца и около 60 % запасов цинка [5]. Наиболее крупные месторождения находятся в горст-грабеновых структурах Высоких плато и Айн Млила (Эль-Абед, Детлен, Керзет-Юссеф, Сайда и др.). Месторождения приурочены к зонам трещиноватости разломов, в особенности к зонам сочленения разнонаправленных разломов. В кровле и местах выклинивания рудных тел располагаются мергели, состоящие из кварцитов, глинистого материала и доломитов.

Отмечаются характерные особенности в размещении рудных месторождений в Атласской провинции — их миграция с омоложением возраста в разрезе снизу вверх и в направлении с запада на восток. В тех же направлениях изменяется и возраст карбонатных толщ: от рифогенных

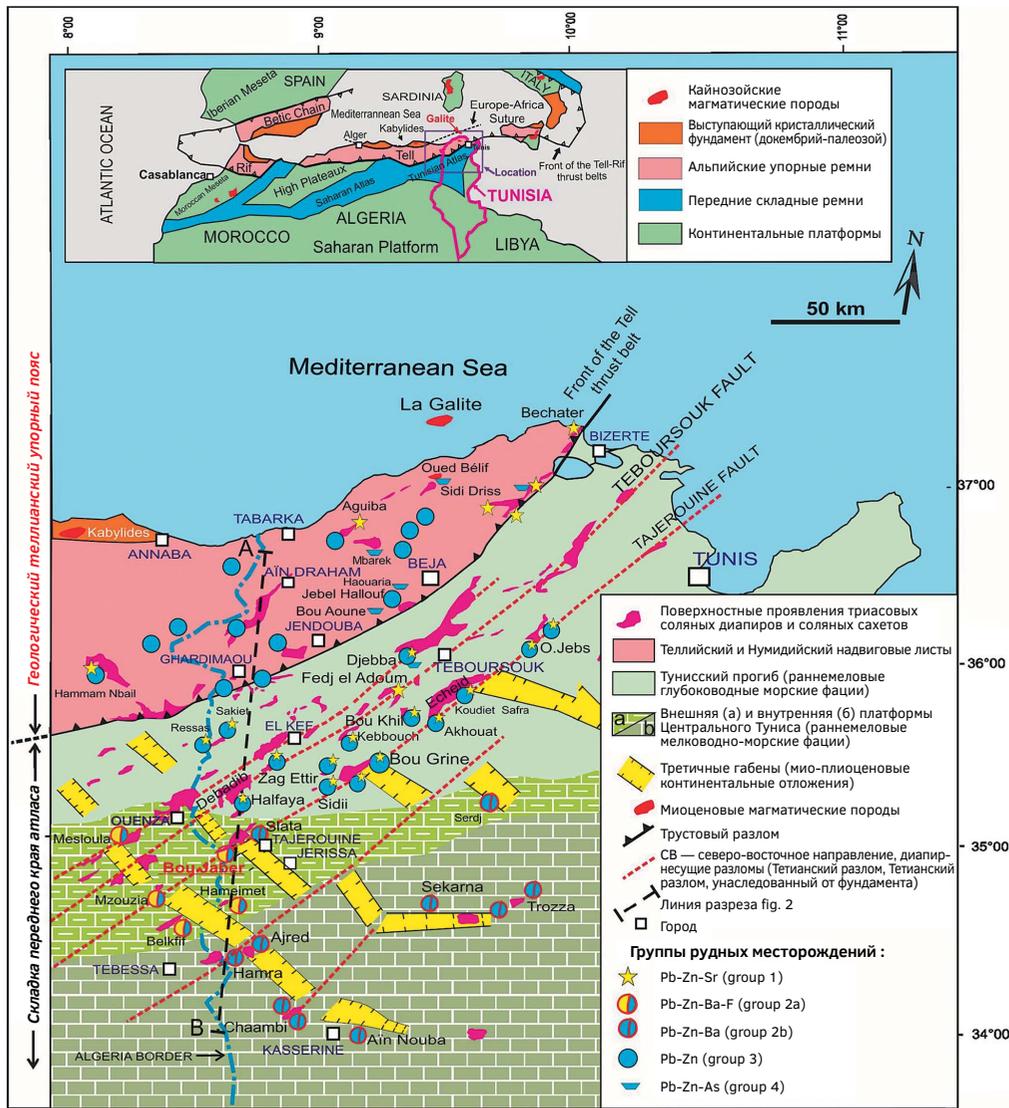


Рис. 1. Схема расположения месторождений твердых полезных ископаемых в восточной части Магрибской металлогенической зоны

Fig. 1. Schema of the location of solid mineral deposits in the eastern part of the Maghreb metallogenic zone

и биостромных известняков юры и мела до лагунных известняков олигоцена. Отмечается, что в региональном размещении месторождений важную роль играют зоны сочленения тектонических зон двух направлений: северо-восток (продольные) и северо-запад (поперечные), или, точнее сказать, кольцевые и радиальные. Связь с магматическими породами чаще всего устанавливается. Но весьма часто отмечается пространственная ассоциация с гипсо-соляными-диапирами эвапоритов триаса.

Стратиформные залежи свинца и цинка приурочены к прослоям пестрых по составу брекчированных и карстифицированных мергелей [4],

образовавшихся из рифогенных известняков мезо-кайнозойского возраста.

Рудные тела в таких месторождениях имеют форму лентовидных залежей протяженностью до 5000 м, шириной 50—200 м, при изменяющейся мощности от 0,5 до 15 м. Представляется, что рудные ленты выполняют карстовые полости, располагающиеся между горизонтами глинистых мергелей, рассматриваемых нами в качестве гидроупоров для сольфатарно-фумарольных потоков. Характерно, что все поля «лент» (рудные поля) повторяют тектонический каркас территории, имеют продольные и поперечные направления относительно горного сооружения Атлас. Любопытно,

что мощность доломитовых зон в пределах месторождений уменьшается до 1—2 метров в направлении на юго-восток и увеличивается до нескольких сотен метров в северо-западном направлении.

Реже встречаются круто погружающиеся рудные ленты, прослеженные до максимальной глубины 1200 метров. На месторождении Керзет-Юссеф таких сопряженных по вертикали рудных тел насчитывается 17 в 70-метровом интервале по простиранию рудной зоны [2].

На месторождении Уарсенис в пределах рудного узла рудные тела представлены трубами, штоками площадью от 60 до 1000 м, ветвящимися жилами и согласными линзами. В основании известняковых рифовых известняков были вскрыты триасового возраста базальты.

Руды месторождений представлены различными текстурами: массивные, брекчиевидные, полосчатые и конкреционные. Они сложены сфалеритом, пиритом, марказитом и так далее [6]. Нерудные минералы представлены баритом, сфалеритом, кальцитом, доломитом, кварцем, гипсом и эвапоритами. Часто встречается битум, заполняющий трещины и жёоды в доломитах, а также концентрирующийся в области выклинивания рудных тел. Средние содержания главных рудных компонентов составляют: Zn — до 20%, Pb — до 5%.

Представить механизм формирования стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах Атласа нам поможет пример сольфатарно-фумарольной деятельности вулкана Эребус.

В пределах Антарктического континента насчитывается 57 вулканических сооружений (рис. 2). Высота их колеблется от 3794 км — вершина Эребуса (территория Росса № 17) — над уровнем океана до подводных вулканических конусов. На рисунке показаны вулканические сооружения, проявившие магматическую активность, включая гидротермальную, за последние 10 000 лет. Сюда входят и многочисленные вулканические вершины островов, прилегающих к континенту.

Продукты магматических извержений в пределах Антарктиды, там, где можно наблюдать выходы коренных пород, развиты широко. Они представлены как правило эффузивными породами — лавами базальтов и их туфами.

Помимо Антарктиды, данный вулканический регион также включает в себя Южные Сандвичевы острова и другие островные группы, прилегающие к континенту.

Вулканы Антарктики большей своей частью погребены под мощным ледниковым покровом.

Основными методами обнаружения вулканов на континенте являются дистанционные, с помощью материалов космической съемки. В небольших объемах проводятся радарная съемка с поверхности ледникового покрова и бурения колонковых скважин. Вполне реально, что количество вулканов может быть значительно больше. Они ждут своих первооткрывателей.

Самым крупным из действующих вулканов на ледяном континенте является Эребус.

Эребус был открыт в 1841 году английскими мореплавателями под руководством Д.К. Росса и получил свое название по одному из кораблей той экспедиции, названному в честь древнегреческого бога Эреба.

Это вулканический конус возрастом магматических отложений 1,3 млн лет. Он сложен слоями застывшей лавы (оливинового базальта, трахита, фонолита и его разновидности кенита), вулканических пеплов, тефры и туфов. Его высота составляет 3794 м, диаметр — около 70 км над уровнем моря,

На Эребусе прослеживается древняя кальдера диаметром примерно 12 км, центральный конус внутри которой имеет наверху более молодую кальдеру диаметром около 3 км, а уже в ней развит новый вулканический конус с активным кратером диаметром 805 м и глубиной 274 м. В активном кратере уже, по крайней мере, несколько десятков лет постоянно наблюдается жидкое лавовое озеро, а таких вулканов на Земле единицы. Это придает вулкану своеобразное свечение в темное время.

Указанное лавовое озеро заполнено расплавленным кенитом (эффузивная порода порфирированного фонолита или трахита), который в застывшем виде встречается только в породах гор в африканской Кении, а в разогретом до 900 °С жидком состоянии его извергает на сегодняшний день только антарктический Эребус. Извержения носят взрывной характер. При низких температурах лава застывает, не излившись из кратера. Накапливающийся под покрывкой газ периодически взрывает застывшую лаву. На вершине и склонах вулкана широко проявлена сольфатарно-фумарольная деятельность. Результатом их деятельности являются ледяные башни-дымоходы высотой до нескольких метров и экзотические ледяные пещеры (рис. 3).

Ледниковые пещеры и вертикальные «дымоходы» создают весьма запутанную сеть горизонтальных и вертикальных полостей.

Самой известной является ледниковая пещера Кверкфьелль в леднике Ватнайенюдль в Исландии. Ее длина, измеренная в 1980 году, составила 2,8 км при максимальной ширине 525 м. Ее

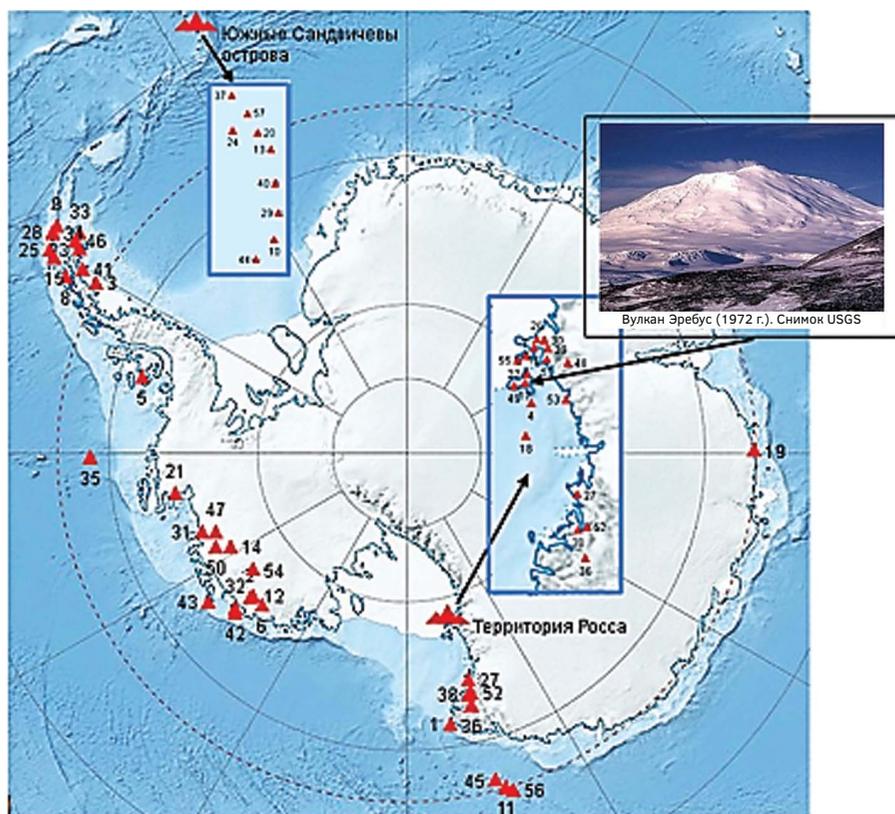


Рис. 2. Вулканические структуры Антарктиды. По данным Global Volcanism Program Смитсоновского института, которая содержит информацию о вулканах, проявлявших тот или иной вид активности, включая геотермальную, в последние 10 000 лет

Fig. 2. Volcanic structures of Antarctica. According to the Smithsonian Institution's Global Volcanism Program, which contains information about volcanoes that have shown some type of activity, including geothermal, in the last 10,000 years

происхождение также связано с действием вулканических fumarol.

Аналогичные пещеры формируются и в других местах нашей планеты. На наш взгляд, механизмы формирования ледяных пещер на склонах вулканических сооружений можно распространить и на образование свинцово-цинковых месторождений Алжира, для которых вмещающими породами служат карбонаты. Широко известно, что в полях развития карбонатных отложений повсеместно формируются карстовые полости, и не только за счет метеорных вод.

В заключение приведем цитату из статьи Софьи Ивановны Набоко «Современные гидротермальные процессы и метаморфизм вулканических пород» [3]: «Современные гидротермы металлоносны. Наиболее характерными компонентами терм являются: мышьяк, молибден, медь, цинк и серебро. Металлы присутствуют в растворах в десятитысячных долях процента. Однако присутствующий в гидротермах сероводород вылавливает

из растворов металлы, и в результате длительности процесса в осадках гидротерм и в гидротермально измененных породах происходит некоторая концентрация металлов».

Как показывают результаты изучения металлов в fumarолах вулкана Кудрявый (о. Итуруп) с площади fumarольного поля в несколько сотен квадратных метров, суммарный вынос за год (в тоннах) составил: Re — 6—7; Mo — до 100; Cu — до 120; Au — до 0,4, а к этому еще много чего. Эти объемы подсчитаны лишь по современным газовым эманациям на поверхности [1]. А сколько их осело по многочисленным подводным каналам в недрах вулканического сооружения на благоприятных геохимических барьерах.

Из рассмотренного материала следует выводы:

1. Свинцово-цинковые месторождения Алжира, несомненно, являются магматическими и располагаются в пределах крупного палеовулканического сооружения мезо-кайнозойского возраста.

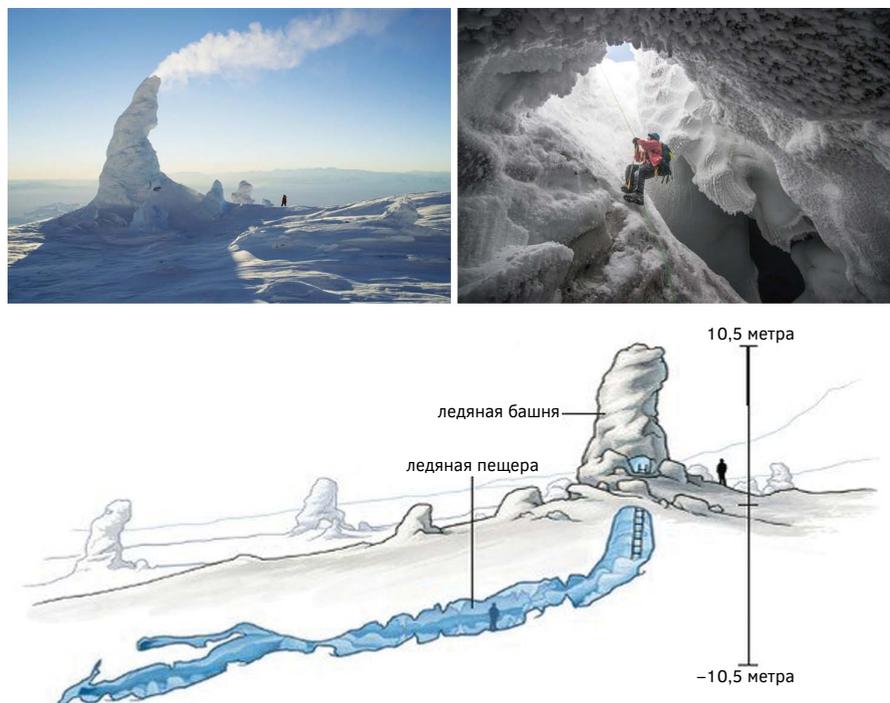


Рис. 3. Ледяные башни и ледяные пещеры на склонах вулкана Эребус (источник: <https://masterok.livejournal.com/874894.html>)

Fig. 3. Ice towers and ice caves on the slopes of Erebus volcano (source <https://masterok.livejournal.com/874894.html>)

2. Время формирования (накопления) рудной минерализации практически современное. Об этом свидетельствует факт их локализации в известняках большого возрастного интервала от юры до олигоцена.

3. Механизм формирования рудной минерализации уникален. Гидротермы начинают поступать

из глубин магматического сооружения, когда сформировался рифогенный карбонатно-мергелевый чехол. Растворы гидротермально изменяющие породы, формируя карстовые полости значительной протяженности, и последующие порции металлоносных гидротерм отлагали металлы в гидротермально измененных породах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бегул М. Геологическое исследование региона Хамимат (юго-восток Константины). Применение для нефтяных исследований на границе Алжира и Туниса: дисс. докт. инж.-геол. наук. Париж, 1974. 127 р.
2. Буталеб А., Джамал-Эддин А., Колли О. Обобщение данных о месторождениях Pb-Zn в теллианской цепи Алжира. Алжир: Минеральные ресурсы Алжира: Металлогения, Перспективы, Июль 2023 года. С. 191—200.
3. Набоко И.Н. Современные гидротермальные процессы и метаморфизм вулканических пород // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. 1961. Вып. 19. С. 12—33.
4. Omar H, Abdelhak B, Madjid C. et al. Pb-Zn (Ba) deposits of the oriental Saharan Atlas (north-east of Algeria): distribution, control and implications for mining exploration. Arab J Geosci 9, 422 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2406-x>.
5. Sami L. Contribution to the geological and gîtological study of mineralizations at Pb-Zn, Ba and F in the Meskiana region: Example of the Es Swabaa and M'kheriga indices (Eastern Saharan Atlas). Master's thesis, USTHB Bab Ezzouar Alger (2004).
6. Smati A. Pb-Ba and Fe deposits from Djebel Sлата (North-Central Tunisia): epigenetic mineralization from the credit of the bordure of a Diapir of Trias. Sidi Amor Ben Salem and Sлата Iron Deposits Doct. Paris, 1986. 250 P.

REFERENCES

1. Beghoul M. Geological study of the Hamimat region (SE Constantinois). Application to oil research on the Algerian-Tunisian borders: Thesis Doct. Ing Paris, 1974. 127 p.
2. Boutaleb A, Djamal-Eddine A, Kolli O. synthesis on the Pb-Zn deposits of the Tellian chain of Algeria // The mineral Resources of Algeria: Metallogeny, Perspectives. July 2023. P. 191—200 (In French).

3. Naboko I.N. Modern hydrothermal processes and metamorphism of volcanic rocks// the USSR Academy of Sciences: Moscow, 1961, Proceedings of the Laboratory of Volcanology. Vol. 19, P. 12—33 (In Russian).
4. Omar H, Abdelhak B, Madjid C. et al. Pb-Zn (Ba) deposits of the oriental Saharan Atlas (north-east of Algeria): distribution, control and implications for mining exploration. Arab J Geosci 9, 422 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2406-x>
5. Sami L. Contribution to the geological and gîtological study of mineralizations at Pb-Zn, Ba and F in the Meskiana region: Example of the Es Swabaa and M'kheriga indices (Eastern Saharan Atlas). Master's thesis, USTHB Bab Ezzouar Alger (2004).
6. Smati A. Pb-Ba and Fe deposits from Djebel Sлата (North-Central Tunisia): epigenetic mineralization from the credit of the bordure of a Diapir of Trias. Sidi Amor Ben Salem and Sлата Iron Deposits Doct. Paris, 1986. 250 P.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Мау В. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна 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.

Victor V. 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.

Warda Maou — 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

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

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: diakonovvv@mgri.ru
SPIN-код: 8780-8588

Victor V. Dyakonov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), 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

Мау Варда* — аспирантка кафедры общей геологии и геокартирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: maouwarda1993@gmail.com

Warda Maou* — post-graduate researcher of the 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: maouwarda1993@gmail.com

Погребс Наталья Анатольевна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геокартирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: pogrebsna@mgri.ru
SPIN-код: 8133-6244

Natalia A. Pogrebs — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor at the 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: pogrebsna@mgri.ru
SPIN-code: 8133-6244

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ МАГМАТИЧЕСКОГО ГИБРИДИЗМА В ГАББРО–ГРАНИТНОМ МАССИВЕ ДАШКЕСАН (ДАШКЕСАНСКОЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Э.А. САДЫХОВ^{1,*}, А.С. ДЕСЯТКИН¹, А.А. ВЕЛИЕВ², Э.К. ХМАРИН³

¹ АО «Зарубежгеология», холдинг Росгеология
69, корп. Б, ул. Новочеремушкинская, г. Москва 117418, Россия

² Азербайджанская Международная Горнодобывающая компания
2, ул. Измир, Башня Хаят 2, г. Баку AZ1065, Азербайджан

³ ООО «ЗН Геотерм» (АО «Зарубежнефть»)
9, стр. 1, пом. 35/110/1, Армянский переулок, г. Москва, 101000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются геохимические признаки магматического смешивания на примере Fe-Co месторождения Дашкесан с использованием геохимических данных и математического моделирования.

Цель. Создание петролого-геохимической модели магматического смешивания месторождения Дашкесан.

Материалы и методы. В основу работы положены полевые материалы, геохимические (ICP-MS, РФА), петрографические исследования шлифов и анализ ретроспективных материалов.

Результаты. Показано влияние процессов контаминации и магматического смешивания (mixing/mingling) на примере массива Дашкесан, с которым связано формирование Fe-Co скарнового месторождения. Богатый состав акцессорных минералов, вариации текстур и структур от гипидиоморфнозернистой до такситовой, наличие многочисленных шлиров и кучевых скоплений темноцветных минералов и многочисленные ксенолиты указывают на процессы магматического смешивания. Характерны геохимические аномалии в породах первой фазы (габбро) с повышенным содержанием литофильных и REE элементов, тогда как для пород последующих стадий гранитоидов наблюдаются пониженные содержания. Геохимические параметры указывают на относительно обогащенный магматический источник формирования пород комплекса с контаминацией континентальной коры и субдукционно-флюидным обогащением. Данные процессы привели к отклонению химического состава пород Дашкесана от состава типично островодужных магматических пород. Источником для пород габбро-гранитового комплекса являлись относительно обогащенные породы мантийного клина.

Ключевые слова: Дашкесан, магматический гибрианизм, геохимия, петрология, скарны, граниты

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: за счет средств аспирантуры ФГБУ «ВСЕГЕИ».

Для цитирования: Садыхов Э.А., Десяткин А.С., Велиев А.А., Хмарин Э.К. Геохимические признаки магматического гибрианизма в габбро-гранитном массиве Дашкесан (Дашкесанское железорудное месторождение, Азербайджан). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):52—64. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-52-64>

Статья поступила в редакцию 11.01.2024
Принята к публикации 15.04.2024
Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

GEOCHEMICAL SIGNS OF MAGMATIC COMMINGLING IN THE DASHKESAN GABBRO-GRANITE INTRUSION (DASHKESAN IRON ORE DEPOSIT, AZERBAIJAN)

EMIN A. SADIKHOV^{1,*}, ALEXEY S. DESYATKIN¹, ANAR A. VELIEV², EDUARD K. KHMARIN³

¹ JSC "Zarubezhgeologiya"
69, Novocheremushkinskaya str., Moscow 117418, Russia

² AIMC (Azerbaijan International Mining Company Limited)
2, Izmir str., Hayat 2, Baku AZ1065, Azerbaijan

³ LLC "ZN Geotherm" (JSC Zarubezhneft)
9, building 1, room 35/110/1, Armenian lane, Moscow 101000, Russia

ABSTRACT

Background. Geochemical signs of magmatic commingling are considered on the example of the Dashkesan Fe–Co deposit using geochemical data and mathematical modeling.

Aim. To develop a petrological-geochemical model of magmatic commingling in the Dashkesan ore deposit.

Materials and methods. The research methodology is based on field data, geochemical data (ICP-MS, XRF) analysis of retrospective data and petrographic studies of thin sections.

Results. The influence of the processes of contamination and magmatic commingling is shown using the Dashkesan deposit as an example. This site is associated with the formation of Fe-Co skarn deposits. The rich composition of accessory minerals, variations in textures and structures from hypidiomorphic granular to taxitic, the presence of numerous schlieren and cumulus accumulations of mafic minerals, and numerous xenoliths and enclaves — all are indicative of magmatic commingling processes. The rocks of the first gabbroid phase with increased contents of lithophile and REE elements are characterized by geochemical anomalies; at the same time, lower contents are observed for rocks of further stages of granitoids. The geochemical parameters indicate a relatively enriched magmatic source for the formation of rocks with contamination of the continental crust and subduction-fluid enrichment. These processes led to a deviation in the chemical composition of the Dashkesan rocks from the composition of typical island-arc igneous rocks. The source for the rocks of the gabbro-granite complex was the relatively enriched rocks of the mantle wedge. In addition to the process of melt mixing, the formation of the gabbro-granite complex was accompanied by crustal contamination and subduction enrichment.

Keywords: Dashkesan, commingling, geochemistry, petrology, skarns, granite, Lesser Caucasus

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

Financial disclosure: financing from the graduate school of the FGBU "VSEGEI".

For citation: Sadikhov E.A., Desyatkin A.S., Veliev A.A., Khmarin E.K. Geochemical signs of magmatic commingling in the Dashkesan gabbro-granite intrusion (Dashkesan iron ore deposit, Azerbaijan). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):52—64. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-52-64>

Manuscript received 04 August 2023

Accepted 15 April 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Введение

Явление магматического смешивания (mixing/mingling) при участии нескольких источников широко проявлено в формировании многофазных массивов в различных геодинамических обстановках. Так, взаимодействие разных по составу магм приводит к аномальным структурно-текстурным и геохимическим особенностям. Смешивание магм может происходить в магматических промежуточных камерах при контаминации и ассимиляции вмещающих пород или же пород предыдущих фаз. Несмотря на детальную петрографо-минералогическую изученность комплекса Дашкесан и многочисленным работам, посвященным его металлогении, аксессуарным минералам и скарнам, остаются вопросы о степени влияния субдукционных процессов, а также роли процессов магматического смешивания расплавов, которые отмечались и предыдущими исследователями [2, 3, 6, 11].

Дашкесанское месторождение располагается на территории Азербайджанской Республики, является одним из самых крупных железорудных месторождений в Закавказье и связано с внедрением габбро-гранитового массива [1, 5, 7]. Главной особенностью массива и месторождения является крайне разнообразный минеральный состав: рудных компонентов, а также аксессуарных минералов (сульфиды железа, никеля, кобальта, молибдена, цинка, свинца, меди, золота, а также адамин, гроссуляр, аметист, дашкесанит (хлор- и калийдоминантный аналог гастингсита), эритрин, актинолит и другие). Данный объект является центром внимания многих исследователей в первую очередь за счет своего уникального минерального состава и выступает эталоном контактово-метасоматического скарн-магнетитового месторождения.

Месторождение Дашкесан находится в Лок-Гарабагской (Сомхето-Карабахской) мезозойской островной дуге в пределах Малого Кавказа. Дашкесанский массив (рис. 1) площадью 38 км² локализован в пределах одноименного Дашкесанского синклинория, имеющего юго-восточное простирание, представляет собой трогообразную структуру с пологими углами падения крыльев, не превышающими 10–20°. Дашкесанский синклинорий сложен верхнеюрскими отложениями, разрез которых начинается глинами келловея, наращивается известняками оксфорда и заканчивается туфогенными образованиями киммериджа. Синклинорий в субширотном направлении пересекается глубинным разломом. Интрузивные породы Дашкесана прорывают вмещающие нижнемеловые породы, представленные вулкано-

генно-осадочными (туффиты, туфопесчаники) и вулканогенными (андезиты, андезибазальты) породами, и оказывают на них контактово-метаморфическое воздействие, образуя обширные поля скарнов на контактах с оксфордскими известняками [3,4,11]. Формирование пород массива Дашкесан по U-Pb методу оценивается интервалом 138 ± 2 — 143 ± 2 млн лет [10].

Используя современные геохимические методы, авторы в данной статье обосновывают степень влияния процессов магматического смешивания на становление массива на основе полученных лабораторных данных и геохимического моделирования с помощью миксинг-теста (mixing test) [14].

Геологическая характеристика

Массив Дашкесан представляет собой комплекс из нескольких фаз: первая фаза состоит из габброидов, занимающих около 20% объема; вторая фаза представлена гранитами и гранодиоритами, составляя около 70% массива; третья фаза включает жильные граниты, аплиты, занимая приблизительно 10% объема. Дайки, пересекающие массив, обычно образуют самостоятельные дайковые комплексы, состоящие главным образом из лампрофиров и долеритов, с характерными ступенчатыми сбросами и интенсивными гидротермальными изменениями [5]. Породы последующих фаз прорывают предыдущие, содержащие их ксенолиты и образующие характерные шлировые или теневые структуры (рис. 2а).

Первая фаза пород массива представлена широкой вариацией от габбро, норитов до габбродiorитов через фациальные переходы. Структура габброидных пород: габбровая, гипидиоморфнозернистая, офитовая, текстура от такситовой, неоднородной до массивной. Минеральный состав включает в себя клинопироксены диосид-авгитового ряда, и ортопироксен гиперстен, энстатит. Часто пироксены подвергаются вторичным изменениям, присутствуют включения магнетита, апатита. Плаггиоклазы представлены битовнит-лабрадором. Наблюдается прямая и обратная зональность таблитчатых плаггиоклазов. В фотографиях обратно рассеянных электронов в интерстициях наблюдается ксеногенный калиевый полевой шпат (рис. 2в—г). Также присутствует оторочка из темноцветных минералов на периферии зерен.

Породы второй фазы — гранитоиды, которые образуют вытянутое тело в субширотном направлении, которые занимают около 25 км² площади массива. Представлен широкий ряд гранитоидов от кварцевых диоритов

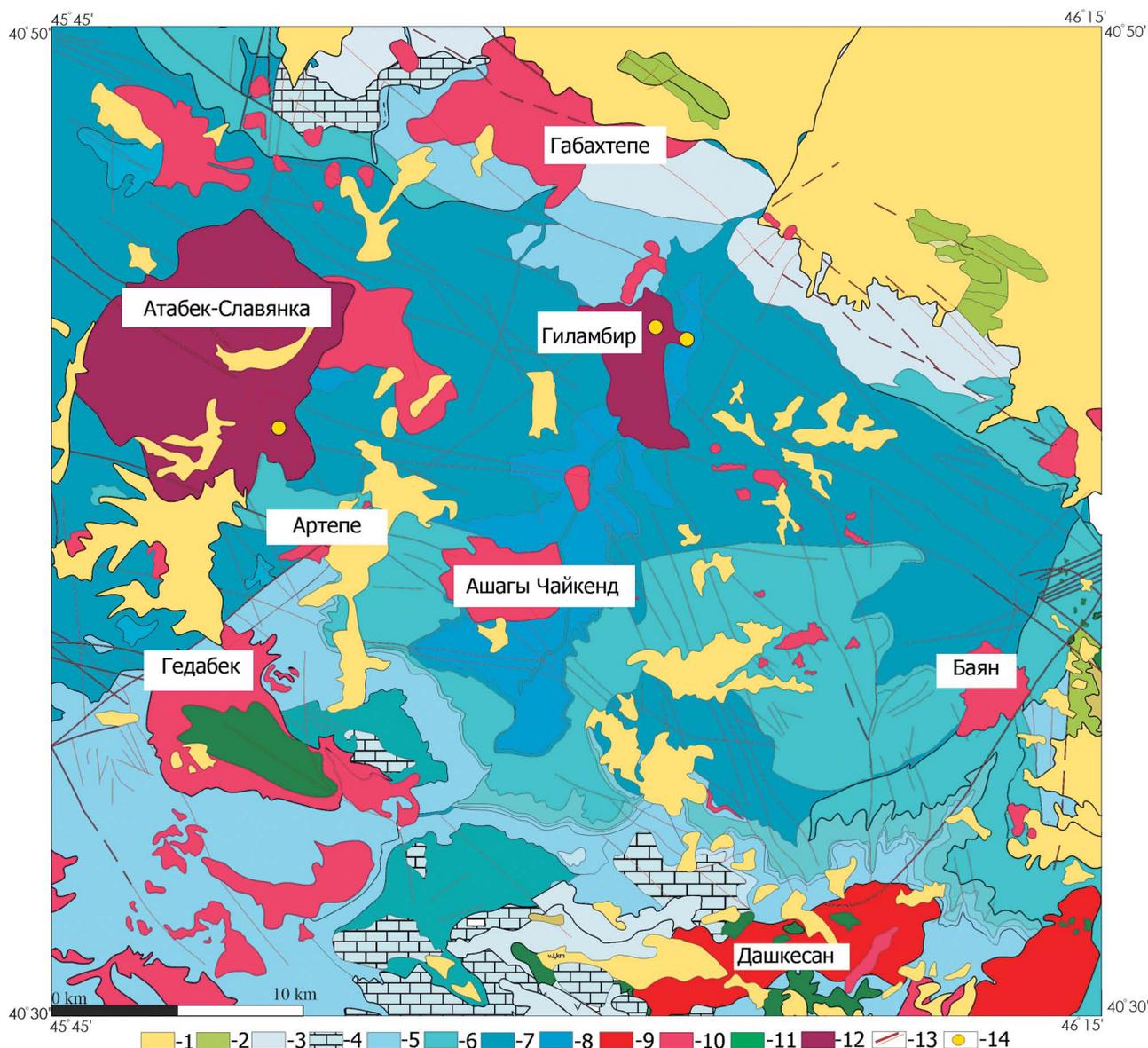


Рис. 1. Геологическая карта 1:50 000. 1. Четвертичные аллювиальные, делювиальные и пролювиальные отложения; 2. Меловые отложения. Известняки, мергели, песчаники, глины; 3. Киммериджский ярус. Туфы, вулканогенно-осадочные породы, андезиты; 4. Келловей-оксфордский ярус. Известняки и туфы; 5. Верхний Бат. Туфы, конгломераты, песчаники; 6. Нижний Бат. Вулканогенно-осадочные породы, песчаники; 7. Поздний Байос. Лавы дацитов, риолитов; 8. Нижний Байос. Базальты, андезиты, туфы; 9. Гранодиориты, граниты; 10. Кварцевые диориты, диориты; 11. Габброиды; 12. Плагиограниты; 13. Разрывные нарушения; 14. Пробы U-Pb

Fig. 1. Geological map 1:50 000. 1. Quaternary alluvial, eluvial and proluvial deposits; 2. Cretaceous deposits. Limestone, marl, sandstone, clay; 3. Kimmeridgian Stage. Tuff, volcanic-sedimentary rocks, andesite; 4. Callovian-Oxfordian stage. Limestone and tuff; 5. Late Bathonian. Tuff, conglomerate, sandstone; 6. Early Bathonian. Volcanogenic-sedimentary rocks, sandstone; 7. Late Bajocian. Lavas of dacite, rhyolite; 8. Early Bajocian. Basalt, andesite, tuff; 9. Granodiorite, granite; 10. Quartz diorite, diorite; 11. Gabbro; 12. Plagiogranite; 13. Faults; 14. U-Pb samples

до монцодиоритов, гранитов через фациальные переходы. Структура мелко-среднезернистая, равномерно зернистая, порфировая, текстура от массивной до такситовой. Минеральный состав

характерный для гранитоидных пород с содержанием кислого плагиоклаза 40—50%, ортоклаза 10—25% и темноцветных минералов (биотит, пироксен, роговая обманка).

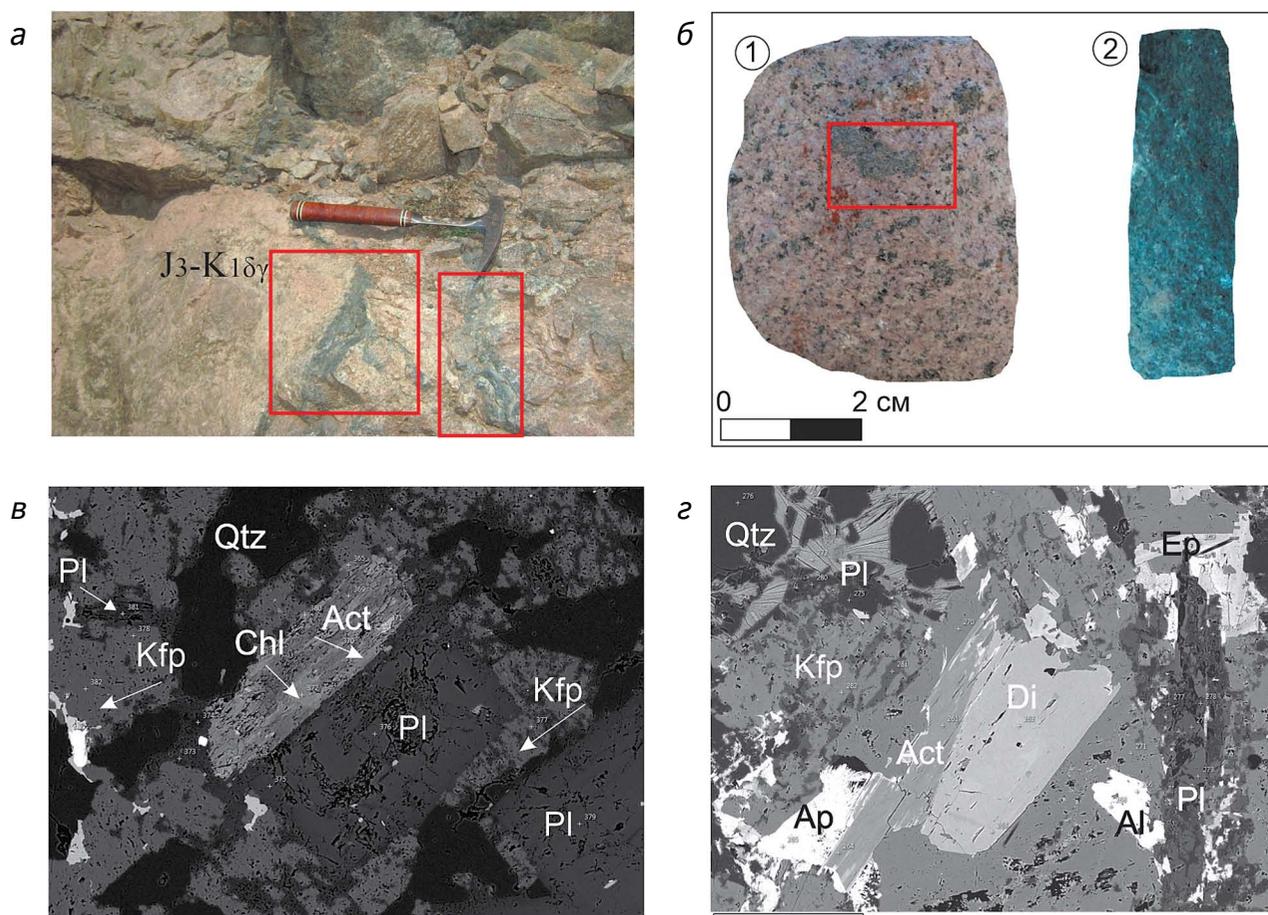


Рис. 2. Фотографии образцов и микрозондовые изображения. а — пример ксенолитов в обнажении; б — образец гранодиорита с включением ксенолита (1); (2) — образец габбро; в, г — изображение габбро в обратно рассеянных электронах. Act — актинолит, Di — диопсид; Pl — плагиоклаз, Kfp — калиевый полевой шпат, Qtz — кварц, Chl — хлорит, Ep — эпидот, Al — алланит

Fig. 2. Sample photographs and microprobe images. а — example of xenoliths in granodiorites; б — sample of granodiorite with inclusion of xenolith (1); (2) — gabbro sample; в, г — image of gabbro in backscattered electrons. Act—actinolite, Di—diopside; Pl — plagioclase, Kfp — potassium feldspar, Qtz — quartz, Chl — chlorite, Ep — epidote, Al — allanite

В гранитоидах часто обнаруживаются ксенолиты габброидов размером от 1 до 30 см и более, а также ксенолиты диоритов и эффузивных пород, включенных в их состав. Ксенолиты подвержены окварцеванию, амфиболизации, эпидотизации и серицитизации. Темные минералы часто претерпевают вторичные изменения, часто происходит хлоритизация, а пироксен заменяется амфиболом. Содержание темных минералов в породах обычно неоднородно. Граниты встречаются в небольших количествах только апикальных частях. Они представляют собой плотные, светло-розовые породы средней зернистости, имеющие однородную структуру и массивную текстуру, внешне напоминающие гранодиориты с высоким содержанием лейкократовых минералов.

Породы третьей фазы образуют тонкие (от 2—3 см до 1 м) аплитовидные жилы, проникающие, как в гранитоиды второй фазы, так и в габброиды первой фазы. Эти аплитовидные жилы состоят из розовых мелкозернистых пород с высоким содержанием светлых минералов и минимальным содержанием темных минералов. В зонах контакта между гранитом и аплитом часто встречаются ксенолиты из окружающих пород. Дайки и тонкие аплитовые жилы распространены в большом количестве.

Становление массива Дашкесан завершается формированием даек долеритов и лампрофиров. Протяженность и мощность этих даек варьируют в широких пределах, они часто разбиты микротрещинами, ступенчато сброшены и изменены.

Геохимическая характеристика

Содержание SiO₂ в магматических породах Дашкесанского массива колеблется от 43 до 71%, образуя последовательный непрерывный тренд от габброидов до гранитоидов. Соотношение Na₂O/K₂O изменяется в широком диапазоне (от 1,2 до 8,5) породы Дашкесанского массива охватывают области

низкокальциевой, известково-щелочной и высококальциевой серий. Статистический химический состав пород массива Дашкесан приведен в таблице 1.

Наблюдаются отрицательные корреляции SiO₂ с Al₂O₃ и MgO для пород первой фазы, тренды остальных петрогенных элементов не устанавливает четкой корреляционной связи. Для гранитоидов

Таблица 1. Сводные статистические данные по магматическим породам Дашкесанского массива
Table 1. Summary statistics on igneous rocks of the Dashkesan

	Габбро n = 12			Диорит n = 8			Гранодиорит n = 11			Гранит n = 16 по данным (Мустафаев 1977)
	Медиана	Q1	Q3	Медиана	Q1	Q3	Медиана	Q1	Q3	Среднее
SiO ₂	53,80	53,08	54,33	56,70	56,23	58,23	66,60	63,40	67,95	72,63
Al ₂ O ₃	17,60	17,15	17,93	17,05	16,35	17,30	16,00	15,70	16,80	12,76
Fe ₂ O ₃	6,33	3,54	7,78	7,50	5,42	8,89	3,31	2,75	3,55	2,68
MnO	0,11	0,10	0,12	0,13	0,10	0,14	0,07	0,06	0,09	0,02
MgO	4,84	4,27	5,08	3,45	3,23	3,71	1,17	0,95	1,80	0,64
CaO	11,65	7,89	13,35	6,99	6,80	7,22	3,47	2,88	4,59	1,84
Na ₂ O	3,38	3,15	3,89	3,93	3,65	4,33	4,20	4,04	4,27	3,13
K ₂ O	1,25	0,65	1,59	1,75	1,52	1,94	3,63	2,38	3,76	4,61
TiO ₂	1,16	1,10	1,24	1,36	1,27	1,46	0,71	0,58	0,80	0,18
P ₂ O ₅	0,25	0,22	0,30	0,32	0,23	0,39	0,14	0,12	0,16	0,07
LOI	0,80	0,68	0,97	0,58	0,53	0,74	0,66	0,48	1,63	1,30
TOTAL	101,15	91,80	106,57	99,74	95,32	104,33	99,96	93,33	105,38	99,86
V	213	195	232	198	142	249	73	55	102	40
Cr	22	16	58	38	33	42	15	8	19	10
Co	17	10	22	19	13	22	6	5	6	5
Ni	22	13	42	20	15	25	5	4	7	17
Cu	12	8	37	34	19	86	6	3	13	13
Zn	32	27	35	66	45	81	41	35	57	51
Rb	18	9	31	35	22	36	53	46	67	70
Sr	535	478	565	469	433	505	292	264	372	
Y	23	19	28	31	29	34	26	24	28	
Zr	109	88	158	205	162	217	249	237	261	
Nb	7,5	5,5	11,0	15,1	12,0	17,0	13,8	12,9	15,1	
Mo	1,3	0,9	2,0	1,9	1,6	2,6	1,9	1,6	2,6	0,5
Ag	0,06	0,04	0,08	0,06	0,05	0,11	0,08	0,06	0,09	
Sn	1,7	1,1	1,7	1,4	1,3	1,7	1,6	1,1	2,1	0,9
Sb	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	
Ba	189	136	239	226	206	254	359	330	394	
La	23,70	17,88	26,18	25,20	22,30	26,23	23,50	17,95	28,40	12,00
Ce	45,65	34,40	48,43	49,35	45,80	52,38	48,90	36,15	52,05	25,00

Продолжение таблицы

	Габбро <i>n</i> = 12			Диорит <i>n</i> = 8			Гранодиорит <i>n</i> = 11			Гранит <i>n</i> = 16 по данным (Мустафаев 1977)
	Медиана	Q1	Q3	Медиана	Q1	Q3	Медиана	Q1	Q3	Среднее
Pr	5,94	4,50	6,49	6,65	5,94	7,41	5,92	4,85	6,33	
Nd	23,50	17,68	27,40	27,95	25,55	31,40	21,60	19,55	23,25	
Sm	4,59	3,91	5,63	6,15	5,70	6,47	4,24	4,07	4,54	2,70
Eu	1,39	1,26	1,68	1,50	1,29	1,57	1,07	0,94	1,12	0,72
Gd	4,53	3,44	5,13	5,43	5,15	5,77	3,94	3,62	4,30	
Tb	0,64	0,52	0,79	0,87	0,74	0,94	0,64	0,57	0,70	0,54
Dy	4,08	3,47	4,94	5,31	4,78	6,07	4,37	3,85	4,59	
Ho	0,90	0,77	1,09	1,17	1,05	1,33	0,96	0,85	1,01	
Er	2,33	2,03	2,68	2,93	2,70	3,34	2,53	2,21	2,66	
Tm	0,37	0,31	0,40	0,47	0,43	0,55	0,43	0,39	0,46	
Yb	1,95	1,76	2,33	2,71	2,49	2,98	2,33	2,22	2,67	2,60
Lu	0,37	0,33	0,40	0,44	0,37	0,50	0,44	0,39	0,47	0,42
Hf	2,74	2,03	3,73	4,53	3,27	5,10	5,83	5,61	6,09	5,70
Ta	0,43	0,34	0,75	0,97	0,77	1,06	1,11	1,05	1,23	
W	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,9	
Pb	2,4	2,1	3,9	5,2	4,5	5,9	6,5	5,0	9,0	
Bi	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Th	3,1	2,1	3,8	5,5	5,0	6,0	10,9	10,1	12,4	13,0
U	1,4	1,1	1,7	1,7	1,6	1,8	2,0	1,9	2,4	
Na ₂ O+K ₂ O	4,69	4,12	5,10	5,70	5,51	5,84	7,69	6,29	7,93	7,74
Na ₂ O/K ₂ O	2,68	2,31	5,20	1,99	1,87	2,84	1,13	1,08	1,83	0,68
Сумма REE	117,43	95,18	135,42	135,33	125,25	144,68	123,86	99,58	130,93	
LREE	102,73	80,93	116,91	116,43	106,91	124,95	107,95	83,98	113,76	
HREE	15,01	12,53	17,04	19,04	17,43	20,92	15,23	14,25	16,18	
(La/Yb) _n	7,66	6,85	8,24	6,89	6,66	7,33	7,25	5,39	9,52	3,31
(Gd/Yb) _n	1,75	1,57	1,88	1,72	1,60	1,83	1,50	1,15	1,61	
(La/Sm) _n	2,82	2,62	3,63	2,65	2,44	2,80	3,76	2,72	4,41	
Eu/Eu*	0,93	0,86	1,12	0,78	0,76	0,82	0,81	0,67	0,84	

характерна положительная корреляция с кремнекислотой для суммы щелочей и отрицательные корреляции с Fe₂O₃, MgO, CaO, Al₂O₃. Характерной чертой пород Дашкесана является также нетипично низкое содержание V, Cr, Co, Ni, Zn в габброидах и, наоборот, повышенное относительно кларка содержание Ba, Pb, Rb, Sr, K, Nb, Mo, Sn, Th, U, Ce, тогда как для гранитоидов второй фазы, наблюдается обратная картина. Также для габброидов наблюдается высокое содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в среднем 115 г/т,

для гранитоидов 120 г/т. Распределение (РЗЭ) в габброидах от умеренно до сильнодифференцированного (La/Yb)_n в среднем 7,70, а для пород второй фазы 7,4.

Обсуждение результатов

Согласно геологическим данным, массив Дашкесан является доскладчатым образованием, формирование которого непосредственно связано с субдукционными процессами. Распределение РЗЭ и мультиэлементные спектры

обнаруживают типичные для связанных с субдукцией магматических пород отрицательные Ta-Nb- и Ti-аномалии и обогащение субдукционными компонентами (Ba, Th, Sr, Pb, Nb) [9].

Таблица 2. Параметры миксинг теста (mixing test) [14]
Table 2. Mixing test parameters [14]

Порода	Образец	R	X
габброиды	обр. 19	0,97	0,66
	обр. 21	0,96	0,75
	обр. 23	0,97	0,66
	обр. 25	0,98	0,71
	обр. 6	0,93	0,75
	обр. 44	0,99	0,78
	обр. 45	0,95	0,69
	обр. 46	0,97	0,78
	обр. 46а	0,97	0,81
	обр. 46б	0,97	0,83
диориты	обр. 13	0,91	0,74
	обр. 30	0,94	0,47
	обр. 20	0,93	0,38
	обр. 24	0,97	0,53
	обр. 28	0,96	0,62
	обр. 9	0,95	0,59
	обр. 10	0,95	0,62
	обр. 12	0,95	0,60
гранитоиды	обр. 26	0,93	0,26
	обр. 31	0,94	0,47
	обр. 34	0,94	0,08
	обр. 35	0,94	0,11
	обр. 37	0,94	0,25
	обр. 39	0,92	0,16
	обр. 40	0,93	0,38
	обр. 4	0,76	0,02
дайки	обр. 8	-0,66	-0,02
	32	0,88	0,09
	обр. 2	0,95	0,85
	обр. 38	0,96	0,95
	обр. 41	0,96	1,08
	обр. 29	0,89	0,24
	обр. 3	0,75	0,04

R — коэффициент корреляции; X — угол наклона кривой и доля базальтовой магмы

Основываясь на минералогическом исследовании, можно сделать вывод, что в процессе становления массива, помимо кристаллической дифференциации, имело место магматическое смешивание [12, 13, 15, 16, 17, 18]. Этот вывод, помимо геологических наблюдений, основывается также на следующих фактах.

1. Разнообразие минеральных ассоциаций как породообразующих, так и аксессуарных минералов — наблюдаемая вариация текстур и структур гипидиоморфнозернистой до такситовой, наличие многочисленных шлиров и кучевых скоплений темноцветных минералов.

2. Присутствие включений калиевого полевого шпата в габброидах.

3. Обрастание плагиоклаза ортоклазом, кварцем, пироксеном, амфиболом, пойкилитовые структуры темноцветных минералов.

4. В пироксене и амфиболе встречаются включения плагиоклаза.

5. Широкие фациальные переходы в пределах одних фаз.

6. Включения ксенолитов предыдущих фаз по всему массиву

Дополнительно проведен миксинг-тест, предложенный Fourcade, Allergre [14].

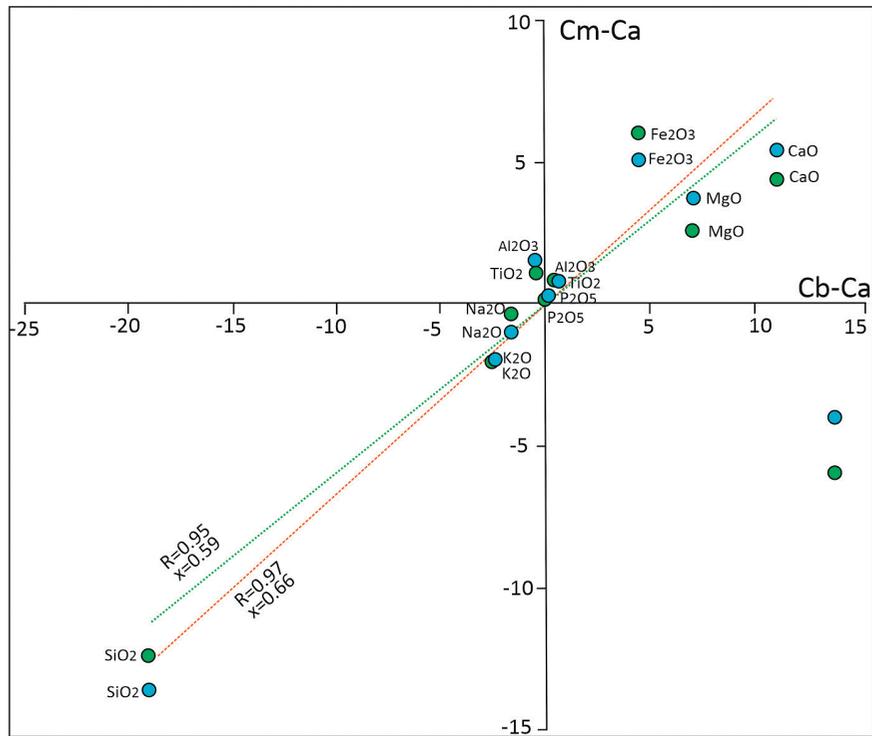
Если **A** — кислая, а **B** — основная магмы, то содержание **C** каждого элемента *i* в любом смешанном расплаве **M** должно соответствовать уравнению:

$$C_i^M = x \cdot C_i^A + (1 - x) \cdot C_i^B$$

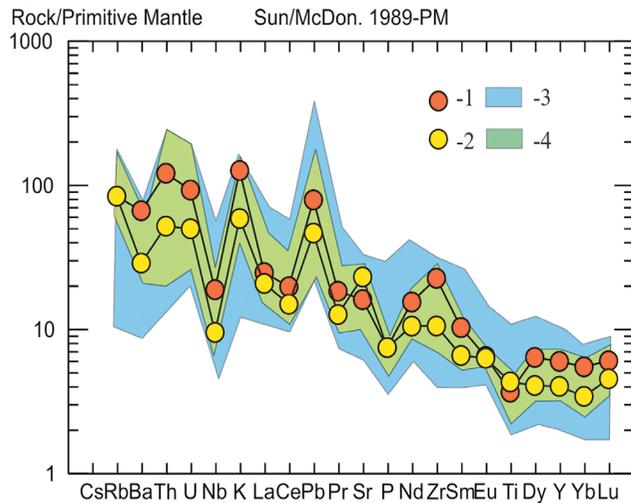
$$\text{или } C_i^M - C_i^A = x \cdot (C_i^B - C_i^A), \quad (1)$$

где x ($0 < x < 1$) — это доля основной мамы в смешанном расплаве **M**. Для получения гибридной магмы необходимо смешать два крайних ее члена, соответствующих наименее и наиболее дифференцированным разностям. Результатом решения уравнения является прямая в координатах **C^B-C^A**, **C^M-C^B**, где наклон кривой определяет долю основной магмы при формировании как конечно-го, так и всех промежуточных составов гибридных пород. Полученные положительные корреляции отражают высокую вероятность модели смешения. Как видно из результатов моделирования (табл. 2), габброиды Дашкесана могли формироваться в результате смешения 65—95% (75% в среднем) основной магмы и 5—35% гранитной магмы; при формировании кварцевых диоритов и грандиоритов доля базальтовой составляла 40—70% (60% в среднем), а гранитоидов — около 15%. На (рис. 3а) для примера показана модель смешения для двух образцов: габбродиорита

a



б



в

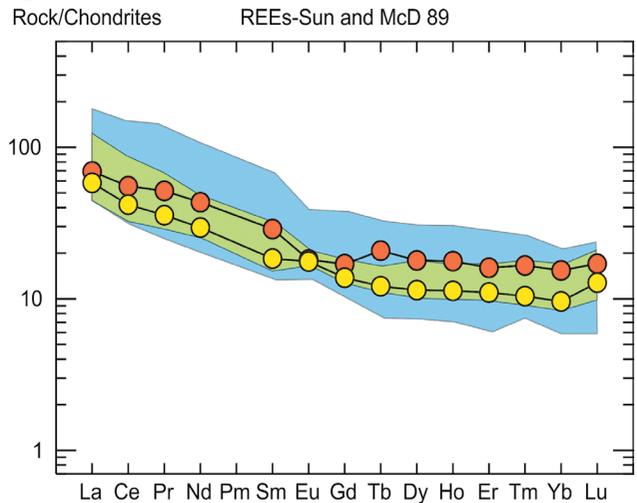


Рис. 3. Математический расчет для миксинг теста [14]. а — для петрогенных элементов диорита (1) обр. 9 и габбродиорита (2) обр. 19 с линейными трендами. При расчете использовались значения C_a = обр. 33, C_b = обр. 47; x — объемное содержание мафического компонента, R — коэффициент корреляции; б, в — распределение редкоземельных и микроэлементов для магматических пород габбро-гранитового комплекса, нормированные на: б — хондрит [Sun, McDonough, 1989], в — примитивную мантию [Sun, McDonough, 1989].

1 — наблюдаемые содержания в граните (обр. 39); 2 — модельные содержания в граните (обр. 39); 3 — реальные составы пород; 4 — модельные составы пород

Fig. 3. Calculation for mixing test [14]. а — for petrogenic elements, diorite (1) sample 9 and gabbrodiorite (2) sample 19 with linear trends. The calculations used the values of C_a = sample. 33, C_b = sample. 47; x is the content of the mafic component, R is the correlation coefficient; б, в — distribution of rare earth and trace elements for igneous rocks of the gabbro-granite complex, normalized to: б — chondrite [Sun, McDonough, 1989], в — primitive mantle [Sun, McDonough, 1989].

1 — observed contents in granite (sample 39); 2 — model contents in granite (sample 39); 3 — rock compositions; 4 — model compositions

и диорита. Хорошая линейная корреляция ($R = 0,95—0,97$) указывает на справедливость модели.

В дополнение к этому проведено сравнение реально наблюдаемых содержаний редкоземельных и микроэлементов с вычисленными содержаниями элементов в гибридной породе. В целом отмечается хорошее совпадение реальных и модельных распределений. Тем не менее совпадения не идеальны, наиболее сильны различия в содержаниях Th, U, Pb, Sr, Ba, Nb, Ta, Zr. Неполное совпадение содержаний микро- и редкоземельных элементов в первую очередь объясняется тем, что процесс смешения сопровождался коровой контаминацией, магматическим и субдукционным обогащением [9].

Модель образования пород Дашкесанского комплекса (рис. 4) заключается в выплавлении родоначальных расплавов из обогащенных пород мантийного клина при активном участии субдукционных флюидов, которые образуются в результате плавления осадков плиты. Наблюдаемое мантийное обогащение возможно за счет неоднородности субстрата и мантийного метасоматоза. По мере продвижения расплавов кислая и основная магмы смешиваются в промежуточных камерах или же кислая магма во второй фазе внедрения прорывает уже существующие габброиды. Обычно температуры кислой магмы недостаточно для плавления основных пород, однако взаимодействие с флюидной составляющей приводит к возрастанию

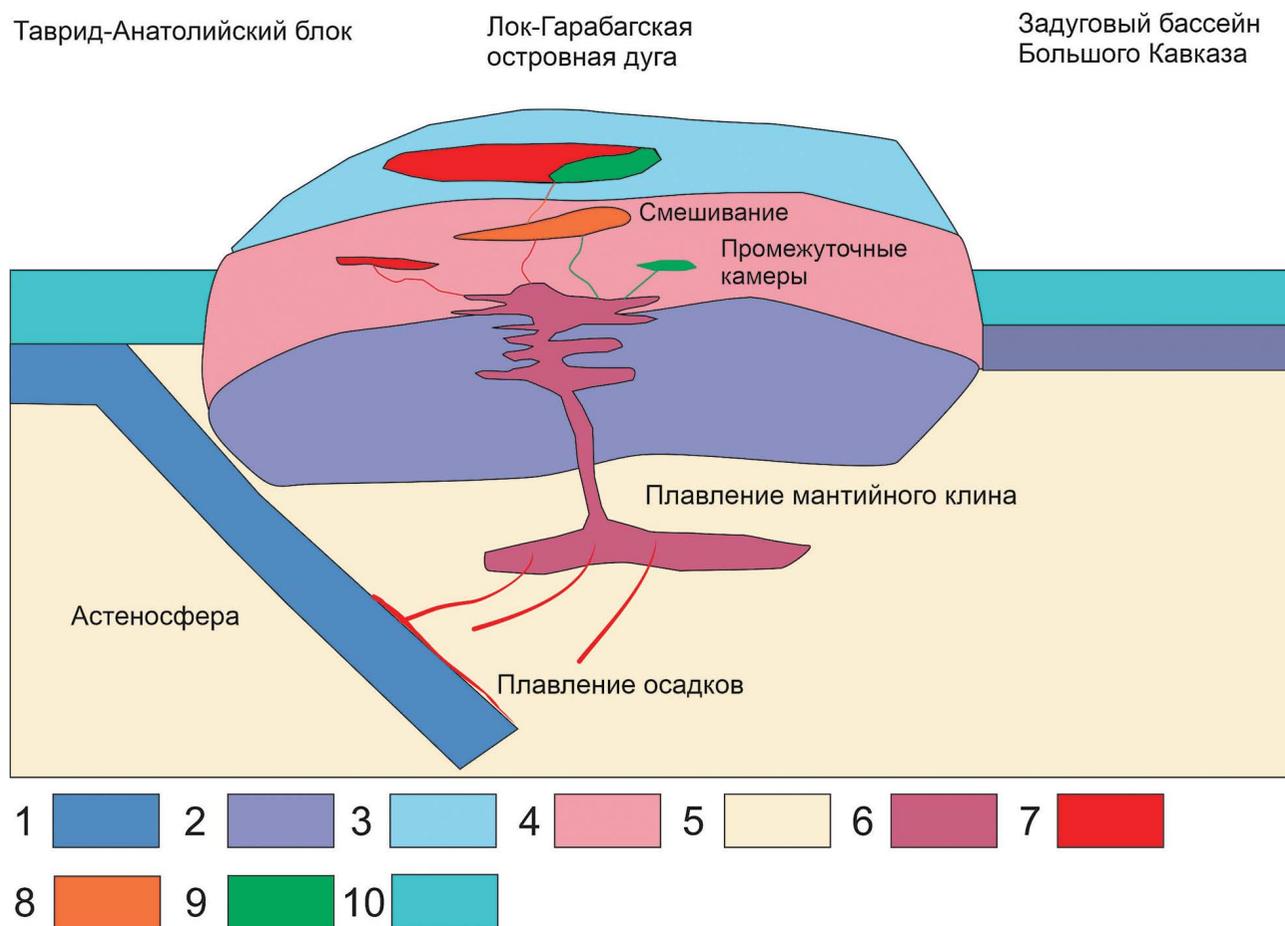


Рис. 4. Модель формирования массива Дашкесан

1 — океаническая плита; 2 — океаническая кора задугового бассейна; 3 — мезозойские вулканиты; 4 — континентальная кора; 5 — астеносфера; 6 — плавление мантийного клина; 7 — гранитоиды; 8 — промежуточные магматические камеры смешивания; 9 — габброиды; 10 — океан

Fig. 4. The model of the formation of the Dashkesan intrusion

1 — oceanic plate; 2 — oceanic crust of the back-arc basin; 3 — Mesozoic volcanic rocks; 4 — continental crust; 5 — asthenosphere; 6 — melting of the mantle wedge; 7 — granite; 8 — transitional magmatic mixing chambers; 9 — gabbro; 10 — ocean

физико-химической активности, что приводит к возможности частичного переплавления габброидных пород по периметру, их захвату и дальнейшей переработке.

Заключение

Геохимические особенности пород Дашкесана — наличие положительной и отрицательной европиевой аномалии, аномально высокое содержание редкоземельных элементов в породах первой фазы, повышенное содержание литофильных и высокозарядных элементов Nb, Rb, Ba, Sr, Pb, U, Th, K, Zr, Hf в габброидах, низкие содержания типич-

ных для кислых дифференциатов микроэлементов и суммы редкоземельных элементов, — скорее всего, обусловлены процессами смешения расплавов (миксинг/миглинг) и коровой контаминации. На основе математического расчета миксинг-теста формирование переходных фаций возможно за счет смешения ~ 60% основной магмы и 40% кислой магмы. Модель формирования комплекса заключается в первичном плавлении обогащенного мантийного клина и дальнейшем перемещении в магматических камерах, а также коровой контаминацией, ассимиляцией и субдукционным обогащением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдуллаев Р.Н., Мустафаев Г.В., Мустафаев М.А. и др.* Мезозойские магматические формации Малого Кавказа и связанное с ними эндогенное оруденение / под ред. Э.Ш. Шихалибейли. Баку: Элм, 1988. 160 с.
2. *Исмаил-заде А.Д.* Петрологическая интерпретация процесса гибридизма в мезозойских гранитоидных интрузивах Малого Кавказа // Изв. НАНА. Сер. Науки о Земле. 2006. № 2. С. 9—19.
3. *Кашкай М.А.* Петрология и металлогения Дашкесана и других железорудных месторождений Азербайджана. М., 1965. 888 с.
4. *Марфунин А.С.* Материалы к петрографии Дашкесанского массива и его контактового поля // Труды ИГН АН СССР. Вып. 165. Сер. петрограф. 1955. № 147. С. 113—142.
5. *Мустафаев Г.В.* Мезозойские гранитоиды Азербайджана и особенности их металлогении. Баку: Элм, 1977. 234 с.
6. *Мустафаев Г.В.* О гибридизме магм мезозойских интрузивов Малого Кавказа и фемическом профиле эндогенного оруденения // Магматизм, формации кристаллических пород и глубины земли. М.: Наука, 1974. С. 25—27.
7. *Нагиев В.Н.* Рудные месторождения Азербайджанской Республики: монография / науч. ред. С.А. Бекташи; ред. Ю.Д. Заманов. Баку: Элм, 2007. 596 с.
8. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
9. *Садыхов Э.А.* Мезозойские плутонические комплексы Лок-Гарабахской зоны Малого Кавказа: геохимическая характеристика, возраст и магматические источники. Диссертация, 2019. С.189
10. *Садыхов Э.А.* Геохимия, U-Pb датирование и геодинамические условия формирования габбро-гранитового комплекса Лок-Гарабахской тектономагматической зоны (Дашкесанский интрузив) // Мат-лы конференции «Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании». Екатеринбург, 2017. С. 264—266.
11. *Шипулин Ф.К.* Интрузии и рудообразование (на примере Дашкесана). Л.: Наука, 1968. 216 с.
12. *Baxter S., Feely M.* Magma mixing and mingling textures in granitoids: examples from the Galway Granite, Connemara, Ireland // Mineralogy and Petrology. 2002. Vol. 76. No. 1. P. 63—74.
13. *Enclaves and granite petrology / J. Didier & B. Barbarin.* Elsevier, 1991. 601 p.
14. *Fourcade S., Allegre C.J.* Trace elements behavior in granite genesis: a case study. The calc-alkaline plutonic association from the Querigut complex (Pyrenées, France) // Contrib. Mineral. Petrol. 1981. Vol. 76. No. 2. P. 177—195
15. *Frost T.P., Mahood G.A.* Field, chemical and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamarck Granodiorite, Sierra Nevada, California // Geological Society of America Bulletin. 1987. Vol. 99. P. 272—291.
16. *Hibbard M.J.* The magma mixing origin of mantled feldspars // Contrib. Mineral. Petrol. 1981. Vol. 76. P. 158—170.
17. *Hibbard M.J.* Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems / J. Didier, B. Barbarin (eds.) // Enclaves and granite petrology. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 13. P. 431—444.
18. *Wilcox R.E.* The idea of magma mixing: history of a struggle for acceptance // J. Geol. 1999. Vol. 107. P. 421—432.

REFERENCES

1. *Abdullaev R.N., Mustafaev G.V., Mustafaev M.A., et al.* Mesozoic igneous formations of the Lesser Caucasus and associated endogenous mineralization / ed. E.Sh. Shikhalibeyli. Baku: Elm, 1988. 160 p.
2. *Ismail-zade A.D.* Petrological interpretation of the process of hybridism in Mesozoic granitoid intrusions of the Lesser Caucasus // ANAS Transactions, Earth Sciences. 2006. No. 2. P. 9—19.

3. Kashkai M.A. Petrology and metallogeny of Dashkesan and other iron ore deposits of Azerbaijan. Moscow, 1965. 888 p.
4. Marfunin A.S. Materials for the petrography of the Dashkesan massif and its contact field // Proceedings of the Geological Institute of USSR. Vol. 165. Petrography section 1955. No. 147. P. 113—142.
5. Mustafaev G.V. Mesozoic granitoids of Azerbaijan and features of their metallogeny. Baku: Elm, 1977. 234 p.
6. Mustafaev G.V. On the hybridism of magmas of the Mesozoic intrusions of the Lesser Caucasus and the femic profile of endogenous mineralization // Magmatism, formations of crystalline rocks and the depths of the earth. Moscow: Nauka, 1974. P. 25—27.
7. Nagiev V.N. Ore deposits of the Azerbaijan Republic: monograph / scientific. ed. S.A. Bektashi; ed. Yu.D. Zamanov. Baku: Elm, 2007. 596 p.
8. Petrographic Code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, impact formations. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2009. 200 p.
9. Sadikhov E.A. Geochemistry, U-Pb dating and geodynamic conditions for the formation of the gabbro-granite complex of the Lok-Garabakh tectonomagmatic zone (Dashkesan intrusion) // Materials of the conference “Granites and the evolution of the Earth: mantle and crust in granite formation”. Ekaterinburg, 2017. P. 264—266.
10. Sadikhov E.A. Mesozoic plutonic complexes of the Lok-Garabag zone of the Lesser Caucasus: geochemical characteristics, age and magmatic sources. PhD thesis, 2019. P.189
11. Shipulin F.K. Intrusions and ore formation (using the example of Dashkesan). Leningrad: Nauka, 1968. 216 p.
12. Baxter S., Feely M. Magma mixing and mingling textures in granitoids: examples from the Galway Granite, Connemara, Ireland // Mineralogy and Petrology. 2002. Vol. 76. No. 1. P. 63—74.
13. Enclaves and granite petrology / J. Didier & B. Barbarin. Elsevier, 1991. 601 p.
14. Fourcade S., Allegre C.J. Trace elements behavior in granite genesis: a case study. The calc-alkaline plutonic association from the Querigut complex (Pyrénées, France) // Contrib. Mineral. Petrol. 1981. Vol. 76. No. 2. P. 177—195
15. Frost T.P, Mahood G.A. Field, chemical and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamarck Granodiorite, Sierra Nevada, California // Geological Society of America Bulletin. 1987. Vol. 99. P. 272—291.
16. Hibbard M.J The magma mixing origin of mantled feldspars // Contrib. Mineral. Petrol. 1981. Vol. 76. P. 158—170.
17. Hibbard M.J. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems / J Didier, B. Barbarin (eds.) // Enclaves and granite petrology. Amsterdam: Elsevier, 1991. Vol. 13. P. 431—444.
18. Wilcox R.E. The idea of magma mixing: history of a struggle for acceptance // J. Geol. 1999. Vol. 107. P. 421—432.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Садыхов Э.А. — разработал концепцию статьи, провел структуризацию материала, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Десяткин А.С. — внес вклад в написании текста статьи, утвердил концепцию.

Велиев А.А. — предоставил геологические данные, внес вклад в концепцию статьи.

Хмарин Э.К. — внес вклад в обработку материалов и графическое оформление.

Emin A. Sadikhov — developed the concept of the article, structured the data, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Alexey S. Desyatkin — contributed to writing the text of the article, approved the concept.

Anar A. Veliev — provided geological data, contributed to the concept of the article.

Eduard K. Khmarin — contributed to data processing and graphic design.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Садыхов Эмин Али оглы* — ведущий геолог АО «Зарубежгеология».

69, корп. Б, ул. Новочеремушкинская, Москва 117418, Россия

тел.: +7 (906) 228-50-75

e-mail: sadikhov.emin@gmail.com

SPIN-код: 9142-6084

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4699-1546>

Emin A. Sadikhov* — lead geologist of JSC “Zarubezhgeologiya”.

69, Novocheremushkinskaya str., Moscow 117418, Russia

tel.: +7 (906) 228-50-75

e-mail: sadikhov.emin@gmail.com

SPIN-code: 9142-6084

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4699-1546>

ГЕОЛОГИЯ /
GEOLOGY

Десяткин Алексей Сергеевич — генеральный директор АО «Зарубежгеология».
69, корп. Б, ул. Новочеремушкинская, Москва 117418, Россия
тел.: +7 (965) 224-56-43
e-mail: asdesyatkin@rusgeology.ru

Велиев Анар Алескер оглы — PhD, менеджер по геологии и разработке AIMC (Azerbaijan International Mining Company Limited).
2, ул. Измир, Башня Хаят 2, Баку AZ1065, Азербайджан
тел.: +994 (50) 235-78-79
e-mail: anar.veliyev@aimc.az

Хмарин Эдуард Константинович — менеджер по геологии и разработке ООО «ЗН Геотерм» (АО «Зарубежнефть»)
9, строение 1, помещение 35/110/1, Армянский пер., Москва 101000, Россия
тел.: +7 (914) 094-92-43
e-mail: e.khmarin@gmail.com

Alexey S. Desyatkin — General Director of JSC “Zarubezhgeologiya”.
69, Novocheremushkinskaya str., Moscow 117418, Russia
tel.: +7 (965) 224-56-43
e-mail: asdesyatkin@rusgeology.ru

Anar A. Veliev — PhD, exploration and project manager AIMC (Azerbaijan International Mining Company Limited).
2, Izmir str., Hayat 2, Baku AZ1065, Azerbaijan
tel.: +994 (50) 235-78-79
e-mail: anar.veliyev@aimc.az

Eduard K. Khmarin — exploration and project manager “ZN Geotherm” LLC (Zarubezhneft JSC).
9, building 1, room 35/110/1, Armenian lane, Moscow 101000, Russia
tel.: +7 (914) 094-92-43
e-mail: e.khmarin@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, ГРАФИТ, УГЛЕВОДОРОДЫ) В АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

П.А. ИГНАТОВ¹, Р.У. ЕРЕМЕНКО^{1,*}, А.В. ТОЛСТОВ², И.М. ОВЧИННИКОВ³

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

² ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения
Российской академии наук
39, Ленина пр., г. Якутск 677000, Россия

³ АК «АЛРОСА» (ПАО)
6, Ленина ул., г. Мирный 678174, Республика Саха (Якутия), Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В пределах Накынского, Мирнинского и Слюдякарского алмазоносных полей, входящих соответственно в Средне-Мархинский, Мало-Ботуобинский и Ыгыаттинский районы Западной Якутской алмазоносной провинции, имеются предпосылки, признаки и проявления месторождений стратегических видов минерального сырья Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, углеводородов и графита.

Цель. Установить наличие стратегических видов полезных ископаемых в алмазоносных районах Западной Якутии.

Материалы и методы. В основе исследования лежат данные личной документации керна и точечных проб. Также компанией АЛРОСА были предоставлены результаты тысячи РФА-анализов, отобранных систематически при бурении поисковых скважин на кимберлиты. Обработка данных выполнена по стандартной методике статистического анализа с использованием возможностей программы Excel. Картирование и ведение цифровой базы данных осуществлялось в среде Quantum GIS (QGIS).

Результаты. В Ыгыаттинском районе в триасовых силлах Холомолохской интрузии локализованы площади в ранге потенциальных рудных полей сульфидных медно-никелевых с платинидами руд Норильско-Талнахского типа. В поздний девон-каменноугольной коре выветривания по кимберлитам имеется рудопроявление Sc, Co, Ni, V, цериевых редких земель. В Накынском поле в переотложенных корах выветривания поздний триас-раннеюрского возраста локализованы рудопроявления скандия и проявления ванадия и цериевых редких земель. В Мало-Ботуобинском районе установлены участки проявлений Sc, Cu-Ni сульфидной минерализации, бурого угля, графита и битумов как признаков залежей нефти, а также рассолы с высокими содержаниями брома, стронция и лития.

Заключение. Представленные данные позволяют установить наличие различных типов полезных ископаемых в разных алмазоносных районах Западной Якутии и могут стать основой для будущих поисковых работ.

Ключевые слова алмазоносные поля, коры выветривания, стратегические виды минерального сырья Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, Li, Sr, графит, уголь, Br-Sr-Li рассолы, битумы, нефть

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках исследований МГРИ по гранту Российского научного фонда № 23-27-00280.

Для цитирования: Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы обнаружения месторождений стратегических полезных ископаемых (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, графит, углеводороды) в алмазоносных районах юга Западной Якутии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):65—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-65-78>

Статья поступила в редакцию 30.11.2023

Принята к публикации 12.12.2023

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

PROSPECTS FOR THE DISCOVERY OF STRATEGIC MINERAL DEPOSITS (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, GRAPHITE, HYDROCARBONS) IN THE DIAMOND-BEARING AREAS OF THE SOUTH OF WESTERN YAKUTIA

PETR A. IGNATOV¹, RUSLAN U. EREMENKO^{1,*}, ALEXANDER V. TOLSTOV², ILYA M. OVCHINNIKOV³

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

² *Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
39, Lenin ave., Yakutsk 677000, Russia*

³ *JSC ALROSA (PJSC)
6, Lenina str., Mirny 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Russia*

ABSTRACT

Background. There are prerequisites, signs and manifestations of deposits of strategic types of mineral raw materials Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, hydrocarbons and graphite within the Nakyn, Mirninsky and Syuldyukarsky diamond-bearing fields, which are included, respectively, in the Sredne-Markhinsky, Malo-Botuobinsky and Ygyattinsky districts of the Western Yakut diamond province, there are prerequisites, signs and manifestations of deposits of strategic types of mineral raw materials Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE.

Aim. To establish the presence of strategic types of minerals in the diamond-bearing regions of Western Yakutia.

Materials and methods. The study is based on personal documentation of core and spot samples. ALROSA also provided the results of thousands of XRF analyzes that were systematically selected when drilling exploratory wells for kimberlites. Data processing was carried out according to standard statistical analysis methods using the capabilities of the Excel program. Mapping and maintenance of the digital database was carried out in the Quantum GIS (QGIS) environment.

Results. In the Ygyatta district, in the Triassic sills of the Holomolokha intrusion, areas in the rank of potential ore fields of copper-nickel sulfide ores with platinoids of the Norilsk-Talnakh type are localized. In the Late Devonian-carboniferous crust of weathering by kimberlites, there is an ore occurrence of Sc, Co, Ni, V, cerium rare earths. In the Nakyn field, ore occurrences of scandium and manifestations of vanadium and cerium rare earths are localized in the re-deposited weathering crusts of the late Triassic-Early Jurassic age. In the Malo-Botuobinsky district, sites of manifestations of Sc, Si-Ni sulfide mineralization, brown coal, graphite and bitumen as signs of oil deposits, as well as brines with high concentrations of bromine, strontium and lithium were found.

Conclusion. The presented data allows us to establish the presence of various types of minerals in different diamond-bearing regions of Western Yakutia and can become the basis for future prospecting work.

Keywords: diamond-bearing fields, weathering crusts, strategic types of mineral raw materials, Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, Li, Sr, graphite, coal, Br-Sr-Li brines, bitumen, oil

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

Financial disclosure: the work was carried out within the framework of MGRI research under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-27-00280.

For citation: Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for the discovery of strategic mineral deposits (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, graphite, hydrocarbons) in the diamond-bearing areas of the south of Western Yakutia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):65—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-65-78>

Manuscript received 30 November 2023

Accepted 12 December 2023

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Введение

В Западно-Якутской алмазоносной провинции, помимо алмазных месторождений, известно гигантское месторождение редких металлов в карбонатитах Томтор [10,17], имеются месторождения нефти и газа [1], металлонесные рассолы [3, 15], многочисленные россыпи золота и платины [19], обоснованы перспективы обнаружения сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд Норильского типа [9] и скандиевых месторождений в древних корях выветривания [5],

Ниже приведены примеры проявлений этих и других стратегических видов минерального сырья, распространенных в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском и Ыгыаттинском кимберлитовых районах. Это особенно важно для первых двух районов, где в Мирнинском и Накынском полях ведется разработка алмазных месторождений, и обнаружение здесь месторождений высоколиквидных руд может существенно повысить их экономический потенциал.

Фактический материал и методы исследований

В работе использованы данные специальной авторской документации и изучения керн поисковых скважин [8], вскрывших разрезы осадочного чехла Восточно-Сибирской платформы до глубин 200 и более метров. Скважины пройдены Вилюйской ГРЭ по поисковым сетям от 400×400 до 100×100 и 20×40 м. В Накынском поле Средне-Мархинского района изучены тысячи разрезов общим объемом более 500 тысяч метров. В Слюдякарском поле Ыгыаттинского района задокументировано 430 разрезов объемом 14 000 м керн. В Мало-Ботуобинском районе на участке Улахан-Курунг-Юрях изучен керн 244 скважин длиной 7000 м, на поисковой площади Бестях — 238 скважин с объемом керн 17 300 м.

Для анализа геохимических данных использовано порядка 51 тысячи рентген-флуоресцентных (РФА) и десятки ICP AES анализов, выполненных в лабораториях АК АЛРОСА (ПАО) по результатам штучного опробования керн поискового бурения, выполненного геологами Вилюйской ГРЭ. Опробование было направлено на поиски кимберлитов и заверку шлихо-минералогических аномалий минералов — индикаторов кимберлитов и минералов — спутников алмаза.

Все скважины, пробы и анализы вместе с картографической основой введены в соответствующую составленную авторами базу данных, по которой создан геоинформационный проект в среде Quantum GIS (QGIS).

Обработка данных выполнена по стандартной методике статистического анализа с использованием возможностей программы Excel.

Результаты исследований

Проявления отмеченных выше высоколиквидных видов минерального сырья занимают свою позицию в геологическом разрезе южной части Западно-Якутской алмазоносной провинции. Это показано на сводных колонках Мало-Ботуобинского, Ыгыаттинского и Средне-Мархинского алмазоносных районов (рис. 1).

Надо отметить, что Мало-Ботуобинский и Ыгыаттинский районы имеют весьма похожее геологическое строение.

Главным типом месторождений в регионе являются коренные и россыпные месторождения алмазов. За исключением месторождения трубки Зарница, которая имеет мезозойский возраст, все промышленные алмазоносные трубки и дайки девонские. Они прорывают тонко обломочные и карбонатные толщи нижнего палеозоя и перекрыты угленосными породами верхнего карбона —

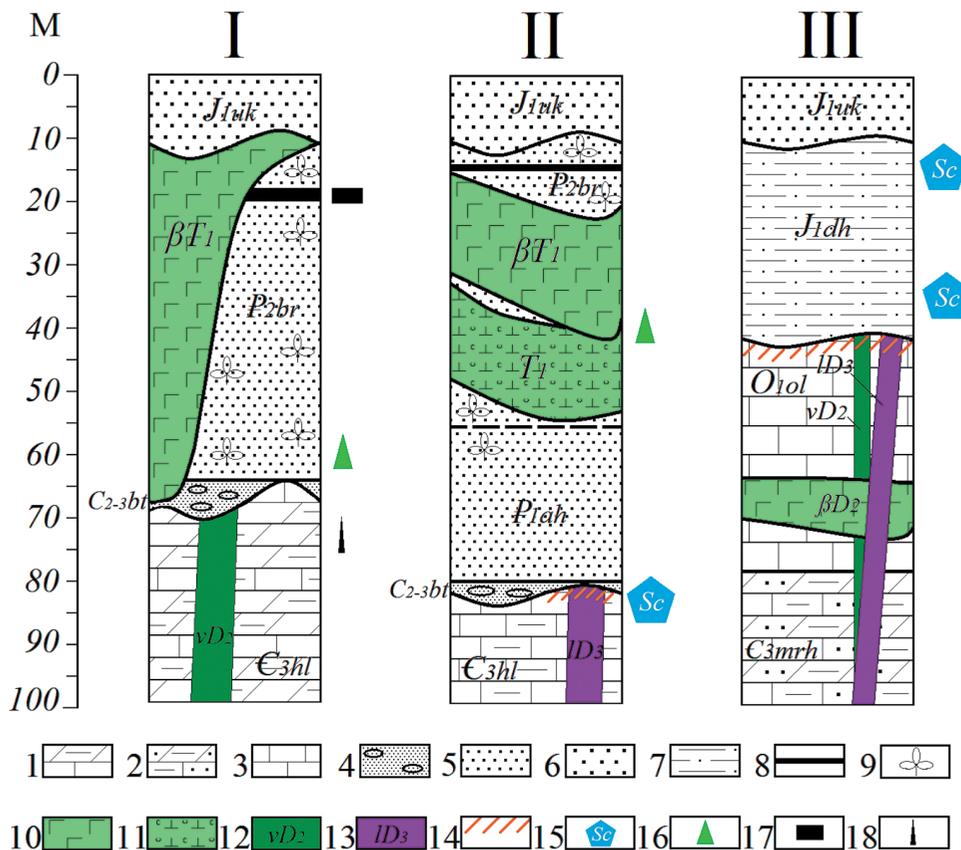


Рис. 1. Сводные колонки Мало-Ботуобинского (I) Ыгыаттинского (II) и Средне-Мархинского (III) районов и позиция потенциальных месторождений: 1—4 — мелководно-морские отложения верхнего кембрия мирнинской и холмолохской свит и олдондинской свиты ордовика: 1 — сероцветные песчано-глинисто-карбонатные; 2 — сероцветные и красноцветные карбонатно-глинистые; 3 — сероцветные доломиты и известняки; 4 — сероцветные полимиктовые конгломераты и песчаники ботуобинской свиты карбона-перми; 5 — пермские угленосные песчаники боруллойской и ахтарандинской свит; 6—7 — мелководно-морские юрские отложения: 6 — песчаники; 7 — глины и алевролиты; 8 — слои бурых углей; 9 — углефицированный растительный детрит; 10 — sillы триасовых габбро; 11 — триасовые туфы основного состава; 12 — девонские дайки и sillы основного состава; 13 — кимберлиты, в том числе алмазные; 14 — древние коры выветривания; 15—18 — проявления полезных ископаемых: 15 — скандия и сопутствующих Co, Ni, Ce; 16 — сульфидных Cu-Ni руд; 17 — бурого угля; 18 — битумов

Fig. 1. Summary columns of the Malo-Botuobinsky (I) Ygyattinsky (II) and Sredne-Markhinsky (III) districts and the position of potential deposits: 1—4 — shallow-sea sediments of the Upper Cambrian of the Myrnin and Holomolokha formations and the Oldondin formation of the Ordovician: 1 — gray-colored sandy-clay-carbonate; 2 — gray-colored and red-colored carbonate-clay; 3 — gray-colored dolomites and limestones; 4 — gray-colored polymictic conglomerates and sandstones of the Botuobin formation of the carbon-Permian; 5 — Permian coal-bearing sandstones of the Borulloi and Akhtarandin formations; 6—7 — shallow-sea Jurassic deposits: 6 — sandstones; 7 — clays and siltstones; 8 — layers of brown coals; 9 — carboniferous vegetable detritus; 10 — Triassic gabbro sills; 11 — Triassic tuffs of the main composition; 12 — Devonian dykes and sills of the main composition; 13 — kimberlites, including diamond-bearing; 14 — ancient weathering crusts; 15—18 — mineral manifestations: 15 — scandium and related Co, Ni, Ce; 16 — sulfide Cu-Ni ores; 17 — brown coal; 18 — bitumen

перми, туфами и sillами траппов триаса или юрскими тонкообломочными морскими отложениями. По данным многих определений абсолютного возраста и мнению большинства исследователей промышленные алмазные трубки имеют позднедевонский возраст [12].

В девонскую эпоху тектоно-магматической активизации вместе с кимберлитами формировались щелочно-ультраосновные карбонатитовые комплексы с редкометалльным оруденением [10, 17].

В регионе распространены образования древних кор выветривания позднедевонско-

каменноугольного и поздне триасо-раннеюрского возрастов [4]. В них есть рудопоявления скандия, кобальта, никеля и редкоземельных элементов [5]. Нельзя исключать и интрузии монзонитов и карбонатитовые массивы девонского этапа активизации. Они могли служить благоприятной средой при формировании по ним скандиеносных с редкими землями кор выветривания.

С мезозойскими траппами связаны перспективы обнаружения сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд. Они предполагаются в основании раздувов силлов, их фронтальных частях, в подстилающих их породах кембрия и покрывающих угленосных толщах перми [7].

С этими интрузиями надо ожидать месторождения графита в тех местах, где триасовые силлы непосредственно контактировали или ассимилировали относительно мощные пласты пермских бурых углей.

В четвертичных аллювиальных отложениях в регионе известны и во многом отработаны россыпные месторождения алмазов, золота и платины.

Рассматриваемые Мало-Ботубинский, Ыгыаттинский и Средне-Мархинский алмазоносные районы располагаются в пределах регионально-среднепалеозойского Вилъюско-Мархинского дайкового пояса в узлах его пересечения с поперечными нарушениями [14, 16] (рис. 2).

Перспективы обнаружения Cu-Ni-EPG месторождений обоснованы в Ыгыаттинском районе [9]. Они базируются на ряде аналогий в геологии Норильского и Вилъю-Мархинского районов, в который входит Ыгыаттинский алмазоносный район. Аналогии включают следующие позиции.

1. Формации рудовмещающих пород. В Норильском рудном районе (НРР) — сульфатно-карбонатные девона, угленосные карбона-перми, трапповая перми-триаса; в Вилъю-Мархинском междуречье (ВММ) — сульфатно-карбонатные нижнего палеозоя, угленосные карбона-перми, трапповая перми-триаса.

2. Структурно-тектонические предпосылки:

- крупные брахисинклинали в осадочном чехле: в Норильском рудном районе это Норильская и Хараелахская, в Ыгыаттинском районе — Сунтарская впадина, Хатырыкская, Верхнехоломолахская и другие мульды в Сюльдюкарском поле;
- приуроченность рудных полей и узлов к центриклинальным частям синклиналей и склонам поднятий. В НРР это склоны Пясинского купола, в ВММ это могут быть склоны Сюльдюкарского купола.

3. Локализация Cu-Ni месторождений в НРР Норильском и Хараелахском дифференцированных силлах основного состава, включающих внизу пикриты, вверху пегматиты. В ВММ — это силлы Хололомолахской интрузии, имеющей вверху пегматиты и содержащей сульфиды. Морфология силлов: в НРР длина 25 км, ширина 500—2000 м, мощность 50—300 м. В Ыгыаттинском районе ВММ это предполагаемые силлы близкой ширины, уходящие от центра Хололомолахской интрузии до 11 км.

4. Локализация месторождений в осевой части глубинного долгоживущего разлома. В НРР это Норильско-Хараелахский разлом, в Ыгыаттинском районе — Хатырык-Хололомолахский шов Вилъюско-Мархинской зоны нарушения, в котором располагаются дайки долеритов среднепалеозойского возраста, кимберлиты Сюльдюкарского тела и оси карбон-пермских грабен-синклиналей. Выявление и картирование тектонических и других признаков поисковых на алмазы скважин в породах кембрия позволило проследить этот и другие долгоживущие разломы на более чем 16 км. Они выражены признаками сбросов и сдвигов и поступления глубинных восстановительных газов и CO₂. По магнитометрии выделены узлы пересечения диагональных разломов, в одном из которых вероятно центр Хололомолахской интрузии, в другом — центр потенциального на Cu-Ni-EPG рудного поля.

5. Месторождения НРР локализованы в осевой зоне, в понижениях дна, во фронтальных частях силлов. В ВММ по анализу структурных поверхностей нижнего палеозоя и его кровли на протяжении силлов, ответвляющихся от Хололомолахской интрузии, имеются центриклинали и флексурные осложнения Верхнехоломолахской, Хатырыкской и других впадин. Они могли контролировать раздувы и фронтальные части силлов.

6. Хомустахское рудопоявление Cu-Ni с EPG, Co, Au, Ag сульфидных руд и проявления Cu, Ni, Co находятся в сульфатно-карбонатной формации кембрия, как медистые руды в девонской толще Талнахского рудного узла.

Перспективы на этого типа месторождений связаны с местами выклинивания и резкого увеличения мощностей силлов сульфидоносной Хололомолахской интрузии пермо-триасового возраста в зоне влияния долгоживущего Хатырык-Хололомолахского разлома (рис. 3).

Помимо этого, прожилки и вкрапления сульфидной минерализации с концентрациями Cu,

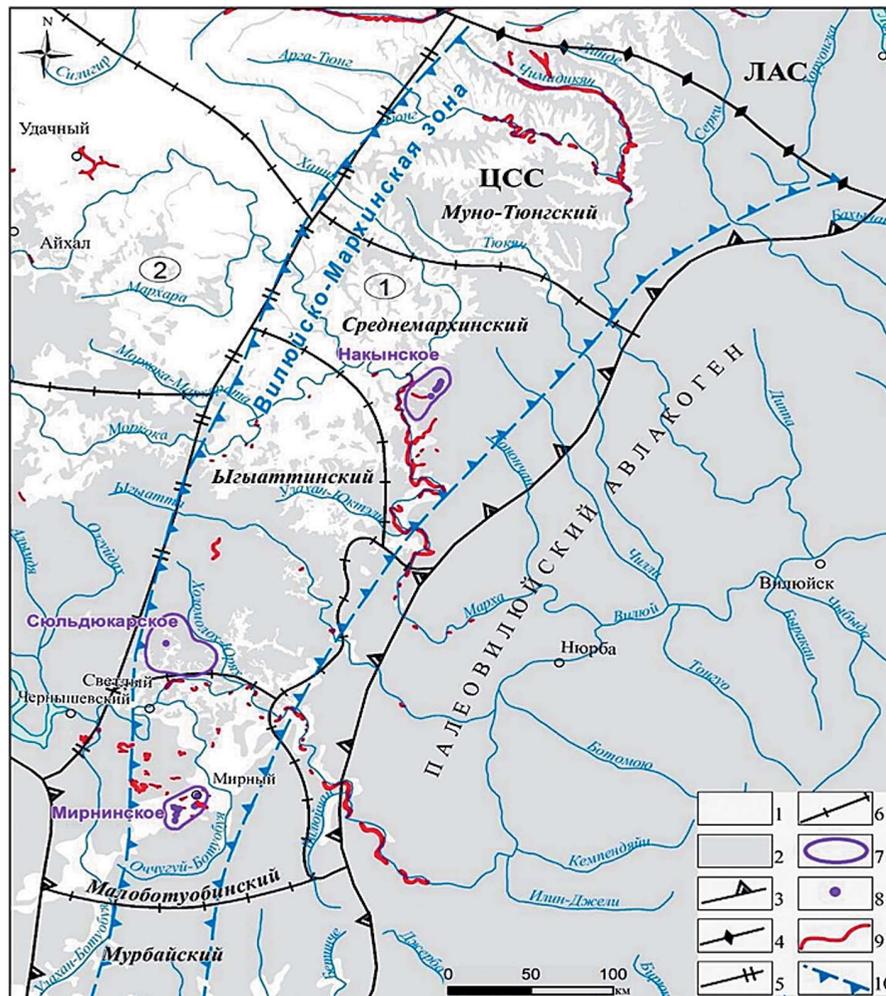


Рис. 2. Положение алмазоносных полей юга Якутской провинции, где обнаружены проявления стратегических видов полезных ископаемых [16]: 1—2 типы поисковых площадей: 1 — открытые для поисков, 2 — закрытые для поисков; 3—7 — границы разноранговых алмазоносных таксонов: 3 — Якутской алмазоносной провинции, 4 — субпровинций (ЦСС — Центрально-Сибирская, ЛАС — Лено-Анабарская), 5 — алмазоносных областей (1 — Вилуйско-Мархинская, 2 — Верхневилуйская), 6 — алмазоносных районов (и их названия: Н — Накынское, М — Мирнинское, С — Слюдякарское); 7 — продуктивных кимберлитовых полей (и их названия); 8 — алмазоносные кимберлитовые тела; 9 — россыпи и россыпепроявления алмазов; 10 — Вилуйско-Мархинская зона разломов

Fig. 2. The position of diamond-bearing fields in the south of the Yakut province, where manifestations of strategic types of minerals were found [16]: 1—2 types of search areas: 1 — open for searches, 2 — closed for searches; 3—7 — borders of different-rank diamond-bearing taxa: 3 — Yakut diamond-bearing province, 4 — subprovinces (CCSS — Central Siberian, LAS Lenoanabar), 5 — diamond-bearing regions (1 — Vilyuysko-Markhinskaya, 2 — Verkhnevilyuyskaya), 6 — diamond-bearing regions (and their names), 7 — productive kimberlite fields (and their names: N — Nakynskoye, M — Mirninsky, S — Suldjukarskoye); 8 — diamond-bearing kimberlite bodies; 9 — placers and placer occurrences of diamonds; 10 — Vilyuysko-Markhinskaya fault zone

Со, Ni и Zn до 0,0п—0п% обнаружены в породах верхнего кембрия и пермских углях в пределах поисковых площадей Улахан — Курунг — Юрях и Бестях в Мало-Ботуобинском районе.

В названных алмазоносных районах имеются предпосылки образования месторождений

собственно скандия и скандия совместно с ванадием и редкими землями в древних корах выветривания и в зоне древнего окисления в угленосных песчаниках перми, в корах выветривания по кимберлитам добавляется кобальт и никель. Они включают:

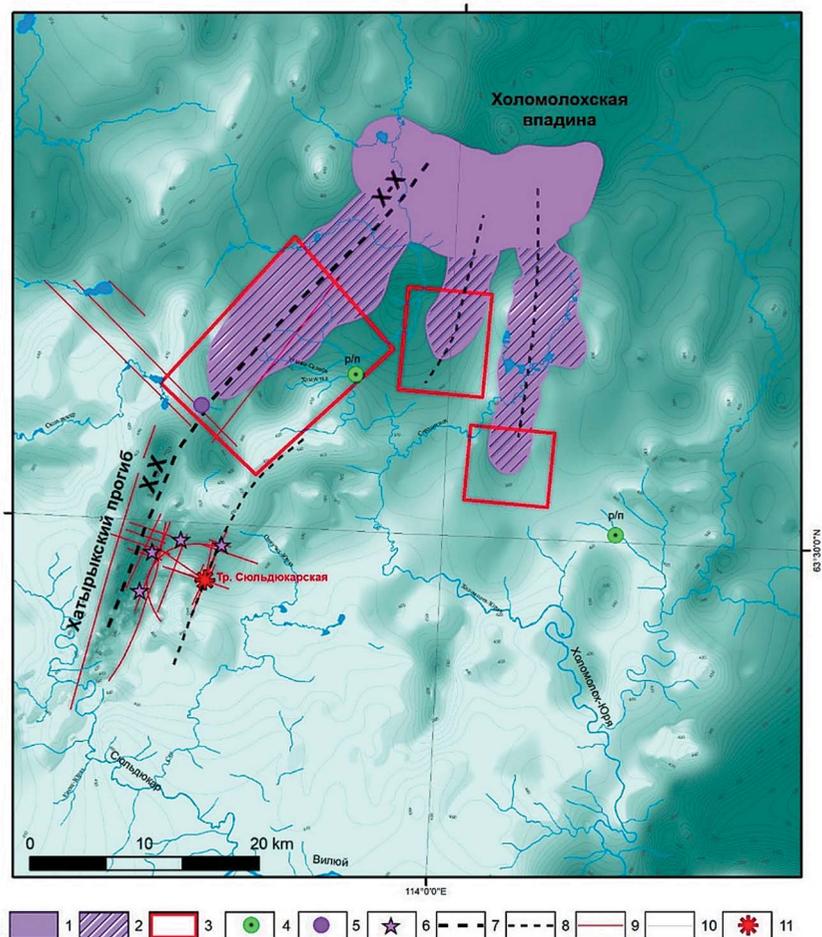


Рис. 3. Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в Ыгыаттинском районе Вилуй-Мархинского междуречья: 1 — условный контур Холомолохской интрузии; 2 — предполагаемые контуры рудоносных триасовых силлов и их осевые зоны; 3 — перспективные площади; 4 — Cu-Ni рудопроявления; 5 — точка минерализации Cu-Ni в скважине 164,5—108; 6 — концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 7—9 — основные (7, 8) и второстепенные (9) рудоконтролирующие разломы, установленные по данным бурения, X-X — Хатырык-Холомолохский разлом; 10 — изогипсы кровли кембрия; 11 — кимберлитовая трубка Сюльдюкарская

Fig. 3. Promising areas for Cu-Ni mineralization in the Ygyatta district of the Vilyu-Markha interfluvium: 1 — conditional contour of the Holomolokha intrusion; 2 — assumed contours of ore-bearing Triassic sills and their axial zones; 3 — prospective areas; 4 — Cu-Ni ore occurrences; 5 — Cu-Ni mineralization point in the well 164,5—108; 6 — Cu-Co-Ni-Zn concentration anomalies; 7—9 — the main (7, 8) and secondary (9) ore-controlling faults established according to drilling data, X-X — Khatyryk-Holomolokhsky fault; 10 — isohypses of the Cambrian roof; 11 — kimberlite pipe Syuldyukarskaya

1) широкое распространение девонских и мезозойских траппов [11] и локально кимберлитов, карбонатитов и монцонитов — источников Sc и попутных компонентов (Co, Ni, REE);

2) наличие зрелых погребенных кор выветривания каменноугольного и мезозойского возрастов, развитых по терригенно-карбонатным породам нижнего палеозоя, девонским траппам и кимберлитам [4];

3) широкое распространение древнего внутрипластового, трещинно-пластового и грунтового

окисления, проявленных на крупных поднятиях, в том числе в рассматриваемых алмазонасных районах;

4) унаследованное телескопированное воздействие на материал кор выветривания древних грунтовых и пластовых кислых вод, агрессивных по Sc и TR и действие щелочного гидролизатного и сорбционного барьеров в глинистых горизонтах кор выветривания на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя, базитах, монцонитах и кимберлитах;

5) относительно хорошая опроискованность районов на доступных до 100 м глубинах;

6) возможность эффективной отработки Sc руд способом скважинного подземного сернокислотного выщелачивания, технология которого эффективно действует на урановых месторождениях Забайкалья [2].

Рудопроявление скандия, ванадия, кобальта, никеля и цериевых редких земель вскрыто буровыми скважинами в центральной части Сюльдюкарского кимберлитового поля Ыгыаттинского района. Здесь по результатам штуфного опробования керна поисковых скважин на алмазы и рентген-флуоресцентных анализов, выполненных в аналитическом центре Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), выявлены рудные (более 100 ppm) концентрации Sc, V, Co, Ni, Ce, La, Pr и Nd (табл. 1). Они закартированы в захороненной линейной коре выветривания позднедевонско-каменноугольного возраста, развитой по Сюльдюкарским кимберлитам одноименного поля на глубинах до 50–60 м (рис. 4). Подобные перспективы RT описаны для зон гипергенеза карбонатитов [13].

Концентрации скандия ассоциируют со скоплениями иттрия, церия, лантана, неодима, кобальта и никеля, которые превышают условно-промышленные минимальные содержания и представлены в таблице.

На севере Мало-Ботубинского района в пределах поисковой на алмазы площади Бестях на глубинах 20–40 м в песчано-глинистых отложениях верхнепермской ахтарандинской свиты вскрыты пласты бурого угля. Они, как правило, сопровождаются углистыми алевролитами и аргиллитами и сложены в основном сапропелевым органическим веществом. Зачастую в них встречаются и остатки растений, и ингредиенты в виде витрина и редко кларена. Мощность пластов небольшая и составляет от десятков сантиметров до метра. Однако в одном из разрезов на юго-восточной окраине поисковой площади мощность черно-серого угля, залегающего на глубине 10,5–15,5 м, составила 5 м, что указывает на вероятное наличие приповерхностного месторождения бурого угля с пластами рабочей мощности.

На этой площади в основании силла долеритов триасовых траппов мощностью до 100 м

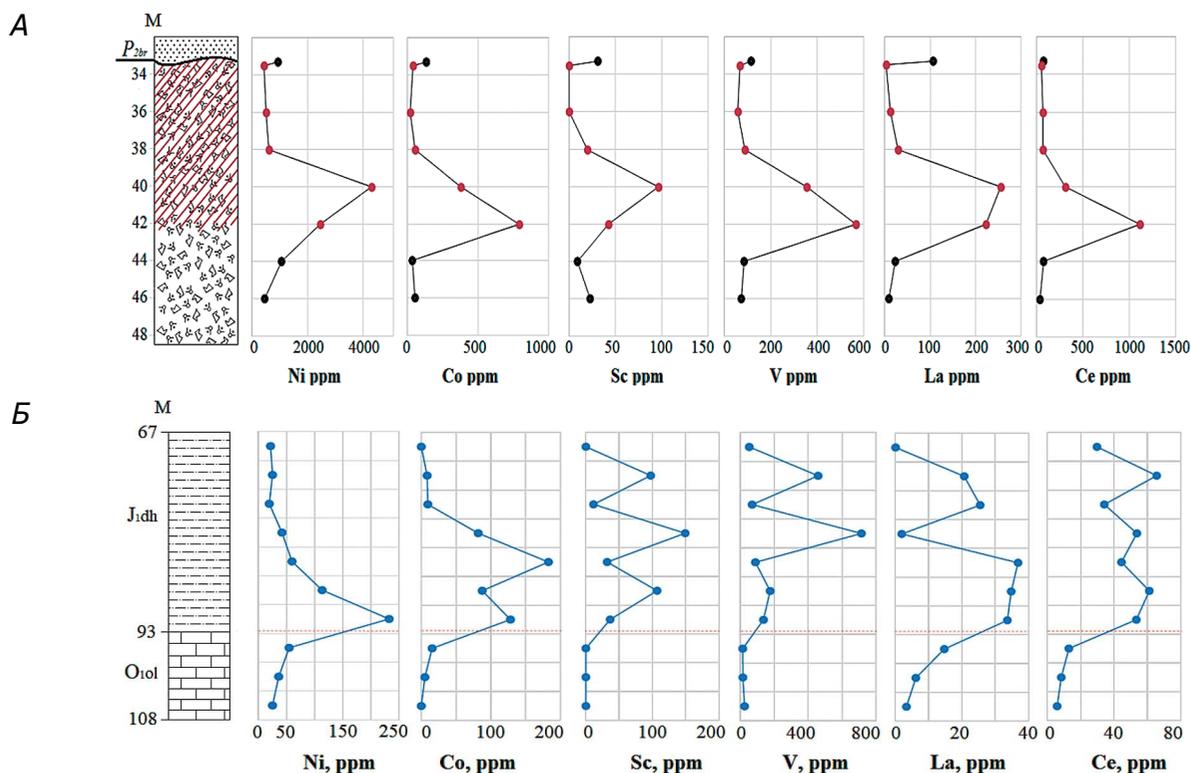


Рис. 4. Распределение Ni, Co, Sc, V, La и Ce: А — в породах древней коры выветривания (штриховка) по Сюльдюкарским кимберлитам в скв. 12-22; Б — на юго-западе Накынского поля в скважине 400/347
Fig. 4. Distribution of Ni, Co, Sc, V, La and Ce: А — in the rocks of the ancient weathering crust (hatching) by the Suldyukar kimberlites in borehole 12-22; Б — in the southwest of the Nakyn field in borehole 400/347

Таблица. Близкие к промышленным концентрации скандия и других элементов глинистых породах дьяхтарской толщи Накынского поля

Table. Close to industrial concentrations of scandium and other elements in the clay rocks of the Dyakhtar strata of the Nakyn field

Элементы (условно-промышленное содержание в г/т)	Максимальные значения (г/т)	Кол-во проб выше условно-промышленного содержания элемента
Sc (100)	462,5	29
Y (500)	1365,8	15
Ce (1000)	2127,6	5
La (500)	1190,91	9
Nd (500)	3212,02	17
Co (1000)	3471,7	4
Ni (2000)	4753,1	4

в ксенолите углистых аргиллитов вскрыты 5 и 10 см интервалы графита. Он залегает в основании силла на глубине около 90 м. По-видимому, магматический расплав ассимилировал и переместил ксенолит угля и в результате термометаморфизма преобразовал его в графит. Учитывая протяженность на километры пластов углей и силлов траппов, можно ожидать месторождения графита типа Курейского.

На этой же площади в породах нижнего палеозоя заактивированы линейные и пятнистые проявления вторичных битумов, сопровождаемые ореолами прожилкового осветления в красноцветных породах холмолохской свиты верхнего кембрия. Битумы, как правило, черно-серого цвета матовые, но встречаются и блестящие типа оксикерита. Проявления битумов сопровождаются глубоко сорбированными углеводородными газами. Они выделяются при раскалывании породы с резким запахом свежего асфальта.

Надо отметить, что прожилковое осветление красноцветных пород, распространенное в алмазоносных районах Якутии и Архангельской области, маркирует разломы и отражает привнос углеводородных газов [6].

Детальное картирование вторичных битумов проведено на поисковой площади Бестях в Мало-Ботуобинском районе. Установлены узкие до нескольких сотен метров и протяженные до 2,5 км меридиональные ореолы (рис. 6). Они сопровождаются точечными проявлениями битумов, объединенными в дуговые ореолы. Линейная битуминизация локализована вдоль разломов, входящих в упомянутый дайковый пояс. Установленные битумы в верхнекембрийских

породах явно указывают на вероятные залежи нефти под региональным флюидоупором пачки каменных солей нижнекембрийского возраста. В Мало-Ботуобинском районе пласты галита залегают на глубинах 500—600 м. С учетом этого выявленные ореолы битумов являются прямыми признаками залежей нефти в песчаных и трещинно-пластовых карбонатных коллекторах венд-нижнекембрийских горизонтов на глубине до 1,5 — 2 км. Что подтверждает перспективы открытия месторождений нефти в регионе [18].

В рассматриваемых алмазоносных районах в венд-кембрийской толще широко распространены древние захороненные рассолы, представляющие собой гидроминеральное сырье [3, 15]. Так, только в вендском водоносном комплексе в Вилюйско-Джербинской площади содержание в мг/дм³ выше минимально промышленных: брома (200) более чем в 2,5 раза (5297,1); стронция (500) более чем в 5 раз (2695,96); лития (10) более чем в 4,5 раза (48,5); цезия более чем в 5 раз (15,3). Плотность запасов только лития в гидроминеральном сырье разных водоносных горизонтов колеблется от 8 до 45,1 т/км², составляя в сумме 93,6 т/км² [3].

Выводы

Полученные материалы показывают перспективы обнаружения месторождений стратегически важных видов минерального сырья (медь, никель, кобальт, платиноиды, скандий, редкоземельные элементы, нефть и газ, уголь, графит, бром-стронций-литиевые рассолы) в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском, Ыгыаттинском и других алмазоносных районах Якутии.

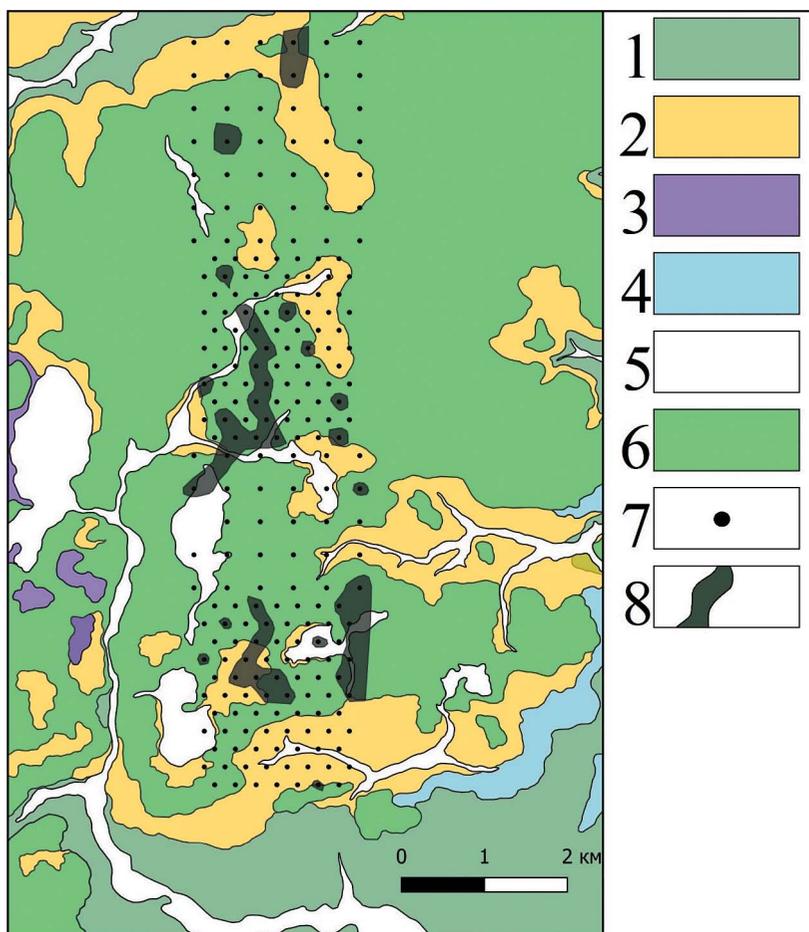


Рис. 5. Ореолы прожилково-вкрапленных битумов на площади Бестях Мало-Ботубинского района: 1 — терригенно-карбонатные породы холомолохской свиты верхнего кембрия; 2 — песчаники боррулойской свиты средней перми; 3 — туфы чичиканской свиты нижнего триаса; 4 — песчаники оруктахской свиты нижней юры; 5 — аллювиальные четвертичные отложения; 6 — триасовые габбро-долериты; 7 — устье скважины; 8 — ореолы прожилково-вкрапленных битумов

Fig. 5. Halos of veined-interspersed bitumen on the area of Bestyakh Мало-Botuobinsky district: 1 — terrigenous-carbonate rocks of the Holomolokha formation of the Upper Cambrian; 2 — sandstones of the Borruloi formation of the Middle Permian; 3 — tuffs of the Chichikan formation of the Lower Triassic; 4 — sandstones of the Oruktakh formation of the Lower Jurassic; 5 — alluvial quaternary deposits; 6 — Triassic gabbro-dolerites; 7 — wellhead; 8 — halos of veined-interspersed bitumen

На северо-западе Мало-Ботубинского района в пределах поисковой площади Улахан — Курунг — Юрях на небольшой глубине 30—70 м намечены перспективы скандиевой минерализации в зоне выклинивания древнего пластового окисления и в глинисто-железистом материале раннекаменноугольной коры выветривания. На севере этого района в пределах поисковой площади Бестях выделены локальные участки, где вероятны залежи нефти в подсолевых коллекторах венда-кембрия. Здесь также в угленосных песчаниках перми закартированы признаки выклинивания древней зоны пластового

окисления и совмещенные с ней признаки выклинивания пластово-трещинного окисления на контакте с битуминозными терригенно-карбонатными породами кембрия. С ними вероятны рудные концентрации скандия, ванадия и, возможно, рения. На этой площади вскрыт разрез бурых углей рабочей мощностью 5 м. Присутствует проявление графита в силах триасовых траппов.

В Ыгыаттинском районе выделена перспективная площадь потенциального рудного поля медно-никелевых с платиноидами руд Норильского типа, локализованных в триасовым силле Холумолохской

интрузии. Оруденение ожидается в зоне намеченного и отчасти закартированного глубинного рудоконтролирующего нарушения как аналога Норильско-Хараелахского разлома на глубинах 100—150 м.

В центральной части этого района в линейной коре выветривания каменноугольного возраста, развитой по Сьюльдюкарским кимберлитам, на глубине до 60 м имеется рудопоявление скандия, кобальта, никеля и церия. Что открывает большие перспективы обнаружения подобной минерализации во всей Западно-Якутской алмазоносной провинции.

В Средне-Мархинском районе в его центральной части в Накынском алмазоносном поле обнаружены перспективные рудопоявления скандия,

ванадия и цериевых редких земель в глинистом материале переотложенной коры выветривания триас-юрского возраста. Рудоносные зоны залегают на глубинах до 100 м. В дальнейшем такие месторождения можно будет осваивать эффективным способом серноокислотного подземного выщелачивания. Участки этих рудопоявлений находятся на флангах карьерных и в будущем шахтных полей интенсивно осваиваемых коренных месторождений алмазов трубок Ботуобинская и Нюрбинская и тела Майского. Это повышает их перспективность.

Важным промышленным потенциалом обладают подсолевые древние рассолы рассматриваемых районов, которые содержат ценное гидроминеральное сырье: бром, стронций и литий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев С.А., Соболев П.Н., Таффарель Е.С., Голованова М.П., Гарифуллин И.И. Нефтегазоносность Вилюйской синеклизы и перспективы поисков залежей углеводородов // Геология, физика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 12. С. 14—26.
2. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / Под ред. И.Н. Солодова. М.: ZetaPrint, 2022. 183 с.
3. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.
4. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1994. 240 с.
5. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазоносной провинции // Горный журнал. 2022. № 7. С. 12—21.
6. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Ковальчук О.Е. Индикаторные свойства прожилкового осветления красноцветных отложений при прогнозировании и поисках кимберлитов: методическое пособие. Мирный: АЛРОСА, 2022. — 155 с., ил. URL: eLIBRARY: 48548116
7. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Новиков К.В., Толстов А.В. Складки волочения в осадочных породах, вмещающих кимберлиты Западной Якутии // Руды и металлы. 2021. № 3. 83—92. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10020>
8. Игнатов П.А., Новиков К.В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя: методическое руководство. Мирный, 2019. 76 с. ISBN 978-5-6041056-1-0
9. Игнатов П.А., Толстов А.В., Проценко Е.В., Колесник А.Ю., Мальцев М.В. Вилюй-Мархинское междуречье Якутии — перспективный район на Cu-Ni с платиноидами оруденение // Отечественная геология. 2021. № 5. С. 51—64.
10. Коноплев А.Д., Толстов А.В., Васильев А.Т., Нечелюстов Г.Н., Кузьмин В.И., Скляднева В.М. и др. Особенности локализации редкометалльного оруденения на месторождении Томтор // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах: сб. науч. трудов. М., 1995. С. 223—241.
11. Коробков И.Г. Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. 353 с.
12. Костровицкий С.И., Спеццус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор акад. Н.П. Похиленко. НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). Мирный: ООО «МГТ», 2015. 480 с.
13. Лапин А.В., Толстов А.В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 81—91.
14. Мальцев М.В. Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сьюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия): автореф. ... канд. дис. Мирный, 2019.
15. Михеева Е.Д., Егоров Я.А. К вопросу о содержании лития и попутных компонентах в подземных водах перспективных территорий России // Науки о Земле: добыча и переработка. Апрель 2022, С. 29—35.
16. Проценко Е.В. Структурно-тектонические закономерности локализации разноранговых кимберлитовых таксонов в пределах Вилюйско-Мархинской

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

минерагенической зоны (Западная Якутия): автореф. ... канд. дис. Мирный, 2020.

17. Толстов А.В. Коноплев А.Л., Кузьмин В.И. Особенности формирования уникального редкометалльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 20—26.
18. Фролов С.В. Карныушина Е.Е., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Курдина Н.С., Крылов О.В., Тарасенко А.А. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилуйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 2. С. 13—30
19. Okrugin A.V., Yakubovich O.V. Ernst R.E., Druzhinina Zh.Yu. Platinum-bearing placers: mineral associations and their 190Pt-4He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology. 2020. Vol. 115, no. 8. P. 1835—1853.

REFERENCES

1. Vasiliev S.A., Sobolev P.N., Taffarel E.S., Golovanova M.P., Garifullin I.I. Oil and gas potential of the Vilyuisk syncline and prospects for the search for hydrocarbon deposits // *Geology, physics and development of oil and gas fields*. 2018. No. 12. P. 14—26 (In Russian).
2. Uranium mining by underground leaching in the cryolithozone / Edited by I.N. Solodov. Moscow: ZetaPrint, 2022. 183 p. (In Russian).
3. Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V. Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: IGTV Publishing House, 2008. 507 p. (In Russian).
4. Zinchuk N.N. Weathering crusts and secondary changes of kimberlites of the Siberian platform. Novosibirsk: NSU publishing house, 1994. 240 p. (In Russian).
5. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for detecting scandium deposits in the Yakut diamond province // *Mining Journal*. 2022. No. 7. P. 12—21 (In Russian).
6. Ignatov P.A., Zaripov N.R., Kovalchuk O.E. Indicator properties of veined lightening of red-colored deposits in forecasting and searching for kimberlites: methodical manual. Mirny: ALROSA, 2022. 155 p.: ill. (In Russian). Link eLibrary: 48548116
7. Ignatov P. A., Zaripov N. R., Novikov K. V., Tolstov A.V. Drawing folds in sedimentary rocks containing kimberlites of Western Yakutia // *Ores and metals*. 2021. No. 3. P. 83—92 (In Russian). <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10020>
8. Ignatov P.A., Novikov K.V. Field diagnostics of tectonic disturbances and fluid-fracturing formations in kimberlite-containing sediments of the Lower Paleozoic: Methodological guidance. Mirny, 2019. 76 p. (In Russian). ISBN 978-5-6041056-1-0
9. Ignatov P.A., Tolstov A.V., Protsenko E.V., Kolesnik A.Yu., Maltsev M.V. Vilyu-Markhinskoe interfluvium of Yakutia — a promising area on Cu-Ni with platinum mineralization // *Domestic Geology*. 2021. No. 5. P. 51—64 (In Russian).
10. Konoplev A.D., Tolstov A.V., Vasiliev A.T., Nechelyustov G.N., Kuzmin V.I., Sklyadneva V.M., et al. Features of localization of rare-metal mineralization at the Tomtor deposit // *Rare-metal-uranium ore formation in sedimentary rocks. Collection of scientific works*. Moscow, 1995. P. 223—241 (In Russian).
11. Korobkov I.G. Tectonics, paleogeography and basite magmatism of diamond-bearing areas of the eastern side of the Tunguska syncline. Irkutsk: IZK SB RAS. 2015. 353 p. (In Russian).
12. Kostrovitsky S.I., Spezius Z.V., Yakovlev D.A., Von der Flaas G.S., Suvorova L.F., Bogush I.N. Atlas of the indigenous diamond deposits of the Yakut kimberlite province / Editor-in-chief ak. N.P. Pokhilenko. NIGP AK "ALROSA" (PAO). Mirny: MGT LLC, 2015. 480 p. (In Russian).
13. Lapin A.V., Tolstov A.V. Oxidative and reducing stages of the formation of the hypergenesis zone of carbonates and their ore content // *Geology of ore deposits*. 1991. Vol. 33. No. 4. P. 81—91 (In Russian).
14. Maltsev M.V. Localization criteria and material-indicative signs of the Syuldyukar kimberlite body as a basis for forecasting diamond deposits in the Ygyattinsky district (Western Yakutia): Abstract. cand. dis. Mirny, 2019 (In Russian).
15. Mikheeva Ed., Egorov Ya.A. On the question of lithium content and associated components in the groundwater of promising territories of Russia // *Earth Sciences: mining and processing*. April 2022. P. 29—35 (In Russian).
16. Protsenko E.V. Structural and tectonic patterns of localization of different-rank kimberlite taxa within the Vilyuisk-Markhinskaya mineragenic zone (Western Yakutia): Abstract cand. dis. Mirny, 2020 (In Russian).
17. Tolstov A.V. Konoplev A.L., Kuzmin V.I. Features of the formation of the unique rare metal deposit Tomtor and assessment of prospects for its development // *Exploration and protection of mineral resources*. 2011. No. 6. P. 20—26 (In Russian).
18. Frolov S.V., Karnyushina E.E., Korobova N.I., Bakay E.A., Kurдина N.S., Krylov O.V., Tarasenko A.A. Structural features, sedimentary complexes and hydrocarbon systems of the Leno-Vilyui oil and gas basin // *Geo-resources*. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 13—30 (In Russian).
19. Okrugin A.V., Yakubovich O.V. Ernst R.E., Druzhinina Zh.Yu. Platinum-bearing placers: mineral associations and their 190Pt-4He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*. 2020. Vol. 115, no. 8. P. 1835—1853.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Игнатов П.А. — подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геологических и анализ геохимических данных, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Еременко Р.У. — ведёт цифровую базу данных алмазоносных районов Западной Якутии, обработал статистические данные РФА-анализов, создал часть графики для статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Толстов А.В. — описал редкометалльные проявления связанные с щелочно-ультраосновными карбонатитовыми комплексами на примере месторождения Томтор, редактировал текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Овчинников И.М. — предоставил данные РФА и поспособствовал получению разрешения на публикацию материалов, редактировал текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Petr A. Ignatov — prepared the text of the article, collected, processed and analyzed geological and geochemical data, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Ruslan U. Eremenko — maintains a digital database of diamondiferous regions of Western Yakutia, processed statistical data from XRF analyses, created part of the graphics for the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Alexander V. Tolstov — described rare metal manifestations associated with alkaline-ultrabasic carbonatite complexes using the example of the Tomtor deposit, edited the text of the article, approved the published version of the article and agreed to accept responsibility for all aspects of the work.

Ilya M. Ovchinnikov — provided XRF data and contributed to obtaining permission to publish materials, edited the text of the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Игнатов Петр Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-код: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Еременко Руслан Умарович — аспирант, инженер-исследователь кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru
тел.: +7 (916) 017-36-29
SPIN-код: 3885-1807
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

Petr A. Ignatov* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
tel.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-code: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Ruslan U. Eremenko — post-graduate researcher, research engineer at the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru
tel.: +7 (916) 017-36-29
SPIN-code: 3885-1807
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ /
GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Толстов Александр Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, Ведущий научный сотрудник ИГАБМ СО РАН.

39, пр. Ленина, Якутск, Республика Саха (Якутия)

e-mail: tols61@mail.ru

тел.: +7 (914) 252-86-12

SPIN-код: 7895-6601

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>

Alexander V. Tolstov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher at Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

39, Lenin Ave., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

e-mail: tols61@mail.ru

tel.: +7 (914) 252-86-12

SPIN-code: 7895-6601

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>

Овчинников Илья Михайлович — эксперт Управления планирования производства АК «АЛРОСА» (ПАО)/

6, ул. Ленина, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

тел.: +7 (924) 162-59-32

SPIN-код: 1014-6140

AuthorID: 11356007

Ilya M. Ovchinnikov — Expert of the Production Planning Department of AK ALROSA (PJSC).

6, st. Lenin, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia)

e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

tel.: +7 (924) 162-59-32

SPIN-code: 1014-6140

AuthorID: 11356007

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-79-87>
УДК 550.8.05, 550.82, 622.24, 622.276



МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ АВТОГРП НА НЕРАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПЛАСТАХ И ОЦЕНКА ИХ ВЛИЯНИЯ НА СИСТЕМУ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРИБОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.И. ИСЛАМОВ^{1,2}, С.Д. ЕСАУЛКОВ^{1,*}

¹ ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»
16, ул. Чехова, г. Ханты-Мансийск 628011, Россия

² ООО «Газпромнефть-Хантос»
56, ул. Ленина, г. Ханты-Мансийск 628011, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В работе будет рассмотрен механизм формирования трещин автоГРП на неразрабатываемых пластах техногенного генезиса. Определена оценка влияния непроизводительной целевой закачки в пласты для поддержания пластового давления в связи с формированием трещин автоГРП.

Цель. Обосновать связь в развитии трещин автоГРП техногенного генезиса с технологическими параметрами эксплуатации нагнетательных скважин, геологическими свойствами пластов, тектоно-генетическими особенностями распределения напряжений в нижней части чехла участка исследований (Приобское месторождение).

Материалы и методы. Программы расчета дизайна трещин ГРП: Planar 3D, FracCADE. Аналитические инструменты: график Холла.

Результаты. При анализе осложнений при бурении скважин, связанных с получением anomalно высоких пластовых давлений на транзитных и неразрабатываемых пластах, определена связь anomalно высоких пластовых давлений с явлением техногенного автоГРП. Раскрыт механизм формирования трещин автоГРП. Рассмотрена целесообразность оптимизации действующей системы разработки для достижения проектного коэффициента нефтеотдачи пласта.

Заключение. Предлагается оптимизация действующий системы разработки на опытном участке Приобского месторождения с низкопроницаемыми коллекторами. При успешном подходе система может быть использована для всего месторождения, а также для других месторождений, схожих по геологическому строению.

Ключевые слова: anomalно высокое пластовое давление, гидравлический разрыв пласта, низкая проницаемость, региональный стресс, непроизводительная закачка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Исламов А.И., Есаулкин С.Д. Механизмы образования явления автоГРП на неразрабатываемых пластах и оценка их влияния на систему разработки месторождений на примере Приобского месторождения. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):79—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-79-87>

Статья поступила в редакцию 18.05.23

Принята к публикации 12.12.2023

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

MECHANISM OF SELF-INDUCED HAUDRALIC FRACTURING IN UNDEVELOPED FORMATIONS AND ASSESSMENT OF ITS IMPACT ON FIELD DEVELOPMENT ON THE EXAMPLE OF THE PRIOBSCOYE FIELD

AZAMAT I. ISLAMOV^{1,2}, SERGEY D. ESAULKOV^{1,*}

¹ Ugra State University
16, Chekhov str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia

² Gazpromneft-Khantos LLC
56, Lenin str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia

ABSTRACT

Background. Reservoir flooding is one of the main methods of oil production in low-permeability fields. At the same time, the natural decrease in the effectiveness of the flooding method leads to an increase in the water injection pressure. One of the side effects is the so-called self-induced crack growth in injection wells, which can be accompanied by a crack breakthrough in the production well operation area. A crack breakthrough, in turn, leads to problems associated with unproductive injection.

Aim. To establish the relationship between the development of self-induced hydraulic cracks of technogenic origin with the technological operation parameters of injection wells, the geological properties of formations, the tectonogenetic features of stress distribution across the lower part of the sedimentary cover of the research site (the Priobskoye field).

Materials and methods. Hydraulic fracturing design calculation programs: Planar 3D, FracCADE. Analytical tools: Hall plot.

Results. The relationship between abnormally high reservoir pressures with the phenomenon of technogenic self-induced hydraulic fracturing is determined based on the obtained complications in drilling boreholes, associated with the production of abnormally high reservoir pressures in transit and undeveloped formations. The formation mechanism of self-induced hydraulic fracturing is established. The feasibility of optimizing the current development system in terms of achieving the design oil recovery coefficient of the reservoir is considered.

Conclusion. Optimization of the existing development system at the pilot site of the Priobskoye field using low-permeable reservoirs is proposed. In the case of its successful application, the approach can be used for the entire field, as well as other fields similar in geological structure.

Keywords: abnormally high reservoir pressure, hydraulic fracturing, low permeability, regional stress, unproductive injection

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: Islamov A.I., Esaulkov S.D. Mechanism of self-induced haudralic fracturing in undeveloped formations and assessment of its impact on field development on the example of the Priobskoye field. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):79—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-79-87>

Manuscript received 18 May 2023

Accepted 12 December 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Основным результатом успешной разработки любого месторождения является его конечный коэффициент нефтеотдачи (КИН). На КИН могут влиять

как геологические свойства коллекторов, так и технологические параметры разработки месторождений. Разработка месторождений со все более

низкой проницаемостью ставит перед инженерами нефтегазовой отрасли нетривиальные задачи. Одна из них — организация эффективной системы разработки в низкопроницаемых коллекторах.

Характеристика объекта исследования

В статье приводится опыт разработки, проблемы, вызовы и решения на Приобском нефтяном месторождении. Рассматриваемое месторождение характеризуется низкой проницаемостью объектов нефтедобычи, более половины запасов сосредоточены в пластах с $k_{пр}$ менее 2мД [6]. Проведение операций по гидроразрыву с использованием технологии массивированного ГРП (гидроразрыва пласта) на скважинах Южной части Приобского месторождения является неотъемлемой частью системы разработки, сложившейся на лицензионном участке.

Разрыв горной породы происходит в направлении, перпендикулярном наименьшему напряжению [9—12]. Особенности тектонического этапа развития плиты Западной Сибири определили ориентировку главных горизонтальных напряжений Приобского месторождения, на котором минимальный горизонтальный стресс ориентирован субмеридионально, в азимуте 330—340° [4, 5]. Стресс представляет собой протяженные региональные зоны разгрузки с уменьшенными горизонтальными тектоническими напряжениями пород плитного комплекса по отношению к их субширотному простиранию. Данное обстоятельство подтверждается развитием трещин гидроразрыва пласта в скважинах до и после исследований (FMI и DSI соответственно), историей разработки, проведением микросейсмических исследований при ГРП [2, 3, 7, 8, 13] (рис. 1).

Ультранизкие фильтрационные свойства пластов на некоторых участках разработки Приобского месторождения характеризуются значением эффективной проницаемости менее 1 мД. Необходимо отметить, что, несмотря на стимулирование низкопроницаемых пород гидроразрывом пласта, не удастся охватить дренированием желаемую площадь нефтеносности, добиться утвержденного КИН. Площадь разработки локализована в околоскважинном пространстве.

Материалы и методы

Обрисовка встречи зон пласта с высоким пластовым давлением ведется на основании решения ряда аналитических задач: построения карт водонефтяного фактора, кольцевого картирования подхода фронта нагнетаемой воды, карт изобар,

истории бурения, промысловых геофизических исследований (ПГИ) на предмет перетоков, СО-каротаж напротив продуктивных интервалов, не вскрытых перфорацией. Это классические инструменты разработки, с их помощью можно решить задачи по предупреждению потенциальных зон АВПД (аномально высоких пластовых давлений) в заводняемых пластах [1, 3].

Однако прогнозирование АВПД на пластовых системах, не затронутых разработкой действующей системой, является более сложной задачей. Особенности, объединяющие все случаи с получением АВПД на транзитах, можно структурировать следующим образом:

Осложнения были получены на группе АС7—АС9, литологически представляющей собой аргиллитовые породы, частично кавернозные, с переслаиванием алевролитов в подчиненном значении. Ключевой особенностью является получение АВПД напротив алевролитов с карбонатным цементом в поровом пространстве, выделяющихся на каротажных диаграммах как «плотняк» с высокоомными (свыше 100 Ом·м) значениями по методу БК.

Организация системы ППД (поддержания пластового давления) сформирована в крайних, крайне заглинизированных участках продуктивных пород. Эффективная проницаемость,

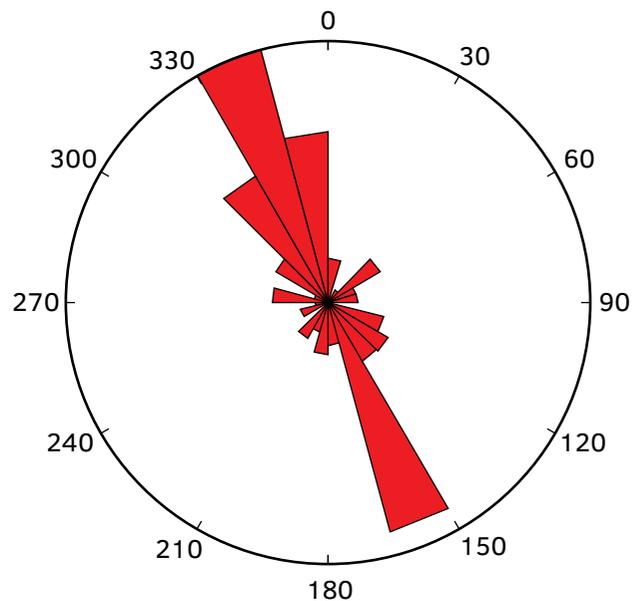


Рис. 1. Азимутальная диаграмма микросейсмического излучения при ГРП. Скважина 29340ГС Приобского месторождения

Fig. 1. Azimuth diagram of microseismic radiation during hydraulic fracturing. Well 29340GS of the Priobsky field

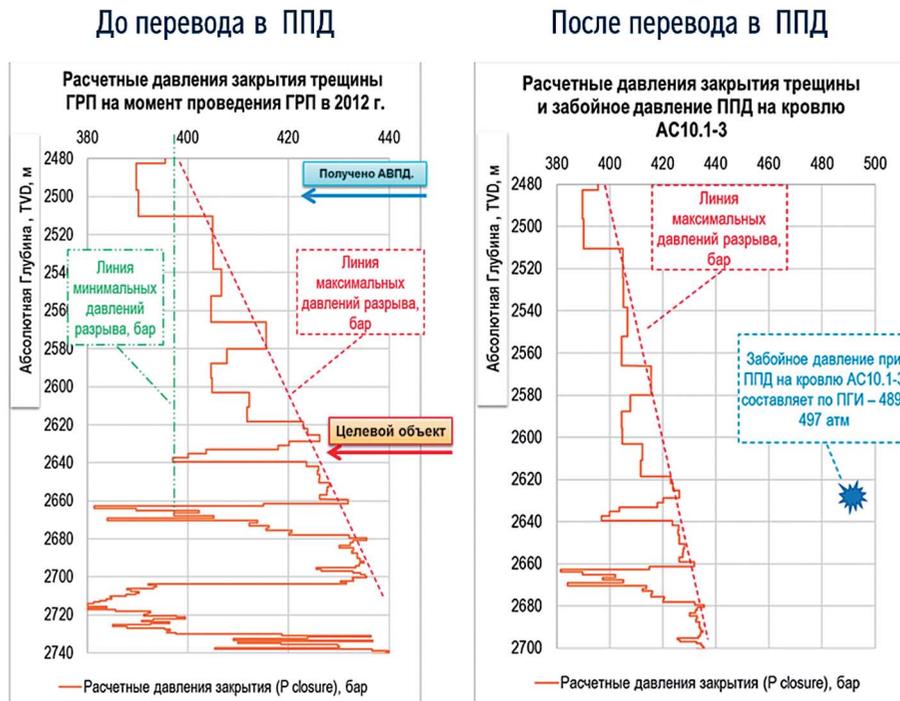


Рис. 3. Полученная геометрия трещины в 3D-симуляторе. Показаны контуры трещины относительно целевого интервала и пропластка, где зафиксировано АВПД

Fig. 3. Obtained fracture geometry in 3D simulator. The contours of the fracture are shown relative to the target interval and the interlayer where the AHPD is recorded

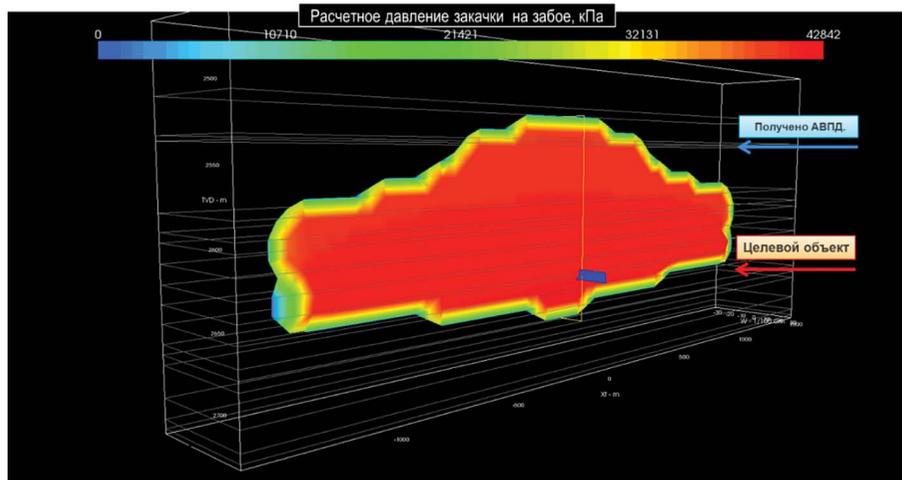


Рис. 4. Оценка давлений закачки в трещине, при которых возможен рост из целевого объекта выше по разрезу

Fig. 4. Estimation of injection pressures in the fracture at which growth from the target upstream is possible

Проблему с митигацией рисков АВПД при бурении нужно рассматривать не только в контексте минимизации геологических осложнений при бурении.

Остается вопрос в части геолого-промыслового контроля и анализа за разработкой эксплуатационных объектов и методов регулирования разработки эксплуатационных объектов.

На текущий момент накопленная компенсация составляет по всем объектам 104%. Однако динамика снижения $R_{пл}$ свидетельствует о дефиците пластовой энергии, что неизбежно отражается на падении добычи жидкости (рис. 5). Индикатором наличия или отсутствия поддержки пластового давления является динамика значений промыслового газового фактора по замерам на скважинах.

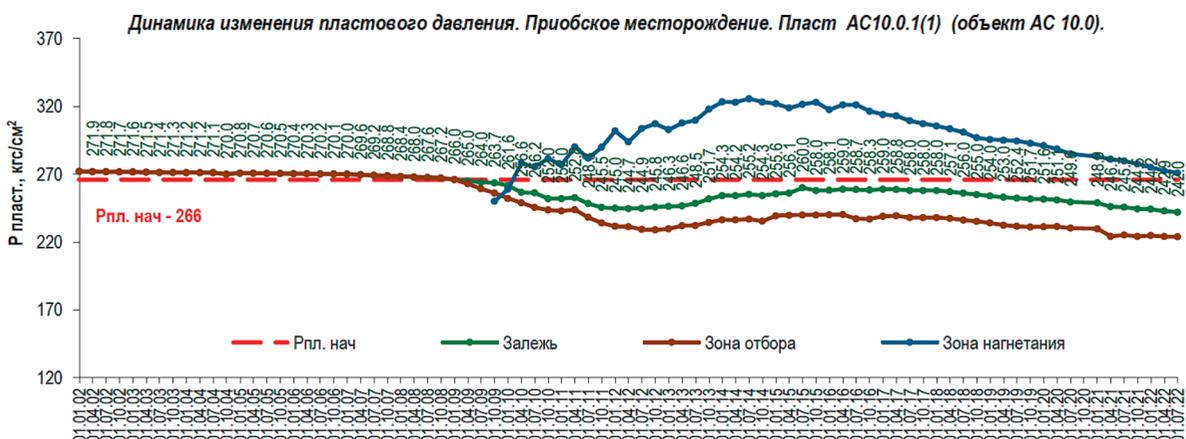


Рис. 5. Динамика изменения пластового давления. Приобское месторождение. Пласт АС10.01(1)
Fig. 5. Dynamics of reservoir pressure changes. Priobskoye deposit. Plast AS10.01(1)

При газосодержании 80 м^3 на момент написания статьи газовый фактор превысил 122 м^3 . Сейчас отмечается, таким образом, режим растворенного газа, ведущий к негативным последствиям: снижению вязкости нефти, снижению фазовых проницаемостей для нефти и уменьшению конечного КИН, что связано с непроизводительной закачкой в транзитные пласты.

Оценить непроизводительную закачку в пласты можно на основании изучения графика Холла (рис. 6).

График Холла — накопленное давление нагнетания от накопленной закачки. Методика является высокоэффективной как для оценки динамики и характера изменения приемистости, так и для оценки эффектов геолого-технических мероприятий (ГТМ)

по изменению приемистости. Был проанализирован участок опытно-промышленных работ (ОПР) и выявлены скважины с непроизводительной закачкой с автоГРП. Конечная цель — рассчитать дефицит объемов закачки и увеличить приемистость скважин для восстановления пластового давления. Ниже, на рисунке 7, произведены результаты построения графика Холла на участке исследований. Многочисленные изломы кривых на скважинах 30757, 30716, 30642 свидетельствуют о формировании нескольких генераций трещин автоГРП. Численно, по отклонению от нормальной кривой стабильной закачки, непроизводительный объем закачиваемой воды оценивается от 28 до 37%.

Заключение

Предлагается оптимизация действующей системы разработки на опытном участке Приобского месторождения с низкопроницаемыми коллекторами. При успешном подходе система может быть использована для всего месторождения, а также других месторождений, схожих по геологическому строению.

Несмотря на целевые уровни компенсации добычи закачкой (накопленная компенсация 104%), текущее пластовое давление ниже начального на 23%. В связи с этим на месторождении фиксируется режим растворенного газа, что приводит к снижению подвижности нефти, недостижению проектного КИН. Проведен расчет уровней нецелевой закачки на опытно-промышленном участке, который составил 35%. Предлагается оптимизации действующей системы ППД для увеличения компенсации (формирование очагового заводнения, перераспределение приемистости), возврату к упругому режиму работы залежей, уменьшению темпов падения добычи.

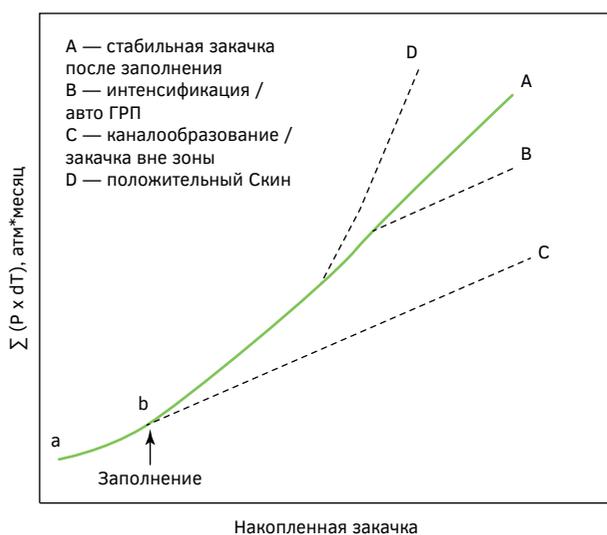


Рис. 6. График Холла
Fig. 6. Hall Plot

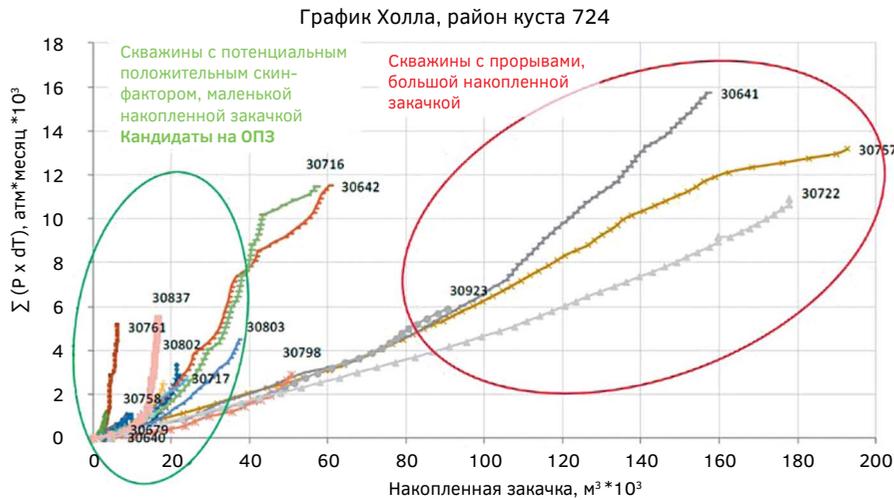


Рис. 7. График Холла, район куста 724

Fig. 7. Hall plot, bush area 724

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Б.Л. Аномально высокие пластовые давления в нефтегазоносных бассейнах, М.: Недра, 1987. 216 с.
2. Вихман И.А., Колупаев Д.Ю., Чебыкин Н.А., Сердюк А.П., Верещагин С.А., Мавлеткулов У.Р. и др. Высококоростной гибридный ГРП в горизонтальных скважинах Южно-Приобского месторождения // OIL & GAS JOURNAL. 2018. № 10. С. 42—47.
3. Исламов А.И., Верещагин С.А., Колупаев Д.Ю., Фасхутдинов Р.Р. О механизмах возникновения зон с аномально высоким пластовым давлением и методами их прогнозирования в неразрабатываемых пластах на примере Приобского месторождения // Нефтяное хозяйство. 2018. № 10. С. 54—59. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-10-54-59>
4. Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли (Рифтогенез в подвижных поясах). М.: Недра, 1987. 298 с.
5. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: МГУ, 1996. 448 с.
6. «РН-УфаниПинефть» ООО, Отчет о научно-исследовательской работе «Пересчет запасов нефти и растворенного газа Приобского месторождения». 2008. Т. 1. Реестровый номер: 17138198.
7. Афанасьев И.С., Тимонов А.В., Судеев И.В. и др. Анализ применения горизонтальных скважин с множественным гидроразрывом пласта на Приобском месторождении // Техническая конференция и выставка Общества инженеров-нефтяников — SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production 2012. Москва, 16—18 октября 2012 г. Том 3. Москва: Общество инженеров-нефтяников (SPE), 2012. С. 2041—2055. <https://doi.org/10.2118/162031-ms>. EDN: RGCCZR
8. Бутула К.К., Верещагин С., Малышев В., Сташевский В. Вопросы разработки месторождений и новая секторная схема с горизонтальными скважинами с многоступенчатым ГРП, пробуренными в среднепроницаемом нефтяном пласте при заводнении // SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition 2016, Moscow, 24—26 October 2016. Москва: Общество инженеров-нефтяников (SPE), 2016. С. 10—27. <https://doi.org/10.2118/181983-ms>. EDN: YBGIRV.
9. Давлетбаев А., и др. Промысловые исследования спонтанного роста наведенных трещин в нагнетательных скважинах // Техническая конференция SPE по разведке и добыче нефти и газа в России, Москва, 4—16 октября 2014 г. Москва: Общество инженеров-нефтяников (SPE), 2014. С. 12—33. <https://doi.org/10.2118/171232-MS>
10. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir Stimulation. New York: John Wiley & Sons, LTD, 2000. 856 p.
11. Koning E.J.L Fractured Water Injection Wells — Analytic Modelling of Fracture Propagation // SPE 14684. 1985. P. 1—39.
12. Kuzmina S., Butula K.K., Nikitin A.N. Reservoir Pressure Depletion and Water Flooding Influencing Hydraulic Fracture Orientation in Low-Permeability Oilfields // SPE 20749. 2009. P. 15—35. <https://doi.org/10.2118/120749-MS>
13. Perkins T.K., Gonzales J.A. The Effect of Thermoleastic Stresses on Injection Well Fracturing // Society of Petroleum Engineers Journal. 1985. Vol. 25, Issue 01. P. 78—88. <https://doi.org/10.2118/11332-PA>

REFERENCES

1. Alexandrov B.L. Abnormally high reservoir pressures in oil and gas basins, Moscow: Nedra, 1987. 216 p. (In Russian).
2. Vikhman I.A., Kolupaev D.Yu., Chebykin N.A., Serdyuk A.P., Vereshchagin S.A., Mavletkulov U.R., et al. High-speed hybrid hydraulic fracturing in horizontal wells of the Yuzhno-Priobskoye field // OIL & GAS JOURNAL. 2018. No. 10. P. 42—47 (In Russian).
3. Islamov A.I., Vereshchagin S.A., Kolupaev D.Yu., Faskhutdinov R.R., On the mechanisms of occurrence of zones with abnormally high reservoir pressure and methods of their prediction in undeveloped formations on the example of the Priobskoye field. 2018. No. 10. P. 54—59 (In Russian). <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-10-54-59>
4. Milanovsky E E. Rifting in the history of the Earth (Rifting in mobile belts). Moscow: Nedra, 1987. 298 p. (In Russian).
5. Milanovsky E.E. Geology of Russia and the near abroad (Northern Eurasia). Moscow: Moscow State University, 1996. 448 p. (In Russian).
6. RN-UfaNIPIneft LLC, Report on the research work: Recalculation of oil and dissolved gas reserves of the Priobskoye field". 2008. Vol. 1. Registration number: 17138198 (In Russian).
7. Afanasiev I.S., Timonov A.V., Sudeev I.V., et al. Analysis of multiple fractured horizontal wells application at Priobskoye field // Society of Petroleum Engineers — SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition 2012. Moscow, 16—18 October 2012. Vol. 3. Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2012. P. 2041—2055. <https://doi.org/10.2118/162031-ms>. EDN: RGCCZR
8. Butula K.K., Vereshchagin S., Malyshev V., Stashevsky V. Field development issues and newly developed sector pattern with horizontal multistage fractures wells completed in mid-permeability oil reservoir under waterflood // SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition 2016, Moscow, 24—26 October 2016. Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2016. P. 10—27. <https://doi.org/10.2118/181983-ms>. EDN: YBGIRV.
9. Davletbaev A., et al. Field Studies of Spontaneous Growth of Induced Fractures in Injection Wells // SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference, Moscow, 4—16 October 2014. Moscow: Society of Petroleum Engineers (SPE), 2014. P. 12—33. <https://doi.org/10.2118/171232-MS>
10. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir Stimulation. New York: John Wiley & Sons, LTD, 2000. 856 p.
11. Koning E.J.L Fractured Water Injection Wells — Analytic Modelling of Fracture Propagation // SPE 14684. 1985. P. 1—39.
12. Kuzmina S., Butula K.K., Nikitin A.N. Reservoir Pressure Depletion and Water Flooding Influencing Hydraulic Fracture Orientation in Low-Permeability Oilfields // SPE 20749. 2009. P. 15—35. <https://doi.org/10.2118/120749-MS>
13. Perkins T.K., Gonzales J.A. The Effect of Thermoleastic Stresses on Injection Well Fracturing // Society of Petroleum Engineers Journal. 1985. Vol. 25, Issue 01. P. 78—88. <https://doi.org/10.2118/11332-PA>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Исламов А.И. — разработал концепцию статьи, раскрыл механизм формирования явления автоГРП, участвовал в камеральных сборах статистических данных, участвовал в расчетах моделей развития трещины автоГРП, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Есаулков С.Д. — участвовал в камеральных сборах статистических данных, построении и анализе непроизводительной закачки, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Azamat I. Islamov — developed the concept of the article, revealed the mechanism of formation of the phenomenon of autogrillation, participated in desk statistical data collection, participated in calculations of models of crack development of autogrillation, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Sergey D. Esaulkov — participated in the in-house collection of statistical data, construction and analysis of unproductive uploads, prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Исламов Азамат Ильдарович — начальник отдела — руководитель проекта по поддержке и управлению изменениями бизнес-кейсов опции развития ООО «Газпромнефть-Хантос», доцент ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет». 16, ул. Чехова, г. Ханты-Мансийск 628011, Россия
e-mail: ai.north@mail.ru
тел.: +7 (982) 871-03-33
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5494-5304>

Есаулкин Сергей Дмитриевич* — студент ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет». 16, ул. Чехова, г. Ханты-Мансийск 628011, Россия
e-mail: esaulkov_01@mail.ru
тел.: +7 (982) 206-03-18
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2466-0122>

Azamat I. Islamov — Head of the Department — Project Manager for Support and Change Management of Business Cases of Development Options of Gazpromneft-Khantos LLC, Associate Professor of Ugra State University. 16, Chekhov str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia
e-mail: ai.north@mail.ru
tel.: +7 (982) 871-03-33
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5494-5304>

Sergey D. Esaulkov* — Student of Ugra State University. 16, Chekhov str., Khanty-Mansiysk 628011, Russia
e-mail: esaulkov_01@mail.ru
tel.: +7 (982) 206-03-18
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2466-0122>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И СОСТАВА МИНЕРАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ВО ВКРАПЛЕННЫХ И МАССИВНЫХ РУДАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОКТЯБРЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОРИЛЬСКИЙ РАЙОН

Л.С. КАНИМБУЕ^{1,*}, Н.Д. ТОЛСТЫХ², Н.А. КРИВОЛУЦКАЯ³, И.В. ТАЛОВИНА¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»
2, 21 линия В.О., г. Санкт-Петербург 199106, Россия

² ФГБУН «Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева» Сибирского отделения
Российской академии наук
3, пр. Академика Коптюга, г. Новосибирск 630090, Россия

³ ФГБУН «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» Российской академии наук
19, ул. Косыгина, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В пределах Октябрьского месторождения Норильского района состав руд и содержащихся в них минералов благородных металлов (МБМ) меняется существенно. Анализ форм нахождения и ассоциаций МБМ позволяет предположить условия их образования в рудах, а изучение их морфологии имеет принципиальное значение для решения технологических вопросов извлечения этих минералов из сульфидной руды.

Цель. Анализ форм нахождения и ассоциаций МБМ для определения их условий образования.

Материалы и методы. В работе изучено 44 аншлифа, полученных из керна скважин, вскрывших центральную часть Октябрьского месторождения. Состав и морфология минералов благородных металлов проанализированы методом сканирующей электронной микроскопии.

Результаты. Изучены формы нахождения МБМ в сульфидных рудах и определена размерность их агрегатов. Выявлены различные парагенезисы МБМ в зависимости от состава сульфидных руд. Получено подтверждение гипотезы о существовании обратной зависимости между температурой кристаллизации МБМ и фугитивностью серы в рудообразующей системе.

Заключение. Состав МБМ и их формы нахождения существенно отличаются в различных типах сульфидных руд центральной части Октябрьского месторождения, что отражает генетические особенности каждого типа оруденения. Выявленные различия в парагенезисах МБМ указывают на отдельную, самостоятельную эволюцию каждой разновидности вкрапленных и массивных руд при разных условиях. Это позволяет актуализировать устоявшуюся модель рудообразования в Октябрьском месторождении.

Ключевые слова: металлы платиновой группы, золото, серебро, медно-никелевые руды, Октябрьское месторождение, морфология минералов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Для цитирования: Канимбуе Л.С., Толстых Н.Д., Криволицкая Н.А., Таловина И.В. Особенности морфологии и состава минералов благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах центральной части Октябрьского месторождения, Норильский район. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):88—98. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-88-98>

Статья поступила в редакцию 06.02.2024
Принята к публикации 15.03.2024
Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

MORPHOLOGICAL FEATURES AND COMPOSITION OF NOBLE METAL MINERALS IN DISSEMINATED AND MASSIVE ORES OF THE CENTRAL PART OF THE OKTYABRSKOE DEPOSIT, NORILSK REGION

LUDMILA S. CANHIMBUE^{1,*}, NADEZHDA D. TOLSTYKH², NADEZHDA A. KRIVOLUTSKAYA³, IRINA V. TALOVINA¹

¹ *Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University
2, 21st line, St Petersburg 199106, Russia*

² *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
3, Koptyuga ave., Novosibirsk 630090, Russia*

³ *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences
19, Kosygina str., Moscow 119991, Russia*

ABSTRACT

Background. The composition of ores and noble metal minerals (NMM) in the Oktyabrskoe deposit of the Norilsk region varies significantly. An analysis of NMM occurrence forms and their associations may elucidate the conditions of their appearance in ores. Research into the morphology of these minerals is of fundamental importance for solving technological issues of their extraction from sulfide ores.

Aim. To analyze the occurrence forms and associations of NMM to determine their formation conditions.

Materials and methods. In total, 44 polished sections obtained from drill-core holes in the central part of the Oktyabrskoe deposit were examined. The composition and morphology of NMM samples were analyzed by scanning electron microscopy.

Results. Forms of NMM in sulphide ores have been studied and the density of their aggregates has been determined. Different NMM paragenesis depending on the composition of sulphide ores was revealed. The hypothesis of the existence of an inverse relationship between the NMM crystallisation temperature and sulphur fugacity in the ore-forming system was confirmed.

Conclusion. In the central part of the Oktyabrskoe deposit, the composition of NMM and their occurrence forms differ significantly depending of the type of sulfide ores and reflecting the genetic features of their mineralization. Differences in NMM paragenesis indicate a separate, independent evolution of each type of disseminated and massive ores under different conditions. This allows us to update the established model of ore formation in the Oktyabrskoe deposit.

Keywords: platinum group metals, gold, silver, copper-nickel ores, Oktyabrskoe deposit, mineral morphology

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

Financial disclosure: the study was carried out within the framework of the state assignment of IGM SB RAS, financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Canhimbue L.S., Tolstykh N.D., Krivolutskaya N.A., Talovina I.V. Morphological features and composition of noble metal minerals in disseminated and massive ores of the central part of the Oktyabrskoe deposit, Norilsk region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):88–98. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-88-98>

Manuscript received 06 February 2024

Accepted 15 March 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Руды месторождений Норильского района являются уникальными по разнообразию присутствующих в них минералов платиновых металлов, золота и серебра.

Особенности распределения минералов платиновой группы (МПГ) в медно-никелевых рудах месторождений Норильского района детально описаны в работах [3, 6, 7, 11, 13, 17, 18] и многих других. В настоящее время здесь идентифицировано более 80 видов МПГ. Вопросы минералогии золота и серебра в норильских рудах изучены в [2, 8, 10, 12, 19 и др.]. Стоит отметить, что в большинстве предыдущих работ благороднометалльная минерализация рассматривается преимущественно в массивных сульфидных и малосульфидных рудах как в наиболее богатых типах, и единичные публикации посвящены изучению минералов благородных металлов (МБМ) во вкрапленных рудах [3, 11, 14, 20]. Это обусловлено редкой встречаемостью этих минералов в данных рудах и мелкими размерами их выделений.

Состав руд и содержащихся в них минералов платиновой группы, золота и серебра меняется существенно не только от месторождения к месторождению, но и в пределах отдельных рудных залежей. В первую очередь это касается самого крупного из них — Октябрьского месторождения, для которого детально охарактеризованы минеральные ассоциации и МПГ основной залежи, но значительно меньше информации имеется для других рудных тел.

Настоящая работа посвящена изучению состава, морфологии и распределения благороднометалльной минерализации в массивных и вкрапленных рудах центральной части Октябрьского месторождения. Анализ форм нахождения и ассоциаций МБМ позволяет предположить условия их образования в рудах, а изучение их морфологии имеет принципиальное значение для решения технологических вопросов извлечения этих минералов из сульфидной руды.

Геологическое строение

Октябрьское месторождение, приуроченное к Хараелахскому дифференцированному интрузиву Норильского рудного района, является уникальным геологическим объектом мирового значения.

Форма и расположение Хараелахского рудоносного интрузива определены сложной тектонической обстановкой, различными типами вмещающих пород и особенностями состава родоначальной магмы (рис. 1).

Интрузив представляет собой пластообразное тело, постепенно погружающееся на северо-восток [6]. В центральной части сверху вниз выделяются следующие горизонты: крупнозернистые лейкогаббро, безоливиновые, оливинсодержащие и оливиновые габбро-долериты, пикритовые, такситовые и нижние контактовые габбро-долериты. Октябрьское месторождение локализуется на нижнем контакте Хараелахского интрузива с аргиллитовыми отложениями разведочной свиты девонского возраста и состоит из нескольких рудных тел, являющихся интрузивными ответвлениями [15].

По минеральному составу в центральной части Октябрьского месторождения можно выделить вкрапленные пентландит-халькопирит-пирротиновые и массивные халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 (рис. 16), слагающие Южную ветвь Хараелахского интрузива, а также вкрапленные кубанит-халькопирит-троилитовые руды и массивные кубанит-талнахитовые руды залежи С-4, являющихся частью Северной интрузивной ветви [6].

Методы

Для исследования благороднометалльной минерализации было изучено 44 аншлифа, полученных из керна скважин, вскрывших центральную часть Октябрьского месторождения (рис. 16). Коллекция образцов включала в себя вкрапленные руды пикритовых и такситовых габбро-долеритов и массивные руды.

Состав и морфология минералов благородных металлов проанализированы на сканирующем электронном микроскопе Vega3 фирмы Tescan, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy (ВСЕГЕИ, аналитик Грузова Е.Л.), и на сканирующем электронном микроскопе Mira3 Tescan с автоэмиссионным катодом Шоттки (ГЕОХИ РАН, аналитик Демидова С.И.). Анализы проведены при токе 20 нА, ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре пучка 1—3 мкм, время набора спектра от 30 до 50 с.

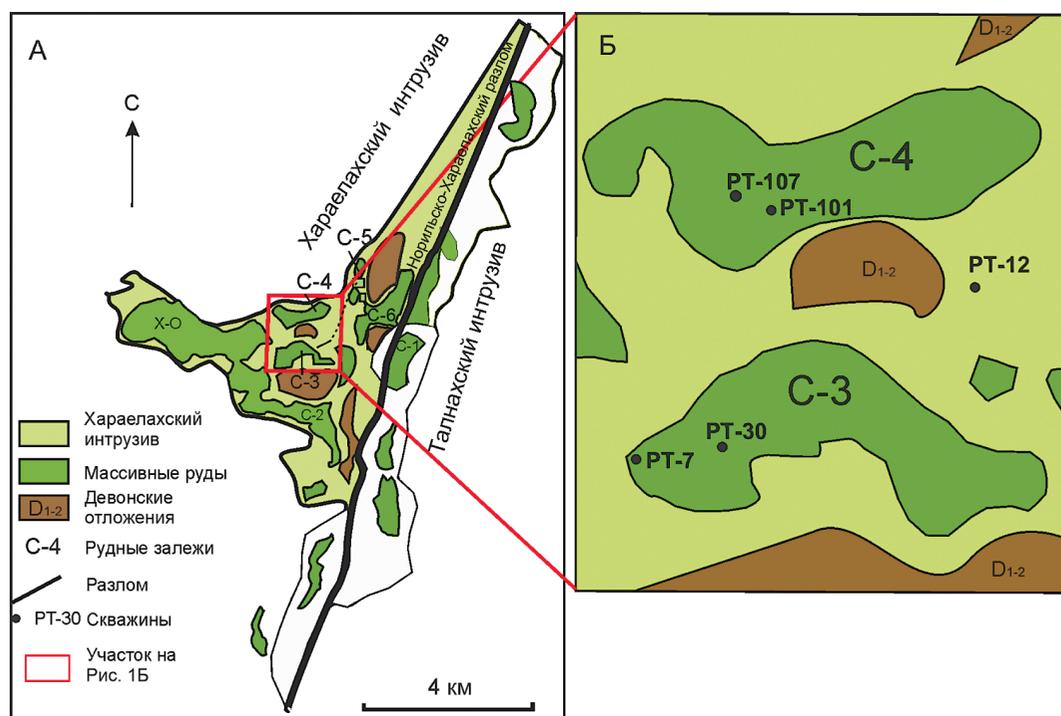


Рис. 1. Проекция интрузивных тел и рудных залежей Талнахского рудного узла на горизонтальную плоскость (А), участок исследований в центральной части Октябрьского месторождения (Б)

Fig. 1. Projection of intrusive bodies and orebodies of the Talnakh ore cluster on a horizontal plane (A), study area in the central part of the Oktyabrskoe deposit (B)

Результаты

Морфология и распределение минеральных агрегатов

Во всех типах сульфидных руд минералы благородных металлов формируют зерна ксеноморфной, угловатой и округлой формы, метакристаллы, микропрожилки, линзовидные выделения, а также тонкие сростания и агрегаты разных по составу и свойствам минералов. Для кристаллов с правильными ограничениями типичны скелетные формы и ступенчатое развитие отдельных граней (рис. 2е). Индивиды МБМ характеризуются однородным внутренним строением, редко отмечается наличие включений сульфидных минералов (рис. 2б). В одном аншлифе могут быть найдены и идиоморфные, и ксеноморфные выделения.

Большая часть идентифицированных зерен (70%) относятся к нано- или микроминералам, имеют крупность 1—10 мкм, при этом максимальный размер изученных зерен составил 100×25 мкм. Как показано во многих работах, распределение минералов платиновых металлов, золота и серебра в сульфидных рудах Октябрьского месторождения крайне неравномерно [2, 3], однако в разрезе Хараелахского интрузива наблюдается увеличение размера зерен МБМ от руд сидеранитовой струк-

турой в оливиновых габбро-долеритах через так называемые «глобулярные» руды в пикритовых габбро-долеритах до руд с ксеноморфной структурой в такситовых габбро-долеритах. Отмечаются скопления МБМ минералов в самой верхней части залежей массивных руд. В основном МБМ ассоциируются с медистыми минералами (халькопирит, кубанит, борнит, талнахит), реже находятся в пентландите, пирротине, миллерите и хлорите.

Состав благороднометалльной минерализации

Отличительной особенностью благороднометалльной минерализации Октябрьского месторождения является широкий спектр элементов в соединениях с ЭПГ, таких как As, Sn, Bi, Te, Sb, Pb, Cu, Se, Ag, Fe [3]. По результатам изучения 44 образцов определено 378 зерна МБМ, среди которых 26 минеральных видов МПГ и 9 минералов золота и серебра.

Кроме того, выявлены различные парагенезисы минералов благородных металлов в зависимости от состава сульфидных руд.

Так, во вкрапленных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах Южной ветви Хараелахского интрузива в пикритовых и такситовых габбро-долеритах основного рудного горизонта

(скв. РТ-30, РТ-7, верх РТ-12) преобладают палладиевые и золотосеребряные минералы. Среди первых наиболее распространены соединения палладия с висмутом и теллуrom — котульскит $\text{Pd}(\text{Te}, \text{Bi})_{2-x}$, майченерит PdBiTe , фрудит PdBi_2 , а также арсениды палладия — палладоарсенид Pd_2As , неназванный минерал Pd_5As_2 . Золото и серебро образуют сплавы с содержанием Au от 32 до 62 мас.%. Кроме этого, присутствуют сперрилит PtAs_2 , паоловит Pd_2Sn , рустенбургит $(\text{Pt}, \text{Pd})_3\text{Sn}$. Менее распространены стибнопалладинит Pd_5Sb_2 , служеникинит $\text{Pd}_{15}(\text{Sb}_{7-x}\text{Sn}_x)$, мертиит $\text{Pd}_8\text{Sb}_{2.5}\text{As}_{0.5}$ и куперит PtS . Почти постоянно МПГ ассоциируются с минералами золота и серебра, располагающимися по периферии выделений МПГ и образующими с ними графические сростания (рис. 2а).

Вкрапленные кубанит-халькопирит-троилитовые руды в пикритовых и такситовых габбро-долеритах Северной ветви Хараелахского интрузива (скв. РТ-107, РТ-101, низ РТ-12) характеризуются широким распространением минералов золота и серебра (рис. 2д). Среди них определены электрум с содержанием золота от 36 до 46 мас.%, кюстелит, самородное серебро с примесью палладия до 3 мас.%, аурикуприд Cu_3Au , гессит Ag_2Te , сопчеит $\text{Ag}_4\text{Pd}_3\text{Te}_4$ и аргенто-

пентландит $\text{Ag}(\text{Fe}, \text{Ni})_8\text{S}_8$ с содержанием серебра до 13 мас.%.
Особенностью кубанит-халькопирит-троилитовых руд является широкое развитие тройных соединений Pd, Sn и Cu, среди которых кабриит Pd_2CuSn и таймырит $(\text{Pd}, \text{Cu}, \text{Pt})_3\text{Sn}$. Также присутствуют паоловит Pd_2Sn , содержащий примесь Pb до 2%, нильсенит PdCu_3 , ниглиит PtSn и серия составов атокит-рустенбургит $(\text{Pd}, \text{Pt})_3\text{Sn}$ со значительной примесью Au (до 5,77 мас.%). Диагностирован широкий набор теллуридов и висмутидов, включающий мончеит $\text{Pt}(\text{Te}, \text{Bi})_2$, соболевскит PdBi , котульскит $\text{Pd}(\text{Te}, \text{Bi})_{2-x}$, а также не идентифицированные фазы составов: $(\text{Pd}, \text{Pt})_2\text{BiTe}$, $(\text{Pt}, \text{Pd})_2\text{BiTe}_2$, $(\text{Pt}, \text{Pd})_3(\text{Te}, \text{Bi})_5$, $\text{Pd}_7(\text{Bi}, \text{Te})_8$. Встречаются плюмбид палладия звягинцевит Pd_3Pb , арсениды (палладоарсенид Pd_2As , стиллуотерит Pd_8As_3 , фаза Pd_5As_2), мертиит $\text{Pd}_8\text{Sb}_{2.5}\text{As}_{0.5}$. Найдены единичные зерна сперрилита PtAs_2 , изоферроплатины Pt_3Fe и кейтконнит $\text{Pd}_{20}\text{Te}_7$.

В массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах залежи С-3 Южной ветви Хараелахского интрузива платинометаллическая минерализация представлена в основном сперрилитом PtAs_2 и паоловитом Pd_2Sn (рис. 3а). Здесь сперрилит не формирует привычные

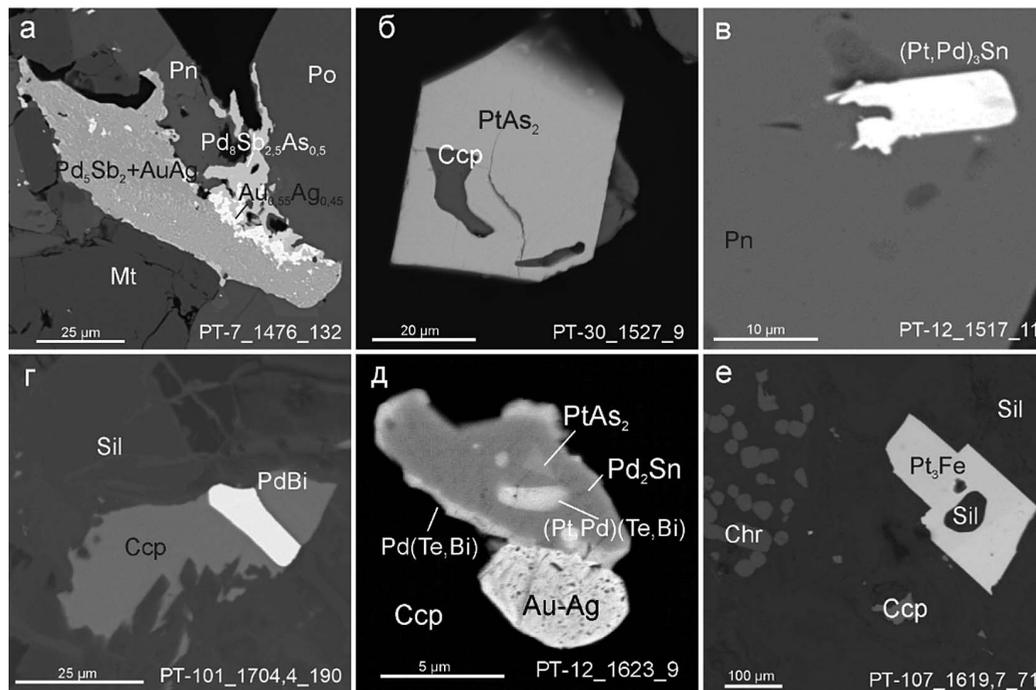


Рис. 2. Морфология минералов благородных металлов во вкрапленных рудах центральной части Октябрьского месторождения: а—в — пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; г—е — кубанит-халькопирит-троилитовые руды

Fig. 2. Morphology of noble metal minerals in disseminated ores of the central part of the Oktyabrskoe deposit: а—в — pentlandite-chalcopyrite-pyrrhotite ores; г—е — cubanite-chalcopyrite-troilite ores

метакристаллы, а присутствует в виде мелких выделений неправильной и дендритовидной формы, в составе которых стабильно отмечается примесь Sb до 2,21% (рис. 3б). Реже встречаются мончеит $Pt(Te, Bi)_2$, котульскит $Pd(Te, Bi)_{2-x}$, соболевскит $PdBi$, куперит PtS (рис. 3в), минералы ряда атоцит-рустенбургит $(Pd, Pt)_3Sn$, мертиит $Pd_8Sb_{2,5}As_{0,5}$ и надреттит Pd_2Sb . Золото и серебро образуют сплавы с содержанием Au от 32 до 62 мас.%, найдены зерна высокопробного золота. Серебро также присутствует в виде гессита, аргентопентландита и в качестве примеси в халькопирите до 6 мас.%

Массивные кубанит-талнахитовые руды залежи С-4 Северной ветви Хараелахского интрузива имеют наиболее простой из изученных составов благороднометалльной минерализации (рис. 4). В основном она представлена зернами теллуридов палладия и серебра — теларгпалитом $(Pd, Ag)_3Te$ (рис. 3е), в котором часто встречается примесь свинца до 12 мас.%. Кроме того, присутствуют фаза $Pd(Te, Bi)$, таймырит $(Pd, Cu, Pt)_3Sn$, а также единичные выделения палладоарсенида Pd_2As и кейтконнита $Pd_{20}Te_7$. Широко распространены минералы золота и серебра, в основном в виде электрума, золотосодержащего серебра и самородного золота (рис. 3г, д).

Стоит подчеркнуть следующие особенности состава некоторых МПГ. В котульските из вкрапленных пентландит-пирротин-халькопиритовых руд отмечается примесь Sb до 1,86 мас.%, в то время как остальных рудах примеси в котульските отсутствуют. В сперрилите из массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых руд стабильно отмечается примесь Sb от 0,6 до 5,8 мас.%, тогда как во вкрапленных кубанит-халькопирит-троилитовых рудах в этом минерале присутствует 2,2—2,7 мас.% Sn. Во вкрапленных пентландит-пирротин-халькопиритовых рудах сперрилит не содержит примесей, а в массивных кубанит-талнахитовых рудах вовсе отсутствует.

Таким образом, состав МБМ и их формы нахождения существенно отличаются в различных типах сульфидных руд центральной части Октябрьского месторождения, характеризую особенности рудоформирующей системы. Распределение минералов платиновых металлов, золота и серебра в рудах наглядно показано на рисунке 4.

Обсуждение

Как известно, морфология, размер и характер сростаний, а также особенности состава минералов благородных металлов зависят от их

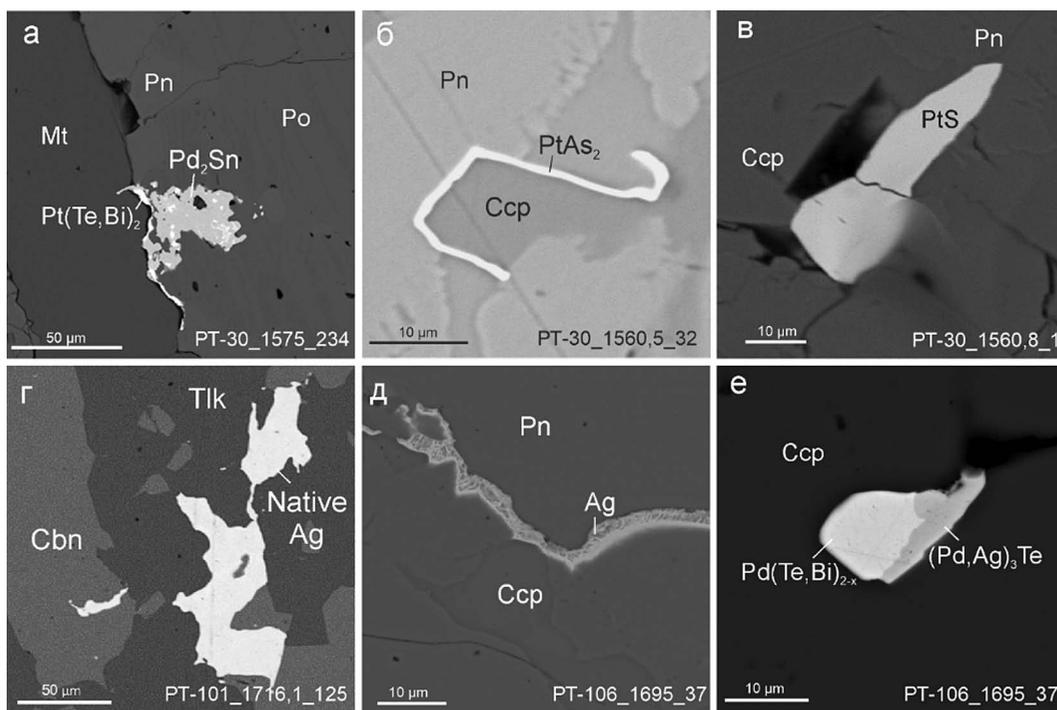


Рис. 3. Морфология минералов благородных металлов в массивных рудах центральной части Октябрьского месторождения: а—в — пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; г—е — кубанит-талнахитовые руды
Fig. 3. Morphology of noble metal minerals in massive ores of the central part of the Oktyabrskoe deposit: а—в — pentlandite-chalcopyrite-pyrrhotite ores; г—е — cubanite-talnakhite ores

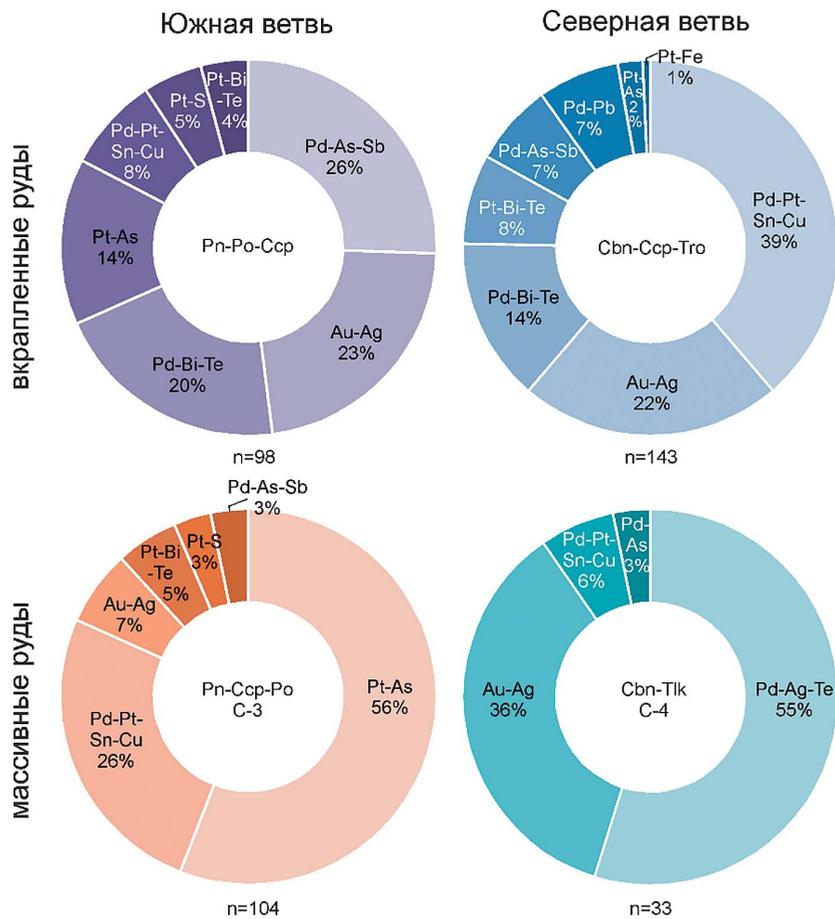


Рис. 4. Диаграммы валового состава благороднометалльной минерализации в рудах центральной части Октябрьского месторождения (n — количество изученных зерен МБМ)

Fig. 4. Diagrams of the bulk composition of noble-metal mineralization in the ores of the central part of the Oktyabrskoe deposit (n — number of studied MBM grains)

концентрации, соотношения и сопровождающих их элементов в породообразующей магме, а также от условий ее кристаллизации [4].

Оценка крупности и частоты встречаемости МБМ по методике [1] показала, что благороднометалльная минерализация представлена преимущественно мелкими зернами станнидов, висмутидов и теллуридов палладия, арсенидов платины, золотосеребряными сплавами, а также редкими крупными сульфидами платины и арсенидами палладия. На рисунке 5 фигуративные точки этих минералов формируют тренд, отражающий отрицательную корреляцию крупности их выделений и частоты встречаемости.

Согласно предыдущим исследованиям [4; 11, 16], концентрация благородных металлов зависит от особенностей эволюции состава каждого типа руд. В частности, во вкрапленных рудах содержание БМ находится в зависимости от содержания серы, в то время как в массивных рудах

важнейшую роль играет степень фракционирования сульфидного вещества.

Ранее [5; 9] нами было установлено, что эволюция фугитивности серы значительно отличалась в горизонтах вкрапленных руд в пикритовых габбро-долеритах разных ветвей Хараелахского интрузива. Так, в Северной ветви отмечается понижение f_{S_2} от $-10,5$ до -13 вниз по разрезу пикритовых габбро-долеритов, что обеспечивало образование низкосернистой сульфидной ассоциации, в данном случае вкрапленных кубанит-халькопирит-троилитовых руд. В Южной ветви, наоборот, от кровли к подошве пикритовых габбро-долеритов наблюдается увеличение фугитивности серы от -13 до -10 , что способствует развитию высокосернистой ассоциации — вкрапленных пентландит-пирротин-халькопиритовых руд.

Наши результаты подтверждают ранее высказанные выводы [21] о существовании обратной зависимости между температурой

кристаллизации МПГ и фугитивностью серы в рудообразующей системе. В кубанит-халькопирит-троилитовых рудах широко развиты высокотемпературные соединения системы Pd-Pt-Sn-Cu (~480—500 °С), считающиеся наиболее ранними минералами руд Октябрьского месторождения [2, 18]. В пентландит-пирротин-халькопиритовых рудах доминируют более низкотемпературные ассоциации арсенидов и висмутидов-теллуридов палладия, формирующихся в интервале ~ 290—350 °С [2, 16].

Массивные руды являются результатом длительной эволюции магматического расплава в промежуточной камере [2, 11] и внедрения его различных фракций в виде отдельных порций. Пентландит-халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 Южной ветви менее фракционированы, чем кубанит-талнахитовые руды залежи С-4 Северной ветви. При этом в них преобладают высокотемпературные минералы, преимущественно, соединения платины (рис. 4). В массивных кубанит-талнахитовых рудах, характеризующихся наиболее высокой степенью фракционирования, наиболее распространены низкотемпературные парагенезисы МБМ. Следовательно, существует обратная зависимость температурного градиента образования МБМ от степени фракционирования массивных руд.

Выводы

Таким образом, выявленные различия в концентрации благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах, а также различные парагенезисы минералов благородных металлов внутри единой интрузивной ветви подтверждают гипотезу о независимом, последовательном

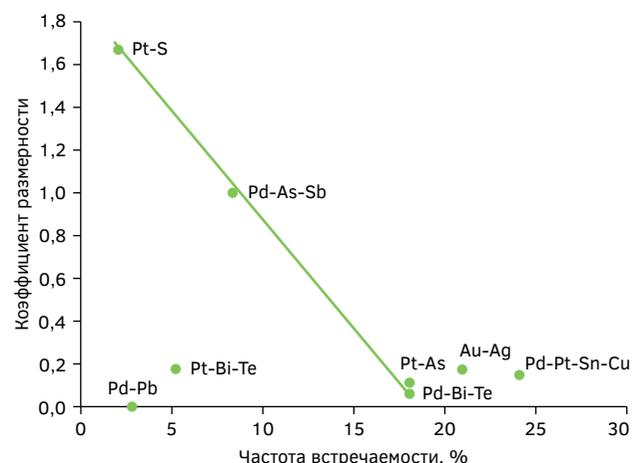


Рис. 5. Частота встречаемости и показатель размерности МБМ центральной части Октябрьского месторождения. Коэффициент размерности равен отношению числа зерен фракции +20 мкм к числу зерен фракции — 20 мкм

Fig. 5. Frequency of occurrence and dimensionality index of MBM of the central part of the Oktyabrskoe deposit. The dimensionality coefficient is equal to the ratio of the number of grains of the +20 μm fraction to the number of grains of the -20 μm fraction

формированию вкрапленного и массивного оруденения в Хараелахской интрузии. Состав МБМ и их формы нахождения существенно отличаются в различных типах сульфидных руд центральной части Октябрьского месторождения, что отражает генетические особенности каждого типа оруденения. Частоты встречаемости МБМ отрицательно коррелируют с крупностью их выделений. Различия в парагенезисах МБМ указывают на отдельную, самостоятельную эволюцию каждого типа вкрапленных и массивных руд при разных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балабонин Н.Л., Корчагин А.У., Субботин В.В., Нерадовский Ю.Н., Карпов С.М., Пахомовский Я.А., Савченко Е.Э. Минералы платиновых металлов и новые данные о главных минералах руд Федорово-Панского массива // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2000. Т. 3. №. 2. С. 179—204.
2. Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д., Филимонова А.А., Евстигнеева Т.Л., Коваленкер В.А. и др. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. М.: Наука, 1981. 239 с.
3. Генкин А.Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах Норильского месторождения. М.: Наука, 1968. 106 с.
4. Евстигнеева Т.Л., Генкин А.Д. Платино-никелевая минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Сборник научных трудов / Под ред Г.И. Горбунова. М.: Наука, 1990. С. 98—105.
5. Криволицкая Н.А., Толстых Н.Д., Канимбуге Л.С., Гонгальский Б.И., Кузьмин Д.В. Новые данные о геологическом строении Октябрьского месторождения, Норильский рудный район // Ультрамафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: мат-лы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. С. 109—111.
6. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 495 с.
7. Петров Д.А., Рыжкова С.О., Гембицкая И.М. Редкие минералы благородных металлов в коллекции Горного музея: новые данные // Записки Горного

- института. 2022. Т. 255. С. 493—500. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.42>
8. Спиридонов Э.М., Кулагов Э.А., Серова А.А., Куликова И.М., Коротаева Н.Н., Середа Е.В. и др. Генетическая минералогия Pd, Pt, Au, Ag, Rh в норильских сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. №. 5. С. 445—476. <https://doi.org/10.7868/S0016777015050068>
 9. Толстых Н.Д., Кривоуцкая Н.А., Канимбуе Л.С., Гонгальский Б.И. Минералого-геохимические особенности руд центральной части Октябрьского месторождения, Норильский рудный район // Мат-лы конф. «Минералообразующие системы месторождений высокотехнологических минералов: достижения и перспективы исследований». М.: ИГЕМ РАН, 2023. С. 386—389.
 10. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Afanasova A., Romashev A., Aburova V., Prokhorova E. Extraction of Low-Dimensional Structures of Noble and Rare Metals from Carbonaceous Ores Using Low-Temperature and Energy Impacts at Succeeding Stages of Raw Material Transformation // Minerals. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 84. <https://doi.org/10.3390/min13010084>
 11. Distler V.V., Sluzhenikin S.F., Cabri L.J., Krivolutskaya N.A., Turovtsev D.M., Golovanova T.A., et al. Platinum ores of the Noril'sk layered intrusions: magmatic and fluid concentration of noble metals. // Geol Ore Depos. 1999. Vol. 41. P. 214—237.
 12. Evdokimov S.I., Golikov N.S., Zadkov D.A., Voitovich E.V., Kondratiev V.V., Petrovskiy A.A., et al. Studying the Flotation of Gold-Bearing Ores Using Carrier Minerals // Minerals. 2024. Vol. 14. №. 1. P. 88. <https://doi.org/10.3390/min14010088>
 13. Genkin A.D., Evstigneeva T.L. Associations of Platinum-Group Minerals of the Noril'sk Copper-Nickel Sulphide Ores // Econ. Geol. 1986. No. 81 P. 1203—1212.
 14. Komarova M.Z., Kozyrev S.M., Simonov O.N., Lyul'ko V.A. The PGE mineralization of disseminated sulphide ores of the Noril'sk-Taimyr Region // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Special volume 54 / Eds. L.J. Cabri. Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. P. 547—567.
 15. Krivolutskaya, N.A., Gongalsky, B.I., Kedrovskaya, T.B., Kubrakova, I.V., Tyutyunnik, O.A., Chikatueva, V.Y., et al. Geology of the Western Flanks of the Oktyabr'skoe Deposit, Noril'sk District, Russia: Evidence of a Closed Magmatic System // Mineralium Deposita 2019. Vol. 54. P. 611—630. <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0827-z>
 16. Makovicky E. Ternary and quaternary phase system with PGE / Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Special volume 54 / Eds. L.J. Cabri. Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. P. 131—176
 17. Mansur E.T., Barnes S.J., Duran C.J., Sluzhenikin S.F. Distribution of chalcophile and platinum-group elements among pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite and cubanite from the Noril'sk-Talnakh ores: Implications for the formation of platinum-group minerals // Mineralium Deposita. 2020. Vol. 55. P. 1215—1232. <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00926-z>
 18. Sluzhenikin S.F. Platinum-Copper-Nickel and Platinum Ores of Noril'sk Region and Their Ore Mineralization // Russ. J. Gen. Chem. 2011. Vol. 81. P. 1288—1301. <https://doi.org/10.1134/S1070363211060351>
 19. Sluzhenikin S.F., Mokhov A.V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. 2015. Vol. 50. P. 465—492. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0543-2>
 20. Sinyakova E., Kosyakov V., Palyanova G., Karmanov N. Experimental modeling of noble and chalcophile elements fractionation during solidification of Cu-Fe-Ni-S melt // Minerals. 2019. Vol. 9. №. 9. P. 531. <https://doi.org/10.3390/min9090531>
 21. Tolstykh N., Garcia J., Shvedov G. Distribution of sulfides and PGE minerals in the picritic and taxitic gabbro-dolerites of the Noril'sk 1 intrusion // The Canadian Mineralogist. 2021. Vol. 59. №. 6. P. 1437—1451. <https://doi.org/10.3749/canmin.2100037>

REFERENCES

1. Balabonin N.L., Korchagin A.U., Subbotin V.V., Neradovsky Yu.N., Karpov S.M., Pahomovsky Ya.A., Savchenko E.E. Platinum metal minerals and new data on the main ore minerals of the Fedorovo-Pan massif. Bulletin of Murmansk State Technical University. 2000. Vol. 3. №. 2. P. 179—204 (In Russian).
2. Genkin A.D., Distler V.V., Gladyshev G.D., Filimonova A.A., Evstigneeva T.L., Kovalenker V.A., et al. Sulfide copper-nickel ores of Noril'sk deposits. Moscow: Nauka, 1981. 239 p. (In Russian).
3. Genkin A.D. Minerals of platinum metals and their associations in copper-nickel ores of the Noril'sk deposit. Moscow: Nauka, 1968. 106 p. (In Russian).
4. Evstigneeva T.L., Genkin A.D. Platinum-metal mineralization of Noril'sk copper-nickel ores: natural and experimental data // Geology of copper-nickel deposits of the USSR. Collection of scientific papers / Ed. G.I. Gorbunov. Moscow: Nauka, 1990. P. 98—105 (In Russian).
5. Krivolutskaya N.A., Tolstykh N.D., Canhimbuе L.S., Gongalsky B.I., Kuzmin D.V. New data on the geological structure of the Oktyabr'skoe deposit, Noril'sk ore district // Ultramafic-mafic complexes: geology, structure, ore potential: Proceedings of the VIII All-Russian Conf. with international participation. Novosibirsk: IPC NSU, 2023. P. 109—111 (In Russian).
6. Likhachev A.P. Platinum-copper-nickel and platinum deposits. Moscow: Eslan, 2006. 495 p. (In Russian).
7. Petrov D.A., Ryzhkova S.O., Gembitskaya I.M. Rare minerals of noble metals in the collection of the

- Mining Museum: new data // Journal of Mining Institute. 2022. Vol. 255. P. 493—500. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.42>
8. Spiridonov E.M., Kulagov E.A., Serova A.A., Kulikova I.M., Korotaeva N.N., Sereda E.V., et al. Genetic mineralogy of Pd, Pt, Au, Ag, Rh in Norilsk sulfide ores // Geology of ore deposits. 2015. Vol. 57. №. 5. P. 445—476 (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0016777015050068>
 9. Tolstykh N.D., Krivolutskaya N.A., Canhimbue L.S., Gongalsky B.I. Mineralogical and geochemical features of ores of the central part of the Oktyabr'skoe deposit, Norilsk ore district // Proceedings of the conference «Mineral-forming systems of high-tech mineral deposits: achievements and prospects of research». Moscow: IGEM RAS, 2023. P. 386—389 (In Russian).
 10. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Afanasova A., Romashev A., Aburova V., Prokhorova E. Extraction of Low-Dimensional Structures of Noble and Rare Metals from Carbonaceous Ores Using Low-Temperature and Energy Impacts at Succeeding Stages of Raw Material Transformation // Minerals. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 84. <https://doi.org/10.3390/min13010084>
 11. Distler V.V., Sluzhenikin S.F., Cabri L.J., Krivolutskaya N.A., Turovtsev D.M., Golovanova T.A., et al. Platinum ores of the Noril'sk layered intrusions: magmatic and fluid concentration of noble metals. // Geol Ore Depos. 1999. Vol. 41. P. 214—237.
 12. Evdokimov S.I., Golikov N.S., Zadkov D.A., Voitovich E.V., Kondratiev V.V., Petrovskiy A.A., et al. Studying the Flotation of Gold-Bearing Ores Using Carrier Minerals // Minerals. 2024. Vol. 14. №. 1. P. 88. <https://doi.org/10.3390/min14010088>
 13. Genkin A.D., Evstigneeva T.L. Associations of Platinum-Group Minerals of the Noril'sk Copper-Nickel Sulfide Ores // Econ. Geol. 1986. No. 81 P. 1203—1212.
 14. Komarova M.Z., Kozyrev S.M., Simonov O.N., Lyul'ko V.A. The PGE mineralization of disseminated sulphide ores of the Noril'sk-Taimyr Region // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Special volume 54 / Eds. L.J. Cabri. Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. P. 547—567.
 15. Krivolutskaya, N.A., Gongalsky, B.I., Kedrovskaya, T.B., Kubrakova, I.V., Tyutyunnik, O.A., Chikatueva, V.Y., et al. Geology of the Western Flanks of the Oktyabr'skoe Deposit, Noril'sk District, Russia: Evidence of a Closed Magmatic System // Mineralium Deposita 2019. Vol. 54. P. 611—630. <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0827-z>
 16. Makovicky E. Ternary and quaternary phase system with PGE / Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Special volume 54 / Eds. L.J. Cabri. Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. P. 131—176
 17. Mansur E.T., Barnes S.J., Duran C.J., Sluzhenikin S.F. Distribution of chalcophile and platinum-group elements among pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite and cubanite from the Noril'sk-Talnakh ores: Implications for the formation of platinum-group minerals // Mineralium Deposita. 2020. Vol. 55. P. 1215—1232. <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00926-z>
 18. Sluzhenikin S.F. Platinum-Copper-Nickel and Platinum Ores of Noril'sk Region and Their Ore Mineralization // Russ. J. Gen. Chem. 2011. Vol. 81. P. 1288—1301. <https://doi.org/10.1134/S1070363211060351>
 19. Sluzhenikin S.F., Mokhov A.V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. 2015. Vol. 50. P. 465—492. <https://doi.org/10.1007/s00126-014-0543-2>
 20. Sinyakova E., Kosyakov V., Palyanova G., Karmanov N. Experimental modeling of noble and chalcophile elements fractionation during solidification of Cu-Fe-Ni-S melt // Minerals. 2019. Vol. 9. №. 9. P. 531. <https://doi.org/10.3390/min9090531>
 21. Tolstykh N., Garcia J., Shvedov G. Distribution of sulfides and PGE minerals in the picritic and taxitic gabbro-dolerites of the Norilsk 1 intrusion // The Canadian Mineralogist. 2021. Vol. 59. №. 6. P. 1437—1451. <https://doi.org/10.3749/canmin.2100037>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Канимбуге Л.С. — внесла вклад в подготовку статьи, провела исследования аншлифов методом электронной микроскопии, подготовила текст статьи и рисунки, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Толстых Н.Д. — внесла вклад в разработку концепции статьи, провела исследования аншлифов методом сканирующей электронной микроскопии, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ludmila S. Canhimbue — contributed to the preparation of the article, carried out studies of samples by scanning electron microscopy, prepared the text of the article and figures, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Nadezhda D. Tolstykh — contributed to the development of the concept of the article, conducted studies of the samples by scanning electron microscopy, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Криволицкая Н.А. — внесла вклад в разработку концепции статьи, отобрала и подготовила каменный материал, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Таловина И.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, отредактировала текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Nadezhda A. Krivolutskaya — contributed to the development of the concept of the article, collected and prepared samples, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Irina V. Talovina — contributed to the development of the concept of the article, edited 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

Канимбue Людмила Салете* — аспирант кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

2, 21 линия В.О., г. Санкт-Петербург 199106, Россия
e-mail: ludmilacanhimbue@mail.ru

тел.: +7 (925) 377-60-85

SPIN-код: 5438-9589

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-5833>

Ludmila S. Canhimbue* — post-graduate researcher of the Department of Historical and Dynamic Geology, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University.

2, 21 line, St. Petersburg 199106, Russia
e-mail: ludmilacanhimbue@mail.ru

tel.: +7 (925) 377-60-85

SPIN-code: 5438-9589

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0605-5833>

Толстых Надежда Дмитриевна — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций ФГБУН «Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева» Сибирского отделения Российской академии наук.

3, пр. Академика Коптюга, г. Новосибирск 630090, Россия
e-mail: tolst@igm.nsc.ru

SPIN-код: 2625-9030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4404-899X>

Nadezhda D. Tolstykh — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher of the Laboratory of Petrology and Ore-Bearing of Magmatic Formations, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk 630090, Russia

e-mail: tolst@igm.nsc.ru

SPIN-code: 2625-9030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4404-899X>

Криволицкая Надежда Александровна — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории магматических и метаморфических пород Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

19, ул. Косыгина, г. Москва 119991, Россия

e-mail: nakriv@mail.ru

SPIN-код: 6088-7944

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-7785>

Nadezhda A. Krivolutskaya — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher of the Laboratory of Magmatic and Metamorphic rocks, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences.

19, Kosygina str., Moscow 119991, Russia

e-mail: nakriv@mail.ru

SPIN-code: 6088-7944

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5709-7785>

Таловина Ирина Владимировна — доктор геолого-минералогических наук, заведующая кафедрой исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

2, 21 линия В.О., г. Санкт-Петербург 199106, Россия
e-mail: talovina_iv@pers.spmi.ru

SPIN-код: 7304-0991

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4132-7010>

Irina V. Talovina — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Head of the Department of Historical and Dynamic Geology, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University.

2, 21 line, St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: talovina_iv@pers.spmi.ru

SPIN-code: 7304-0991

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4132-7010>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Ю.А. АРСЕНТЬЕВ^{1,*}, А.П. НАЗАРОВ¹, Н.В. СОЛОВЬЕВ¹, Д.А. ИВАНОВ², А.Г. ИВАНОВ³

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

² Компания «Везерфорд»

4, 4-й Лесной переулок, г. Москва 125047, Россия

³ АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»
33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Эксплуатация технологических скважин подземного выщелачивания металлов неизбежно приводит к снижению их проектной производительности, что сопровождается увеличением сроков отработки месторождений. В настоящей работе показано влияние своевременности выполнения ремонтно-восстановительных работ на эффективность добычи металлов, а также обоснованы расчетные показатели для определения длительности межремонтных циклов ремонтно-восстановительных работ.

Цель. Настоящая работа представляет собой попытку аналитически разработать основной показатель длительности межремонтного цикла эксплуатации технологических скважин для определения периодичности выполнения ремонтно-восстановительных работ (РВР) в зависимости от интенсивности падения производительности скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ) и коэффициента выбора эффективного вида комплексов технических средств и технологических приемов для проведения РВР.

Материалы и методы. Настоящая работа позволяет решить указанные выше задачи путем аппроксимации экспоненциальной закономерности изменения производительности технологической скважины во времени линейной функцией.

Результаты. Указанный методологический подход позволил получить основной и производные показатели: T_m — длительность МРЦ технологической скважины, k_b — показатель восстановления технологической скважины, k_z — показатель выбора эффективного вида РВР и сформулировать методические положения по обоснованию частоты выполнения РВР технологических скважин СПВ урана для восстановления их как проектной, так и допустимой максимальной производительности.

Заключение. Полученные итоговые зависимости имеют простой вид и могут использоваться линейным персоналом участков РВР и ДПР (добычи продуктивных растворов).

Ключевые слова: технологическая скважина, производительность скважины, межремонтный цикл, основной и производные показатели

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Соловьев Н.В., Иванов Д.А., Иванов А.Г. Определение межремонтного цикла для технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):99—108. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108>

Статья поступила в редакцию 28.11.2023
Принята к публикации 24.04.2024
Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

DETERMINATION OF THE INTER-REPAIR CYCLE OF PRODUCTION BOREHOLES FOR UNDERGROUND URANIUM LEACHING

YURI A. ARSENTIEV^{1,*}, ALEXANDER P. NAZAROV¹, NIKOLAY V. SOLOVIEV¹,
DMITRIY A. IVANOV², ALEXANDER G. IVANOV³

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

² *Company "Weatherford"
4, 4th Lesnoy lane, Moscow 125047, Russia*

³ *JSC "Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology"
33, Kashirskoe highway, Moscow 115409, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The operation of technological wells for underground leaching of metals inevitably leads to a decrease in their design productivity, which is accompanied by an increase in the development time of deposits. This paper shows the impact of the timeliness of repair and restoration work on the efficiency of metal mining, and also substantiates the calculated indicators for determining the duration of repair and restoration work cycles between repairs.

Target. This work is an attempt to analytically develop the main indicator of the duration of the overhaul cycle of the operation of technological wells to determine the frequency of repair and restoration work (RVR) depending on the intensity of the decline in the productivity of borehole in situ leaching (IIL) wells and the coefficient for selecting an effective type of complexes of technical means and technological methods for carrying out RVR.

Materials and methods. This work makes it possible to solve the above problems by approximating the exponential pattern of changes in the productivity of a technological well over time by a linear function.

Results. The specified methodological approach made it possible to obtain the main and derivative indicators: T_M — the duration of the MRC of a technological well, k_b — the indicator of restoration of a technological well, k_s — an indicator for choosing an effective type of RWR and to formulate methodological provisions for justifying the frequency of performing RWR of technological wells of SPV uranium to restore them as designed, and the permissible maximum performance.

Conclusion. The resulting dependencies have a simple form and can be used by the linear personnel of the RVR and DPR (production of productive solutions).

Keywords: technological well, well productivity, turnaround cycle, main and derivative indicators

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

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

For citation: Arsentiev Yu. A., Nazarov A.P., Soloviev N.V., Ivanov D.A., Ivanov A.G. Determination of the inter-repair cycle of production boreholes for underground uranium leaching. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):99—108. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108>

Manuscript received 28 November 2023

Accepted 24 April 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

В настоящее время известно ограниченное число публикаций и разработок, посвященных решению указанной проблемы [1—3, 8]. Имеющиеся рекомендации не нашли практического применения в процессе эксплуатации технологических скважин, поскольку для обоснования периодичности проведения восстановительных обработок скважин предлагалось использовать экономический (стоимостной) критерий, носящий субъективный характер и определяемый основной формулой неоправданно сложного содержания [8].

Практика эксплуатации скважинных систем подтверждает, что эффективность способа СПВ зависит непосредственно от поддержания производительности технологических скважин на оптимальном уровне.

Однако в процессе отработки рудных залежей производительность технологических скважин постепенно снижается вследствие геолого-гидрогеологических особенностей отрабатываемых месторождений и связанных с этим различных видов кольматации фильтров и прифильтровых зон (ПФЗ) скважин: механической, химической, газовой, комплексной. Важными внешними факторами, влияющими на интенсивность снижения производительности, являются конструкция скважины, применяемые типы труб эксплуатационных колонн и фильтров, температурные режимы воды продуктивного горизонта и рабочих растворов и другие технико-технологические особенности добычи металла. В связи с этим на скважинах, производительность которых достигает минимально допустимого уровня, выполняются различные виды РВР: эрлифтные прокачки, пневмоимпульсная обработка, обработка с использованием гидроимпульсов, химическая обработка ПФЗ, комбинированные методы обработок. Некоторая обобщенная информация по техническим средствам и технологиям РВР приведена в работах [4—6]. При этом следует отметить, что в настоящее время разработка графика выполнения РВР, выбор вида ремонтных работ и определение количества скважин, подлежащих ремонту, не имеют математического обоснования.

Для разработки плановой системы проведения РВР технологической скважины предлагается в качестве основного показателя принять показатель времени в виде длительности межремонтного

цикла эксплуатации технологической скважины (МРЦ) T_m при ее допустимой максимальной производительности, зависящей от правильного выбора вида РВР. Этот показатель позволяет заранее планировать сроки выполнения РВР и выбирать соответствующие технические средства для их реализации. Длительность МРЦ технологической скважины определяется скоростью падения производительности, которая зависит от следующих внешних факторов: геохимических свойств и гранулометрического состава пород продуктивного горизонта; конструкции и скважности фильтров закачных и откачных скважин; способа подачи рабочих растворов в закачные скважины в режиме свободного налива или нагнетания под избыточным давлением на устье; применяемого способа подъема продуктивных растворов; методов и технических средств выполнения РВР. Именно по причине многофакторного влияния на длительность МРЦ она должна определяться для каждой конкретной скважины или группы скважин, имеющих аналогичные характеристики в пределах одного эксплуатационного блока залежи или месторождения в целом.

В качестве теоретической базы для вывода основной формулы, позволяющей находить длительность МРЦ после проведения РВР, предлагается использовать расчетную схему, показанную на рисунке 1.

При этом расчет выполняется с учетом следующих допущений.

1. Для описания характера изменения производительности технологической скважины во времени принимается экспоненциальная зависимость, аналогичная разработанной для водозаборных скважин [7].

2. Экспоненциальная зависимость изменения производительности технологической скважины во времени аппроксимируется линейной функцией.

3. Линейный характер изменения производительности технологической скважины во времени после проведения РВР остается неизменным.

4. Величина интенсивности снижения производительности технологической скважины во времени до и после проведения РВР сохраняется постоянной.

Таблица. Значения коэффициента восстановления технологической скважины
Table. Values of the recovery coefficient of the technological well

Параметр	Вид РВР		
	РВР 1	РВР 2	РВР N
$Q_m, \text{ м}^3/\text{сут}$	+	+	+
$Q_n, \text{ м}^3/\text{сут}$	+	+	+
$k_b = Q_m / Q_n$	+	+	+

$$T_m = \frac{k_b - k}{1 - k} \cdot T_n \quad (10)$$

Величина коэффициента восстановления k_b производительности технологической скважины выбирается по таблице, приведенной ниже, в зависимости от применяемого вида РВР.

Далее рассмотрим пример использования полученной выше основной формулы (10) и определим длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР с учетом следующих исходных данных: $T_n = 20$ суток; $k_b = 1, 2, 3, 4$. Тогда получим соответственно: $T_m = 20, 45, 154, 220$ суток.

По результатам расчета построим график изменения длительности МРЦ при максимальной производительности технологической скважины, которая определяется эффективностью применяемого вида РВР (рис. 2).

Приведенная выше формула (10) пригодна не только для определения длительности МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР — T_m , но и для количественной оценки эффективности предлагаемых для обработки скважин видов РВР, поскольку отношение T_m / T_n и будет представлять собой коэффициент эффективности $k_э$ предлагаемого к использованию вида РВР, который будет определяться формулой вида

$$k_э = T_m / T_n \quad (11)$$

но так как согласно основной формуле (10) $T_m / T_n = (k_b - k) / (1 - k)$, то

$$k_э = (k_b - k) / (1 - k). \quad (12)$$

В формуле (12) переменной величиной является коэффициент восстановления k_b производительности технологической скважины. Если принять коэффициент пропорциональности $k = 0,7$, а $k_{b1} = 2$; $k_{b2} = 3$; $k_{bN} = n$, то коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР будет соответственно равен: $k_{э1} = 4,33$; $k_{э2} = 7,67$; $k_{эN} = 3,33$ ($k_{bN} - 0,7$). При этом следует иметь в виду, что изменение величины

коэффициента пропорциональности k оказывает влияние не только на величину производительности вывода технологической скважины в ремонт $Q_p = k \cdot Q_n$, но и на длительность МРЦ при проектной производительности T_n технологической скважины, входящей в состав основной формулы (10). Для числовой оценки влияния можно воспользоваться рисунком 3, из которого следует

$$(Q_n - Q_{p1}) / T_{n1} = (Q_n - Q_{p2}) / T_{n2}, \quad (13)$$

где $Q_{p1} = k_1 \cdot Q_n$; $Q_{p2} = k_2 \cdot Q_n$.

Тогда пропорция (13) приобретает следующий вид:

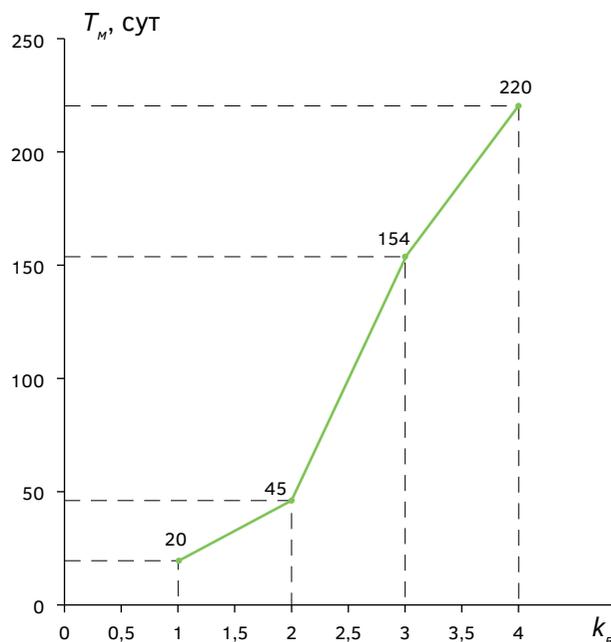


Рис. 2. График зависимости длительности МРЦ при максимальной производительности T_m технологической скважины после проведения РВР от величины коэффициента восстановления k_b производительности технологической скважины

Fig. 2. The graph of the dependence of the duration of the MRC at the maximum productivity of the T_m of the technological well after the RVR on the value of the coefficient of recovery of the k_b of the productivity of the technological well

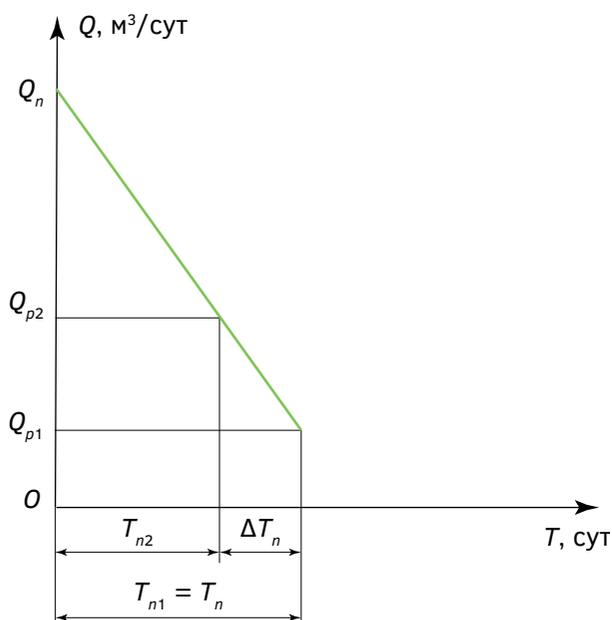


Рис. 3. Влияние изменения производительности вывода технологической скважины в ремонт на длительность МРЦ при проектной производительности

Fig. 3. The influence of changes in the productivity of bringing a technological well into repair on the duration of the MRC at design productivity

$$(Q_n - k_1 \cdot Q_n) / T_{n1} = (Q_n - k_2 \cdot Q_n) / T_{n2}, \quad (14)$$

$$Q_n (1 - k_1) / T_{n1} = Q_n (1 - k_2) / T_{n2} \quad (15)$$

или

$$(1 - k_1) / T_{n1} = (1 - k_2) / T_{n2}. \quad (16)$$

Зависимость (16) может быть записана в следующем виде:

$$T_{n2} / T_{n1} = (1 - k_2) / (1 - k_1). \quad (17)$$

При решении выражения (17) относительно T_{n2} получается следующая зависимость:

$$T_{n2} = (1 - k_2) / (1 - k_1) \cdot T_{n1}, \quad (18)$$

где $T_{n1} = T_n$.

При этом условии можно записать следующее выражение:

$$T_{n2} = (1 - k_2) / (1 - k_1) \cdot T_n, \quad (19)$$

тогда разность составит

$$\Delta T_n = T_n - T_{n2}. \quad (20)$$

Так, при $T_n = 10 \div 20$ суток, $k_1 = 0,7$; $k_2 = 0,75$, согласно формуле (19), $T_{n2} = 0,25/0,3 \cdot (10 \div 20) = 8,33 \div 16,67$ суток. Тогда, в соответствии

с выражением (20) разность составит $\Delta T_n = (10 \div 20) - (8,33 \div 16,67) = 1,67 \div 3,33$ суток.

Таким образом, длительность МРЦ при постоянной проектной производительности Q_n технологической скважины, составляющая $T_n = 10 \div 20$ суток, с увеличением значения коэффициента пропорциональности k на 0,05 сокращается на интервал времени, равный, соответственно, $\Delta T_n = 1,67 \div 3,33$ суток, что существенно. Это обстоятельство следует учитывать при переходе на другую величину производительности вывода технологической скважины в ремонт. Для определения допустимой максимальной производительности Q_m технологической скважины, которая должна быть обеспечена тем или иным видом РВР, для требуемой длительности межремонтного цикла T_m воспользуемся основной формулой (10), которую запишем в следующем виде

$$T_m \cdot (1 - k) = T_n \cdot (k_b - k), \quad (21)$$

или

$$T_m - k \cdot T_m = k_b \cdot T_n - k \cdot T_n. \quad (22)$$

Далее решаем выражение (22) относительно коэффициента восстановления k_b производительности технологической скважины, тогда имеем:

$$k_b = \frac{T_m - k \cdot (T_m - T_n)}{T_n}. \quad (23)$$

Но коэффициент восстановления производительности технологической скважины k_b представляет собой отношение максимальной производительности Q_m , полученной по результатам проведенного вида РВР, к проектной (плановой) производительности Q_n , тогда с учетом вышесказанного выражение (23) принимает вид:

$$\frac{Q_m}{Q_n} = \frac{T_m - k \cdot (T_m - T_n)}{T_n}. \quad (24)$$

Тогда формула для определения допустимой максимальной производительности Q_m , которая может быть реализована одним из комплексов, предназначенных для выполнения РВР технологических скважин, для различной длительности МРЦ при максимальной производительности T_m имеет вид:

$$Q_m = Q_n \cdot \left(\frac{T_m}{T_n} - k \cdot \left(\frac{T_m}{T_n} - 1 \right) \right). \quad (25)$$

При этом отношение T_m / T_n определяем из условия компенсации плановых потерь продуктивных растворов, которое имеет вид

или
$$T_n \leq 2 \cdot \Delta T_M, \quad (26)$$

$$T_n \leq 2 \cdot (T_M - T_n), \quad (27)$$

откуда

$$T_M / T_n \geq 1,5. \quad (28)$$

С учетом полученного результата (28) выражение (25) принимает окончательный вид:

$$Q_M \geq Q_n \cdot (1,5 - 0,5 k). \quad (29)$$

Так, при значении коэффициента пропорциональности, равном $k = 0,7$; $k = 0,6$ наименьшая величина допустимой максимальной производительности технологической скважины после проведения имеющегося в распоряжении предприятия вида РВР будет, соответственно, равна: $Q_{M1} = 1,15 \cdot Q_n$; $Q_{M2} = 1,2 \cdot Q_n$.

Для количественной оценки влияния принимаемого предприятием значения коэффициента пропорциональности k на минимально допустимую величину коэффициента восстановления технологической скважины, при которой предлагаемый вид РВР будет считаться эффективным, следует обратиться к основной формуле (10):

$$\frac{T_M}{T_n} = \frac{k_B - k}{1 - k}. \quad (30)$$

При отношении $\frac{T_M}{T_n} \geq 1,5$ формула (30) записывается в следующем виде:

$$\frac{k_B - k}{1 - k} \geq 1,5. \quad (31)$$

При этом наименьшая величина коэффициента восстановления технологической скважины будет определяться по формуле вида:

$$k_B = 1,5 - 0,5k. \quad (32)$$

Так, при $k = 0,5$; $0,55$; $0,6$; $0,65$; $0,7$; $0,75$; $0,8$ значения коэффициента восстановления будут с учетом формулы (32), соответственно, равны: $k_B = 1,25$; $1,225$; $1,2$; $1,175$; $1,15$; $1,125$; $1,1$. Качественное изменение ситуации будет отражено на графике, показанном на рисунке 4.

По результатам расчета строится график зависимости наименьшей величины коэффициента восстановления k_B , характеризующего эффективность принятого к производству вида РВР, от коэффициента пропорциональности k , определяющего величину производительности вывода технологической скважины в ремонт. График приведен на рисунке 5.

С помощью приведенного графика и заданного значения коэффициента пропорциональности k определяется наименьшая величина коэффициента восстановления k_B , позволяющая найти наименьшую величину допустимой максимальной производительности Q_M , принимаемой за начало отсчета при выборе наиболее эффективного вида РВР технологической скважины. Для количественной оценки влияния величины коэффициента пропорциональности на величину коэффициента эффективности рекомендуемого к применению вида РВР воспользуемся формулой (12), имеющей вид:

$$k_3 = (k_B - k) / (1 - k). \quad (33)$$

Тогда, принимая коэффициент пропорциональности равным $k = 0,6$, а коэффициент восстановления $k_{B1} = 2$; $k_{B2} = 3$; $k_{BN} = n$, получим коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР, соответственно, равным: $k_{31} = 3,5$; $k_{32} = 6$; $k_{3N} = 2,5 (k_{BN} - 0,6)$. А если принять коэффициент

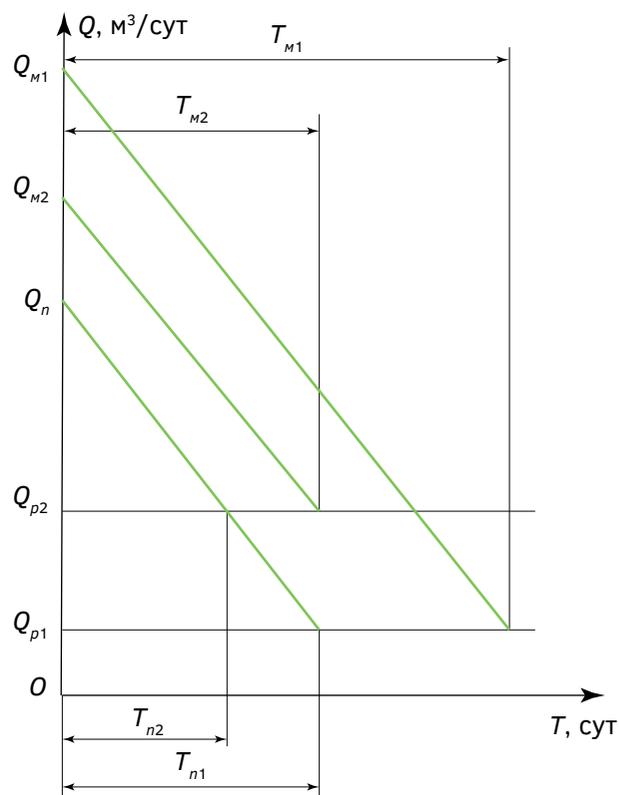


Рис. 4. Графики влияния величины коэффициента пропорциональности k на величину допустимой максимальной производительности Q_M технологической скважины

Fig. 4. Graphs of the influence of the magnitude of the proportionality coefficient k on the value of the permissible maximum productivity Q_M of the technological well

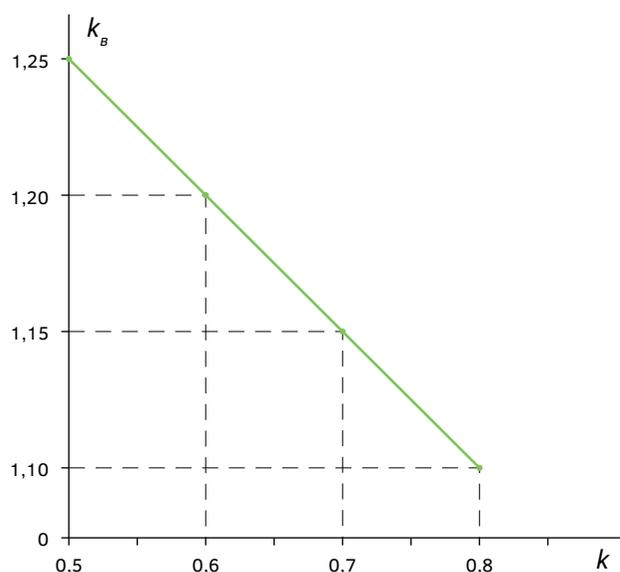


Рис. 5. График зависимости наименьшей величины коэффициента восстановления k_v от коэффициента пропорциональности k

Fig. 5. Graph of the dependence of the smallest value of the recovery coefficient k_v on the proportionality coefficient k

пропорциональности $k = 0,7$, а величину коэффициента восстановления оставить без изменения: $k_{в1} = 2$; $k_{в2} = 3$; $k_{вN} = n$, то получим коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР, соответственно, равным: $k_{э1} = 4,33$; $k_{э2} = 7,67$; $k_{эN} = 3,33$ ($k_{вN} - 0,7$).

Рассмотренные методические рекомендации могут применяться в следующем порядке.

1. На уровне предприятия принимается значение коэффициента пропорциональности k , определяющего величину производительности вывода технологической скважины в ремонт.

2. По таблице, приведенной в тексте методических рекомендаций, в зависимости от вида РВР, имеющегося в распоряжении предприятия, определяется величина коэффициента восстановления k_v , опираясь на наименьшее значение

данного коэффициента, полученное по формуле (32), или пользуясь графиком, показанным на рисунке 5.

3. Из интервала 10÷20 суток принимается длительность МРЦ при проектной производительности T_n технологической скважины.

4. По основной формуле (10) определяется длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР.

5. По формуле (11) или (12) определяется коэффициент эффективности вида РВР, который рекомендуется к применению.

Выводы

1. Длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР с ростом $k_v = 1÷4$ изменяется в интервале от 20 до 220 суток, что соответствует реальному положению на предприятии.

2. Показатель эффективности рекомендуемого к применению вида РВР при постоянной производительности вывода скважины в ремонт возрастает с увеличением величины коэффициента восстановления скважины.

3. Вышеприведенный график (рис. 5) определяет минимальную величину коэффициента восстановления, позволяющего найти наименьшую величину допустимой максимальной производительности, принимаемой за начало отсчета, при выборе вида РВР технологической скважины.

4. Предложенные основной показатель в виде длительности МРЦ технологических скважин СПВ и его производные позволяют в первом приближении предусмотреть своевременное проведение РВР и принять решение о выборе технических средств и технологий, а также получить сведения о количестве скважин, подлежащих ремонту. Полученные итоговые зависимости имеют практическую ценность и могут быть использованы линейным персоналом участков РВР и ДПР (добычи продуктивных растворов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейнц П.Ф., Кравцов В.А., Горохов Д.С., Махмутов Р.А. Оценка эффективности ремонтно-восстановительных работ на технологических скважинах при подземном выщелачивании металлов // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1989. № 3. С. 20—24.
2. Иванов А.Г., Ежов А.П. О выборе способа законного ремонта технологических скважин // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1990. № 2. С. 14—19.
3. Иванов А.Г., Кравцов В.А., Костин В.А., Ежов А.П. Опыт восстановления герметичности технологических скважин при ПВ // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1989. № 6. С. 17—19.

4. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., 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—57.
5. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Методы и технические средства обработки фильтров и при-фильтровых зон технологических скважин // Разведка и охрана недр. 2020. № 7. С. 40—44.
6. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Специальные работы для восстановления и поддержания рабочего состояния эксплуатационной колонны технологических скважин // Разведка и охрана недр. 2020. № 8. С. 40—45.
7. Ивашечкин В.В., Шейко А.М. К расчету межремонтных периодов скважинных водозаборов с учетом старения скважин // Вестник «Наука и техника» БНТУ. 2006. № 6, С. 5—10.
8. Основные методические положения по обоснованию периодичности проведения технологических скважин с целью восстановления их производительности. М., ВНИПИпромтехнологии, 1983. 20 с.

REFERENCES

1. Heinz P.F., Kravtsov V.A., Gorokhov D.S., Makhmutov R.A. Evaluation of the effectiveness of repair and restoration work at technological wells during underground leaching of metals // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1989. No. 3. P. 20—24 (In Russian).
2. Ivanov A.G., Yezhov A.P. On the choice of the method of back-hole repair of technological wells // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1990. No. 2. P. 14—19 (In Russian).
3. Ivanov A.G., Kravtsov V.A., Kostin V.A., Yezhov A.P. Experience in restoring the tightness of technological wells at PV // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1989. No. 6. P. 17—19 (In Russian).
4. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Repair and restoration work to increase the productivity of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 6. P. 52—57 (In Russian).
5. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Methods and technical means of processing filters and filter zones of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 7. P. 40—44 (In Russian).
6. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Special works for restoration and maintenance of the working condition of the production column of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 8. P. 40—45 (In Russian).
7. Ivashechkin V.V., Sheiko A.M. On the calculation of inter-repair periods of borehole water intakes taking into account the aging of wells // Bulletin "Science and Technology" BNTU. 2006. No. 6. P. 5—10 (In Russian).
8. The main methodological provisions on the justification of the frequency of technological wells in order to restore their productivity. Moscow, VNIPIpromtechnology, 1983. 20 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Назаров А.П. — отвечал за графическое оформление статьи, построение графиков и расчетной схемы, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Соловьев Н.В. — участвовал в разработке методических рекомендаций применительно к производственным условиям, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов Д.А. — отвечал за качество перевода на английский язык текста статьи, участвовал в проведении оценки влияния на величину основного показателя своевременного выполнения РВР внешних факторов процесса эксплуатации технологических скважин СПВ металла, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yuri A. Arsentiev — 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.

Alexander P. Nazarov — 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.

Nikolay V. Soloviev — participated in the development of methodological recommendations in relation to production conditions, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Dmitriy A. Ivanov — was responsible for the quality of the translation into English of the text of the article, participated in assessing the impact on the value of the main indicator of timely completion of the workover of external factors in the process of operating technological wells of SPV metal, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

Иванов А.Г. — 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 — 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.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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) 145-62-02 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) 145-62-02 SPIN-code: 6602-3910 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

Назаров Александр Петрович — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: nazarovap@mgru.ru тел.: +7 (985) 952-74-10 SPIN-код: 5319-6574 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8027-4544>

Alexander P. Nazarov — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: al.naz@mail.ru tel.: +7 (985) 952-74-10 SPIN-code: 5319-6574 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8027-4544>

Соловьев Николай Владимирович — доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: solovyevnv@mgru.ru тел.: +7 (903) 166-65-20 SPIN-код: 7537-6164 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5660-9920>

Nikolay V. Solovyov — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: solovyevnv@mgru.ru tel.: +7 (903) 166-65-20 SPIN-code: 7537-6164 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5660-9920>

Иванов Дмитрий Александрович — инженер по бурению компании «Везерфорд». 4, 4-й Лесной переулок, г. Москва 125047, Россия e-mail: dexhouse@yandex.ru тел.: +7 (905) 166-74-29

Dmitriy A. Ivanov — Drilling Engineer, “Weatherford” Company. 4, 4th Lesnoy lane, Moscow, Russia e-mail: dexhouse@yandex.ru tel.: +7 (905) 166-74-29

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: 4406-5064

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ПОТОК И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ЕГО СОЗДАНИЯ ПРИ ПРОМЫВКЕ СКВАЖИН

С.А. ТУНГУСОВ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Очистка от загрязнений преимущественно в протяженных трубопроводах, к которым можно отнести и скважины, всегда была актуальной задачей. В статье рассматривается один из вариантов решения, который может способствовать лучшему удалению разрушенной породы как с забоя скважины, так и при транспортировании шлама по стволу скважины.

Цель. Показать возможность применения пульсирующей промывки для удаления шлама из скважины. Рассмотреть технические средства создания пульсирующей промывки.

Материалы и методы. Проведен анализ различных технических средств для создания пульсирующего потока в промывочной жидкости. Рассмотрена принципиальная схема и описана работа типичного стенда для создания пульсирующего потока промывочной жидкости. Рассмотрены теоретические аспекты создания пульсирующего потока, частота и амплитуда его колебаний, расход промывочной жидкости, приведены формулы расчета этих параметров. Проанализированы различные технические средства для создания пульсирующего потока как для промывки протяженных трубопроводов, так и для промывки скважин. Рассмотрен ряд патентов, в которых описаны технические решения, создающие пульсирующий поток жидкости для улучшения очистки и выноса шлама по стволу скважины. Приведен обзор технических решений, улучшающих очистку забоя скважины за счет создания пульсирующего потока.

Результаты. Сделано предположение, что для эффективного удаления шлама как с забоя скважины, так и при его транспортировании по стволу скважины при расчете частоты пульсации следует учитывать не только частоту вращения породоразрушающего инструмента, но и длину ствола скважины.

Заключение. Рассматриваемая в статье технология пульсирующей промывки может применяться для более эффективной очистки скважин от шлама.

Ключевые слова: бурение скважин, пульсирующий поток жидкости, вынос шлама, породоразрушающий инструмент, частота, вибрация

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Тунгусов С.А. Пульсирующий поток и технические средства для его создания при промывке скважин. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):109—115. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-109-115>

Статья поступила в редакцию 05.02.2024

Принята к публикации 02.04.2024

Опубликована 29.04.2024

PULSED FLOW AND ITS GENERATION FOR BOREHOLE FLUSHING

SERGEY A. TUNGUSOV

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

ABSTRACT

Background. Cleaning pipelines and boreholes from contaminants remains an urgent issue. This article discusses a possible solution to removal of destroyed rock, from both the borehole bottom and when transporting cuttings along the borehole length.

Aim. To show the possibility of using pulsed flushing technology to remove cuttings from a borehole. To consider technical means for creating a pulsed flushing flow.

Materials and methods. An analysis of various technical means for creating a pulsed flushing fluid is carried out. A schematic diagram describing the operation of a typical stand for implementing the process is presented. The theoretical aspects of creating a pulsed flushing flow, its vibration frequency, vibration amplitude, and flow rate are considered; formulas for calculating these parameters are given. Technical means for flushing both long pipelines and boreholes are analyzed. A number of patents and technical solutions for removing cuttings from a borehole with a pulsed flow are reviewed.

Results. An assumption is made that calculations of the pulsation frequency of a flushing flow should take into account not only the rotational speed of the rock destruction tool, but also the length of the borehole. This will ensure effective removal of cuttings from the borehole bottom and during their transportation along the borehole length.

Conclusion. The pulsed flushing technology considered in the article can be used for a more efficient cleaning of boreholes from drilling cuttings and other contaminants.

Keywords: borehole drilling, pulsed fluid flow, cutting removal, rock-destruction tool, frequency, vibration

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

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

For citation: Tungusov S.A. Pulsed flow and its generation for borehole flushing. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):109—115. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-109-115>

Manuscript received 05 February 2024

Accepted 02 April 2024

Published 29 April 2024

При бурении наклонно-направленных скважин зачастую возникает задача, связанная с удалением шлама по стволу скважины в наклонной его части [4, 6]. Когда речь идет о вертикальной части ствола скважины, то на шлам действуют основные силы, направленные противоположно друг другу: сила лобового сопротивления, сила тяжести и сила Архимеда [14]. При изменении зенитного угла скважины сила Архимеда и сила тяжести остаются разнонаправленными, а сила лобового сопротивления начинает менять свое направление согласно изменению направления движения потока (рис. 1а) [5]. В предельном случае она

становится направлена перпендикулярно силе Архимеда и силе тяжести [3]. В общем же случае результирующую силу можно найти из выражения (1):

$$R = F_T - F_A + F_{\text{лс}} \cdot \cos(\alpha). \quad (1)$$

В случае же когда частица шлама ляжет на стенку скважины, опустившись под действием силы тяжести, возникнет сила трения между ней и стенкой скважины, в этом случае выражение (1) можно записать в следующем виде [11]:

$$R = F_T - F_A - F_{\text{тр}} \cdot \cos(\alpha) + F_{\text{лс}} \cdot \cos(\alpha). \quad (2)$$

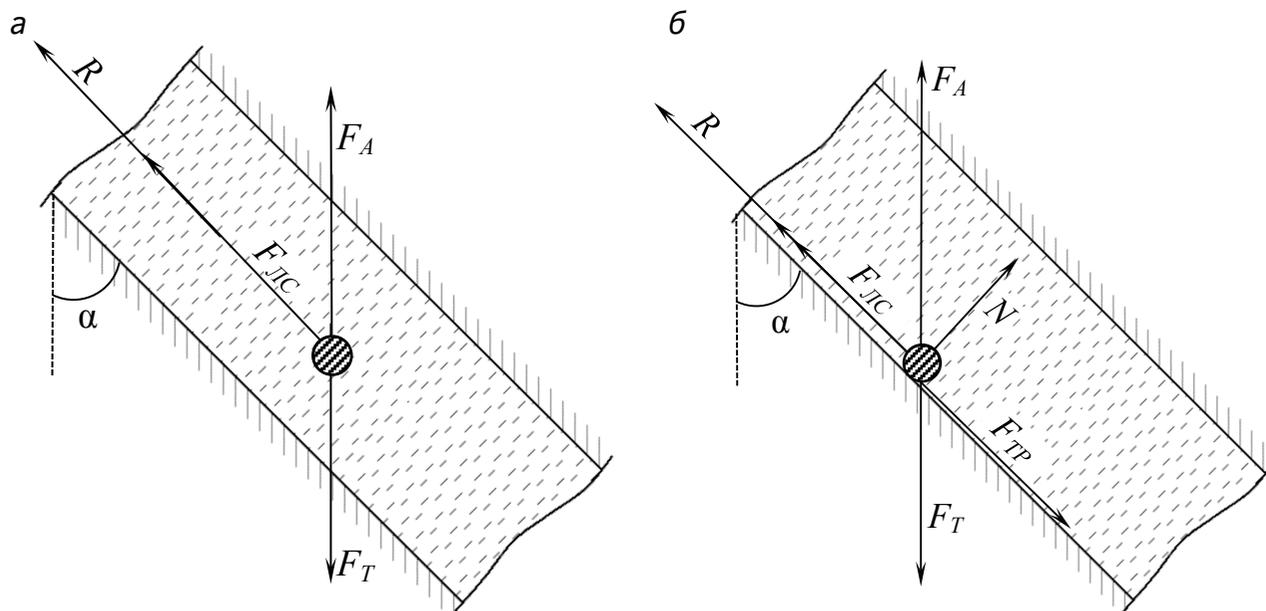


Рис. 1. Силы, действующие на частицу, находящуюся в наклонном стволе скважины (поток направлен вверх)
Fig. 1. Forces acting on a particle located in an inclined borehole (the flow is directed upwards)

Как несложно заметить, в выражении (2) добавляется сила трения $F_{ТР}$, которая препятствует движению частицы по стенке, затрудняя вынос шлама.

В общем виде силу трения можно найти из выражения (3):

$$F_{ТР} = \mu \cdot N. \quad (3)$$

Очевидно, что для уменьшения силы трения необходимо снижать коэффициент трения μ , но, по сути, это можно сделать, только изменив рецептуру бурового раствора, добавив компонент, оказывающий смазывающее действие. Вторым вариантом можно рассмотреть возможность уменьшения силы реакции опоры (силы прижатия) N . Силу реакции опоры на некоторый период времени возможно уменьшить путем привнесения вибрации [2, 13]. В скважине вибрационное воздействие может быть получено за счет применения пульсирующего потока, такой поток позволит колебать не поверхность, на которой лежат частицы шлама, а непосредственно сами частицы. С этой точки зрения промывка скважин пульсирующим потоком представляется перспективной и требует более подробного рассмотрения.

Пульсирующий поток представляет собой поток с переменным расходом, вследствие чего происходит резкое изменение скоростей вблизи стенки скважины (трубопровода). Такое изменение скоростей возможно использовать при воздействии на частицы шлама, находящиеся на нижней части

поверхности скважины в горизонтальной части ствола.

Описание применения пульсирующего потока для промывки гидравлических систем приведено в ГОСТ 31303-2006 [1]. В данном документе речь идет об использовании потока с вынужденными колебаниями в качестве средства промывки гидросистем, при этом длина трубопроводов может составлять до 140 м. Приведены параметры потока для очистки проточных и непроточных агрегатов. Рассмотрено стендовое оборудование для гидродинамической очистки.

Так, в общем случае для гидродинамической очистки предлагается использовать устройство, приведенное на рисунке 2.

Стенд для гидродинамической очистки представляет собой отдельные блоки, включающие насосную станцию и пульт гидродинамической очистки.

Насосная станция должна быть укомплектована источником давления, гидробаком, регулятором давления, предохранительным устройством, охладителем моющей жидкости, фильтрующими устройствами с номинальной тонкостью фильтрации не более 5 мкм, средствами контроля давления, расхода и температуры моющей жидкости и электрическими устройствами.

Пульт для гидродинамической очистки в зависимости от объекта очистки состоит из блоков акустической развязки, блоков граничных условий

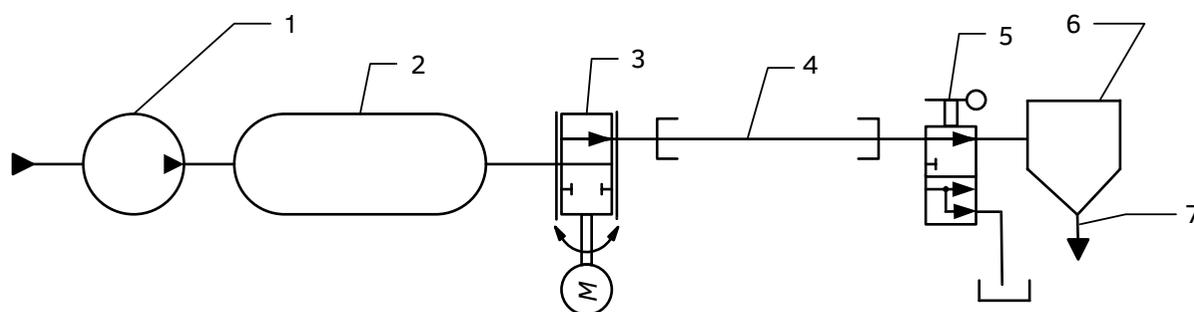


Рис. 2. Схема пульта для гидродинамической очистки трубопроводов: 1 — магистраль нагнетания жидкости от насосной станции; 2 — баллон блока акустической развязки; 3 — генератор колебаний жидкости; 4 — очищаемый трубопровод; 5 — пробоотборник; 6 — сливная емкость; 7 — магистраль слива в насосную станцию

Fig. 2. Diagram of the control panel for hydrodynamic cleaning of pipelines: 1 — liquid injection line from the pumping station; 2 — cylinder of the acoustic isolation unit; 3 — liquid oscillator; 4 — the pipeline to be cleaned; 5 — the sampler; 6 — the drain tank; 7 — drain line to the pumping station

и генератора колебаний жидкости, соединенных трубопроводными магистралями.

В качестве блока граничных условий используют гасители колебаний давления жидкости.

Для очистки проточных и непроточных агрегатов применяются различные схемы пультов. При этом частоту колебаний жидкости генератора регулируют изменением частоты вращения приводного электродвигателя. Расход моющей жидкости Q , м³/с, принимают одинаковым по всей длине трубопровода и рассчитывают по формуле (4):

$$Q = Q_0 + A_Q \times \sin wt, \quad (4)$$

где: Q_0 — постоянная (статическая) составляющая расхода моющей жидкости, м³/с;

A_Q — переменная (амплитудная) составляющая расхода моющей жидкости, м³/с;

w — частота колебаний потока моющей жидкости, с⁻¹;

t — время колебаний потока моющей жидкости, с.

Переменную (амплитудную) составляющую расхода моющей жидкости на входе в очищаемый трубопровод A_p , м³/с, рассчитывают по формуле (5):

$$A_Q = A_p / Z_{вх}, \quad (5)$$

где: A_p — переменная (амплитудная) составляющая давления потока моющей жидкости на входе в очищаемый трубопровод, кг/(м·с²);

$Z_{вх}$ — входной импеданс очищаемого трубопровода с учетом присоединенной стендовой системы, кг/(м⁴·с).

Переменную (амплитудную) составляющую давления потока моющей жидкости определяют с учетом действующих напряжений в материале трубопровода, а также условий эквивалентности физических процессов накопления усталостных напряжений в процессе эксплуатации.

Рассмотренный пример очистки гидросистем, в том числе имеющих в своем составе длинные протяженные трубопроводы, может рассматриваться как аналог промывки стволов скважин. Стоит особо отметить, что до недавнего времени применение пульсирующего потока промывки в скважинах не имело особой актуальности, так как значительная часть скважин имела вертикальные стволы. В подобных условиях не происходило накопления шлама на стенках ствола скважин, хотя и делались попытки применения пульсирующего потока с целью улучшения очистки ствола скважины.

Одной из первых попыток улучшить характеристики потока промывочной жидкости при бурении скважин можно считать создание ВНИИБТ долота со вставкой, исполняющей роль турбины, полезная модель № SU 630394, опубл. 30.10.1978 [10]. Конструкция данного долота предусматривает помещение в ниппельную полость долота вставки в виде крыльчатки, которая позволяет улучшить характеристики потока промывочной жидкости независимо от перепада давления на долоте.

Применение пульсирующего потока как попытки борьбы со шламовой подушкой на забое скважины и сальникообразованием рассмотрено в статье [7]. В работе показано разбуривание глинисто-алевритового комплекса пород: как известно, в таких породах действительно могут образовываться сальники на долоте, что приводит к падению механической скорости бурения. Также авторы отмечают малую эффективность традиционных методов борьбы с подобными явлениями (повышение осевой нагрузки, «расходка» бурильной колонны, изменение режима промывки).

В качестве решения подобной задачи авторы рассматривают предложение ВНИИнефтемаша по созданию в потоке промывочной жидкости колебаний (пульсаций) давления с определенной частотой и амплитудой. По замыслу в результате этого в призабойной зоне должен образоваться высокотурбулентный режим течения бурового раствора. При этом, как указывается в работе, частота волнового пакета давления бурового раствора в призабойной зоне составляла от 10 до 60 Гц. При таком режиме пульсационного потока удалось добиться практически двукратного повышения механической скорости при бурении в вязкопластичных породах. Компонировка же бурового инструмента включала в себя винтовой забойный двигатель и стандартное трехшарошечное долото как при бурении с обычным режимом бурения, так и при бурении с пульсационным режимом промывки, т.е. сравнение результатов опыта корректно.

Еще одним немаловажным фактом, показанным в работе, стоит считать влияние пульсирующего потока на механическую скорость бурения с учетом осевой нагрузки. Авторы наглядно продемонстрировали увеличение механической скорости бурения при одинаковых осевых нагрузках с использованием пульсирующего потока, а также показали всю бесполезность увеличения осевой нагрузки при использовании стационарного потока промывочной жидкости. Те же результаты были подтверждены позже автором в работе [12], в которой рассматривался процесс бурения алмазными коронками.

Учитывая положительные стороны применения пульсирующего потока промывочной жидкости, был создан ряд устройств для его реализации. Так, например, в патенте № RU 2065916, опублик. 27.08.1996 [8], предлагается устройство для бурения скважин. Устройство представляет собой наддолотный переводник, скомпонованный со струйным насосом, с размещенным в нем шаровым вибратором, состоящим из шарового бойка и наковальни, сопло струйного насоса выполнено кольцевым и образовано шаром вибратора и внутренней поверхностью патрубка, центральная внутренняя поверхность наддолотного переводника выполнена конической, расширяющейся

в сторону промывочного канала бурового долота. По замыслу подобное устройство, включенное в состав бурового инструмента, должно оказывать вибрационное воздействие на долото в процессе бурения, вместе с тем оно будет создавать и пульсирующий поток промывочной жидкости.

Следующим шагом по улучшению технологии создания пульсирующего потока промывочной жидкости можно считать конструкцию долота, описанную в патенте № RU 2256058, опублик. 10.07.2005 [9]. Конструкция предусматривает создание вибрационного воздействия на долото и создание колебаний в потоке промывочной жидкости высокой амплитуды. Также эта конструкция позволяет создать динамическую нагрузку, достаточную для интенсивного разрушения горной породы. Вибродолото состоит из корпуса, лапы, шарошек, оси, опор. Внутри корпуса долота установлены подпружиненное седло и подпружиненный клапан, также имеются промывочные каналы. Подобная конструкция позволяет создать пульсации потока промывочной жидкости в непосредственной близости от забоя скважины, что, в свою очередь, обеспечивает их эффективное воздействие на процесс удаления шлама в призабойной зоне.

Можно видеть, что для бурения скважин с использованием пульсирующего потока неоднократно делались попытки создания технических устройств, которые в целом были положительными. Стоит отметить и тот факт, что в некоторых областях техники используется промывка пульсирующим потоком именно с целью удаления загрязнений. Несмотря на обилие технических средств для создания пульсаций в потоке, на сегодня не существует стройной теории переноса твердой частицы (шлама) пульсирующим потоком. Нет достоверного способа определения необходимой частоты колебаний потока. Применительно к очистке забоя при бурении скважин очевидно, что частота пульсаций должна зависеть от частоты вращения породоразрушающего инструмента. Применительно же к выносу шлама по стволу скважины частота пульсации потока промывочной жидкости должна зависеть от длины ствола скважины или длин его участков.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31303-2006. Чистота промышленная. Метод очистки гидродинамический газовых и жидкостных систем машин и механизмов от загрязнителей. М.: Стандартинформ, 2007.
2. Иванов К.С. Вибродарное перемещение сыпучих сред и деформируемых тел — приложение

- к моделированию и оптимизации процесса ситовой классификации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 15 с.
3. *Кизевальтер Б.В.* Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. М.: Недра, 1979. 295 с.
 4. *Ламбин А.И.* Показатели эффективности удаления шлама при бурении наклонно направленных скважин // Науки о Земле и недропользование. 2022. № 45(3). С. 285—293.
 5. *Матыцын В.И., Рябченко В.И., Шмарин И.С.* Особенности процесса выноса шлама из горизонтальных и наклонных участков стволов скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2002. № 3. С. 10—12.
 6. *Митчелл Дж.* Безаварийное бурение. Конро: Дрилберт Инжиниринг Инк, 2001, 334 с.
 7. *Покровская Г.А., Складчиков В.Г., Савельев В.Н.* Опыт применения пульсирующего режима промывки при бурении скважин в вязкопластичных горных породах // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 1990. № 5. С. 14—18.
 8. Патент РФ № 2065916, 27.08.1996 / Чернобыльский А.Г., Паневник А.В., Диффинэ Э.А. Устройство для бурения скважин // Патент России № 2065916. 1996. Бюл. № 40.
 9. Патент РФ № 2256058, 10.07.2005 / Хузина Л.Б., Габдрахимов М.С. Вибродолото // Патент России № 2256058, 2005. Бюл. № 19.
 10. Патент СССР № 630394, 30.10.1978 / Крючков П.В., Владиславлев Ю.Е., Константинов Л.П., Перегудов А.А., Дюков Н.Г., Любимов Б.Г. Буровое долото // Патент СССР № 630394. 1978. Бюл. № 40.
 11. *Стенин В.А.* Энергетические аспекты технологии промывки гидравлических систем // Вестник Череповецкого государственного университета. 2013. № 4-2(52). С. 34—37.
 12. *Тунгусов С.А.* Повышение производительности бурения скважин за счет применения пульсирующей промывки // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 42—47.
 13. *Федоренко И.Я., Сабиев У.К.* Особенности проявления эффективного снижения трения в лотковых вибрационных дозаторах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 6(80) С. 82—85.
 14. *Cho H., Shah S.N., Osisanya S.O.* A three-segment hydraulic model for cuttings transport in coiled tubing horizontal and deviated drilling // Journal of Canadian Petroleum Technology. 2002. Vol. 41. Iss. 6. P. PETSOC02-06-03

REFERENCES

1. GOST 31303-2006. Industrial cleanliness. A method of hydrodynamic purification of gas and liquid systems of machines and mechanisms from pollutants. Moscow, Standartinform, 2007 (In Russian).
2. *Ivanov K.S.* Vibro-shock displacement of bulk media and deformable bodies — an application to modeling and optimization of the sieve classification process. Abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg, 2013. 15 p. (In Russian).
3. *Kizevalter B.V.* Theoretical foundations of gravitational enrichment processes. Moscow: Nedra, 1979. 295 p. (In Russian).
4. *Lambin A.I.* Indicators of the efficiency of sludge removal during drilling of directional wells. // Earth Sciences and subsoil use. 2022. No. 45(3). P. 285—293 (In Russian).
5. *Matytsyn V.I., Ryabchenko V.I., Shmarin I.S.* Features of the process of sludge removal from horizontal and inclined sections of boreholes // Construction of oil and gas wells on land and at sea. 2002 No. 3. P. 10—12 (In Russian).
6. *Mitchell J.* Trouble-free drilling. Conroe: Drilbert Engineering Inc., 2001, 334 p. (In Russian).
7. *Pokrovskaya G.A., V. Skladchikov V.G., Savelyev V.N.* Experience of using a pulsating flushing mode when drilling wells in viscoplastic rocks // Construction of oil and gas wells on land and at sea. 1990. No. 5. P. 14—18 (In Russian).
8. Patent of the Russian Federation No. 2065916, 08/27/1996 / Chernobylsky A.G., Panevnik A.V., Diffine E.A. Device for drilling wells // Patent of Russia No. 2065916. 1996. Byul. No. 40 (In Russian).
9. Patent of the Russian Federation No. 2256058, 07/10/2005 / Khuzina L.B., Gabdrakhimov M.S. Vibrodoloto // Patent of Russia No. 2256058, 2005. Byul. No. 19 (In Russian).
10. USSR Patent No. 630394, 10/30/1978 / Kryuchkov P.V., Vladislavlev Yu.E., Konstantinov L.P., Peregudov A.A., Dyukov N.G., Lyubimov B.G. Drilling bit // USSR Patent No. 630394. 1978. Byul. No. 40 (In Russian).
11. *Stenin V.A.* Energy aspects of hydraulic flushing technology systems, Bulletin of Cherepovets State University. 2013. No. № 4-2(52). P. 34—37 (In Russian).
12. *Tungusov S.A.* Improving the productivity of drilling wells through the use of pulsating flushing // Exploration and protection of the subsoil. 2009. No. 8. P. 42—47 (In Russian).
13. *Fedorenko I.Ya., Sabiev U.K.* Features of the manifestation of effective friction reduction in tray vibration dispensers // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2011. No. 6(80) P. 82—85 (In Russian).
14. *Cho H., Shah S. N., Osisanya S. O.* Three-segment hydraulic model for sludge transportation during horizontal and directional drilling using coiled tubing // Journal of Canadian Petroleum Technologies. 2002. Vol. 41. Iss. 6. P. PETSOC02-06-03

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Тунгусов С.А. — разработал концепцию статьи, выполнил сбор и анализ материала, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey A. Tungusov — developed the concept of the article, performed the collection and analysis of the material, prepared the text of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Тунгусов Сергей Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры современных технологий бурения скважин ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: tungusov_sa@mail.ru
тел.: +7 (903) 742-99-44
SPIN-код: 5506-4248
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1687-4276>

Sergey A. Tungusov — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Modern Well Drilling Technologies of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: tungusov_sa@mail.ru
tel.: +7 (903) 742-99-44
SPIN-code: 5506-4248
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1687-4276>



АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ГИДРОКОМПЛЕКСОВ НА КАРЬЕРАХ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

В.П. ДРОБАДЕНКО, А.Л. ВИЛЬМИС, О.А. ЛУКОНИНА, К.С. НЕКОЗ, И.Н. САЛАХОВ*

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализом гидромеханизированной разработки месторождений полезных ископаемых установлено, что на предприятиях отрасли либо отсутствует систематический контроль основных параметров гидротранспортирования — расхода и плотности гидросмеси, определяющих часовую производительность по горной массе, поступающей из карьера на обогащение, — либо осуществляется эпизодически. Это не позволяет регулировать текущие режимы технологического процесса работы гидрокомплекса «карьер — фабрика».

Цель. Повысить часовую производительность работы гидрокомплекса, стабильность подачи гидросмеси на обогащение, а также извлечение полезного компонента.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели был выбран и обоснован метод измерения переменного перепада давления: гидростатический плотномер, расходомер «труба Вентури», включающий сужающее калибровочное устройство, расходомер с расширяющим устройством типа «труба анти-Вентури», камерная диафрагма ДК-25-40. Поверочное измерительное устройство — электромагнитный расходомер типа «Индукция-51» с классом точности 1,5%.

Результаты. Установлено, что пропускная способность транспортирования гидросмеси испытываемыми расходомерами незначительно отличается коэффициентом расхода (~0,97—0,98). Однако скорость в расходомере «анти-Вентури» минимизирует износ внутренних стенок калибровочной части отбора давления. Точность измерения расхода зависит от постоянства проходного сечения трубы Вентури, которое подвергается износу в процессе ее эксплуатации (наработка ~650 часов), а технологический ресурс в испытаниях составлял 110 500 м³.

Кроме того, дано обоснование применения расходомера «труба анти-Вентури», определены местные гидравлические сопротивления в диффузорной (расширяющей) части, которые в основном зависят от геометрических характеристик: угла расширения α , степени расширения n , длины диффузора l_d . В результате установлены оптимальные значения геометрических параметров $\alpha = 5 \div 7^\circ$ при $l_d = 0,8 \div 1,5$.

Заключение. Результаты промышленной апробации при расходе $Q = 2500$ м³/ч в течение нескольких месяцев экскаваторно-гидравлических работ позволяют рекомендовать расходомер «труба анти-Вентури» для комплектации системы оперативного контроля режимов гидротранспортирования, исключающий малопродуктивную работу оборудования и повышающий полноту извлечения полезного компонента.

Ключевые слова: расширяющее устройство, диффузор, расходомер «труба анти-Вентури», потери давления, гидротранспортирование, приборы переменного перепада давления, коэффициент расхода, плотномер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Дробаденко В.П., Вильмис А.Л., Луконина О.А., Некоз К.С., Салахов И.Н. Апробация системы оперативного контроля режима работы гидрокомплексов на карьерах гидромеханизации. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):116—127. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-116-127>

Статья поступила в редакцию 06.02.2024
Принята к публикации 24.04.2024
Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

TESTING A SYSTEM FOR MONITORING THE OPERATION OF HYDRAULIC COMPLEXES AT HYDROMECHANIZED MINES

VALERIY P. DROBADENKO, ALEXANDER L. VILMIS, OLGA A. LUKONINA,
KSENIA S. NEKOZ, ILMIR N. SALAKHOV*

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

ABSTRACT

Background. An analysis of the process of hydraulic mining at mines found the absence or irregularity of monitoring of the main parameters of slurry transportation. These parameters include the flow rate and density of the slurry, which determine the hourly output in terms of the rock mass delivered from open pits for processing. This problem impedes regulation of the technological modes of the “open pit–processing plant” hydraulic complex.

Aim. To increase the hourly output of the hydraulic complex operation, the stability of slurry transportation for beneficiation, as well as the extraction of the valuable component.

Materials and methods. Variable pressure measurements were conducted using a hydrostatic densitometer; a Venturi tube flowmeter, including a converging calibration device; a flowmeter with a diverging anti-Venturi device, and a DK-25-40 chamber-type orifice plate. An Induction-51 electromagnetic flowmeter with an accuracy class of 1.5% was used as a calibration device.

Results. The throughput of slurry transportation by the tested flowmeters was found to differ insignificantly in terms of the flow coefficient (about 0.97–0.98). However, the slurry flow rate in the anti-Venturi flowmeter minimizes the wear of the inner walls of the calibration part of the pressure tap. The accuracy of flow measurements depends on the constancy of the Venturi tube cross-section, which is subjected to wear during operation (a runtime of about 650 h and the technological resource in the tests of 110500 m³). Substantiation for the application of an anti-Venturi flowmeter is given. Local hydraulic resistances in the diffuser (diverging section) were determined, which mainly depend on such geometric characteristics as the divergence angle α , the divergence degree n , and the diffuser length l_d . The optimal values of geometric parameters were found to be as follows: $\alpha=5\div 7^\circ$ at $l_d=0.8\div 1.5$.

Conclusion. According to the results of industrial testing of an anti-Venturi flowmeter at the flow rate of $Q=2500$ m³/h during several months of mining works, this device can be recommended for application as part of monitoring systems for slurry transportation modes. This device increases the equipment performance and the extraction degree of the valuable component.

Keywords: divergence device, anti-Venturi flowmeter, pressure losses, hydraulic fluid transportation, variable pressure drop, flow coefficient, densitometer

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

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

For citation: Drobadenko V.P., Vilmis A.L., Lukonina O.A., Nekoz K.S., Salakhov I.N. testing a system for monitoring the operation of hydraulic complexes at hydromechanized mines. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):116–127. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-116-127>

Manuscript received 06 February 2024

Accepted 24 April 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

При эксплуатации гидрокомплексов в постоянно изменяющихся горнотехнических условиях возникает необходимость текущего контроля и поддержания технологических параметров подаваемой гидросмеси (расхода и объемной плотности), принятых при проектировании, которые нередко отличаются от реальных показателей при эксплуатации [6, 8, 11].

Однако на многих предприятиях, ведущих разработку осадочных месторождений средствами гидромеханизации, либо отсутствует систематический контроль основных параметров гидротранспортирования — расхода и концентрации гидросмеси, определяющих часовую производительность грунтонасоса по горной массе, — либо осуществляется эпизодически [3, 5]. Это не позволяет регулировать текущие режимы технологического процесса и, как следствие, повысить эффективность работы всего гидрокомплекса.

Анализ выпускаемой контрольно-измерительной аппаратуры [5, 6, 11]: расходомеров (электромагнитных, ультразвуковых, доплеровских, дискретно-непрерывного вероятностного метода и др.), а также плотномеров и консистомеров (радиоактивных, диэлькометрических, кондуктометрических и др.) различных конструкций показывает, что, несмотря на их разнообразие, эксплуатационные качества выпускаемых приборов-датчиков неоднозначны. До настоящего времени они не применяются из-за сложности конструкций электронных схем, необходимости периодической корректировки «нуля» и последующей тарировочной поверки приборов из-за колебаний электрофизических свойств перемещаемых гидросмесей, различных по своим характеристикам. Сложность, а нередко и невозможность использования большинства такой аппаратуры дополняются трудностью их монтажа в условиях работы передвижных гидрокомплексов, продвигающихся вместе с фронтом горных работ, а также необходимостью обслуживания указанной контрольно-измерительной аппаратуры высококвалифицированным персоналом, в т. ч. в отдаленных горно-технических условиях разработки [7, 12].

На практике нередко при гидротранспортировании применяют расходомеры, в которых используется метод переменного перепада давлений, конструктивно характеризующийся различными сечениями определенного размера участка трубы [4, 10]. В них при отборе разности давлений в транспортном трубопроводе и сужающем устройстве фиксируются местные гидравлические

сопротивления в виде потерь напора, которые измеряются дифференциальными манометрами, что позволяет в результате использования уравнений непрерывности и Бернулли интерпретировать ее в расход жидкости [14].

Из всех сужающих измерительных устройств (диафрагма, сопло и др.) наиболее распространенным является расходомер типа трубы Вентури. При всех его преимуществах: определение мгновенного и суммарного расхода, простота изготовления и монтажа, отсутствие дополнительной тарировки — при эксплуатации калибровочное сужающее устройство подвергается сравнительно быстрому истиранию [6, 9, 13]. Так, при наработке его в течение ~650 часов технологический ресурс составил 110 500 м³. За этот период коэффициент расхода μ уменьшился до 0,91, что увеличило погрешность до ~6%. Поэтому для точности измерений большое значение имеет постоянство проходного сечения трубопровода.

Более технологичным в гидродинамическом отношении является расходомер переменного перепада давления с расширяющим устройством типа «труба анти-Вентури». В нем обеспечивается минимальное (либо полное отсутствие) влияние абразивности транспортируемой среды без непосредственного контакта с измерительными элементами.

Прототипом расходомера переменного перепада давления с расширяющим устройством (в отличие от трубы Вентури) по внешнему конструктивному оформлению можно считать прибор В.В. Длоугого [1], разработанный для измерения консистенции гидросмеси на наклонном участке всасывающего трубопровода земснаряда.

В дальнейшем его конструкция была видоизменена, так как функциональным назначением его являлось измерение расхода гидросмеси, которое отличалось следующими признаками:

- измерение расхода гидросмеси, а не концентрации гидросмеси;
- создание перепада давлений в двух сечениях — в самом трубопроводе и в расширяющей цилиндрической части;
- отбор давления производится на самой диффузорной (расширяющей) цилиндрической части устройства, а не в конфузорной (сужающей), как в прежней конструкции.

В качестве расходомера гидросмеси труба анти-Вентури на практике впервые использовалась специалистами Института гидромеханики и гидравлики Академии наук Украины при земснарядном способе добычи гравийно-песчаного материала

[7], а затем расходомеры различных конструкций и параметров успешно проходили апробацию сотрудниками МГРИ при гидромониторно-землесосной разработке россыпных месторождений цветных полезных ископаемых на карьерах Украины (Иршинский ГОК, Верхне-Днепровский ГМК), а также России — прииск «Экспериментальный» (Магаданская область) [2].

Таким образом, в комплекс тарировочных измерительных узлов для испытаний системы

оперативного контроля режима работы гидротранспортной установки включены расходомеры переменного перепада давления с сужающим устройством (труба Вентури) и расширяющим устройством (труба анти-Вентури).

Опытно-промышленные испытания всей аппаратурной цепи расходомеров и плотномеров переменного перепада давления (апробация) проводились на Иршинском ГОКе (рис. 1). Основным базовым измерительным полигоном

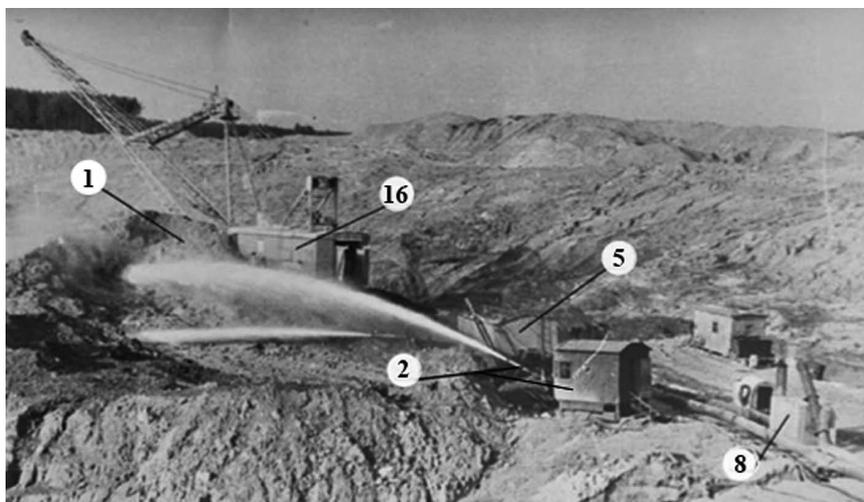
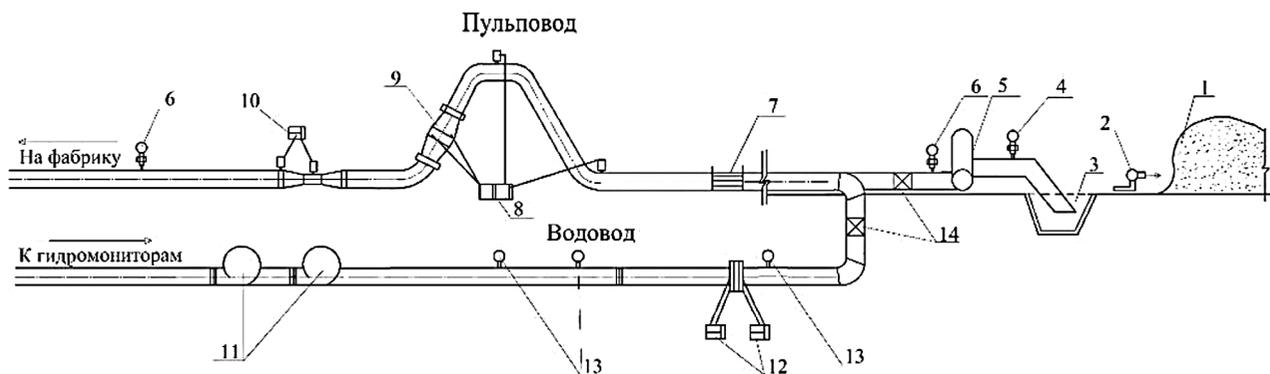


Рис. 1. Измерительная схема параметров гидротранспортирования при проведении опытно-промышленных тарировочных испытаний на ИГОКе: 1 — навал горной массы, разрыхленный экскаватором ЭШ5/45; 2 — гидромонитор ГМД-250 с дистанционным управлением; 3 — металлический зумпф с решеткой; 4 — вакуумметр; 5 — грунтонасос GrT-1600/50; 6 — дифференциальный манометр ДМ-3537 с разделителями; 7 — индукционный расходомер Индукция-51; 8 — плотномер с шаровым датчиком К.В. Диминского; 9 — расходомер с расширяющим устройством типа «труба анти-Вентури»; 10 — расходомер переменного перепада давления с сужающим устройством «труба Вентури»; 11 — дополнительные водяные насосы 300Д-90; 12 — расходомерная диафрагма ДК-25-450; 13 — образцовые манометры; 14 — задвижки; 15 — вторичные самопишущие приборы КСД-2; 16 — шагающий экскаватор ЭШ-5/45

Fig. 1. Measuring scheme of hydrotransportation parameters during pilot calibration tests IGOK: 1 — rock mass pile loosened by excavator ESh5/45; 2 — hydraulic monitor “GMD-250” with remote control; 3 — metal sump with a grid; 4 — vacuum gauge; 5 — ground pump GrT-1600/50; 6 — differential manometer DM-3537 with dividers; 7 — induction flowmeter Induction-51; 8 — density meter with ball sensor Diminsky K.V.; 9 — flowmeter with expanding device of “Antiventuri pipe” type; 10 — variable differential pressure flowmeter with narrowing device “Venturi pipe”; 11 — additional water pumps 300D-90; 12 — flowmeter diaphragm DK-25-450; 13 — sample manometers; 14 — gate valves; 15 — secondary self-describing devices KSD-2; 16 — walking excavator “ESH-5/45”

являлся карьер экскаваторно-гидравлических работ при добыче каолинизированных ильменитсодержащих песков.

Кроме того, в аппаратурную цепь входили расходомер воды — камерная диафрагма ДК-25-450 и счетчик чистого времени работы комплекса, а также гидростатический плотномер с шаровым датчиком К.В. Диминского (рис. 2). Кроме того, значения плотности гидросмеси регулярно контролировались объемно-весовым способом с тарировочной емкостью объемом 100 л, установленной на весах.

Общая измерительная схема параметров гидротранспортирования при проведении опытно-промышленных тарировочных испытаний показана на рисунке 2.

Основным их поверочным измерительным устройством являлся электромагнитный расходомер типа «Индукция-51» с классом точности 1,5% и пределом измерения расхода жидкости 2500 м³/час.



Рис. 2. Шаровой датчик и разделитель с эластичной диафрагмой плотномера (ИГОК): 1 — пульповод Ду = 400 мм; 2 — разделитель; 3 — посадочное место; 4 — шар; 5 — импульсные трубки

Fig. 2. Ball sensor and separator with elastic diaphragm of density meter: 1 — pulp line DN=400 mm; 2 — separator; 3 — seat; 4 — ball; 5 — pulse tubes

На рисунках 3 и 4 показан профильный участок трубопровода с внутренним диаметром 410 мм, на котором смонтированы указанное нестандартное оборудование приборов переменного перепада давления.

Учитывая, что рассмотренные измерительные системы по принципу действия являются устройствами переменного перепада давления, для оценки и обоснования производительности гидродинамического расходомера (труба анти-Вентури) нами был принят аналогичный методический подход, основанный на совместном решении уравнений неразрывности и Бернулли для трубы Вентури. Исходя из этого пропускная способность транспортирования гидросмеси определяется по уравнению [9]:

$$Q = \frac{n \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta p}{\rho \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}} + \Delta H, \quad (1)$$

где d — диаметр трубопровода, мм; D — диаметр расширенной части расходомера, мм; ρ — плотность жидкости, кг/м³; Δp — перепад давления, м вод. ст.; ΔH — потерянная часть давления, идущая на преодоление общего сопротивления измерительного участка трубопровода.

Все параметры, входящие в уравнение (1), за исключением Δp и ΔH , и зависящие от конструктивных особенностей обозначим через параметр K , равный:

$$K = \frac{n \cdot D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2g}{\left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1}}. \quad (2)$$

В итоге с учетом потерь энергии ΔH , возникающих в измерительном участке, уравнение для определения производительности гидродинамического расходомера с расширяющим устройством будет иметь вид:

$$Q = K \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} + \Delta H. \quad (3)$$

Однако установленное уравнение не учитывает конкретные значения потерь давления в расходомере ΔH , которые определяются коэффициентом расхода μ , устанавливаемым по результатам тарировочных опытно-промышленных исследований. При этом проводилось одновременно промышленное тестирование расходомеров переменного перепада давления: диафрагмы ДК-25-450, трубы Вентури типоразмера 410/306 мм, трубы анти-Вентури 510/348 мм при гидротранспортировании по трубопроводу

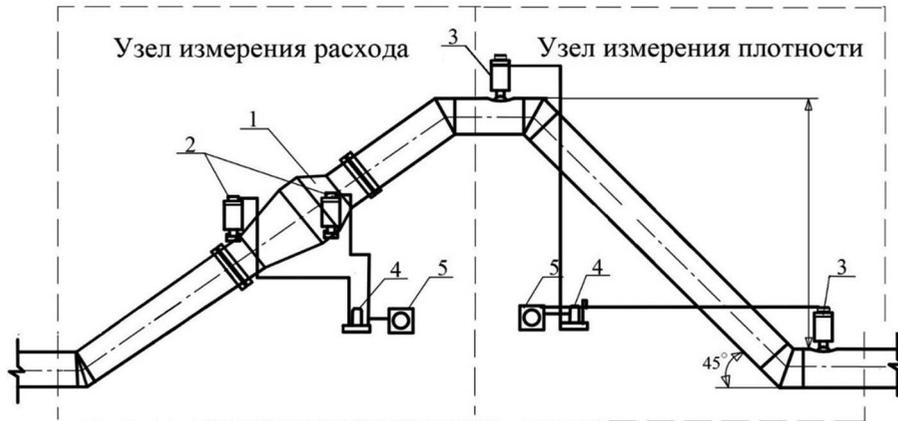


Рис. 3. Измерительная система определения расхода и плотности гидросмеси: 1 — гидродинамический расходомер («труба анти-Вентури»); 2 — отборники давления с эластичным разделителем; 3 — плотномер с шаровым датчиком К.В. Диминского; 4 — первичные приборы ДМ-3537; 5 — вторичные самопишущие приборы КСД-2

Fig. 3. Measuring system for determining the flow rate and density of hydraulic mixture: 1 — hydrodynamic flowmeter (Antivenuri pipe); 2 — pressure samplers with elastic separator; 3 — density meter with ball sensor K.V. Diminsky; 4 — primary devices DM-3537; 5 — secondary self-describing devices “KSD-2”



Рис. 4. Общий вид установки системы определения расхода и плотности гидросмеси: 1 — гидростатический плотномер; 2 — расширяющее устройство расходомера гидросмеси; 3 — диафрагма ДК-25-450; 4 — пульпо-вод Двнутр = 410 мм; 5 — водовод Двнутр = 450 мм; 6 — водяной насос 300Д-90

Fig. 4. General view of the installation of the system for determining the flow rate and density of hydraulic mixture: 1 — hydrostatic density meter; 2 — expanding device of the hydraulic mixture flow meter; 3 — diaphragm DK-25-450; 4 — slurry pipeline $D = 410$ mm; 5 — water pipeline $D = 450$ mm; 6 — water pump 300D-90

с внутренним диаметром 410 мм и определены их коэффициенты расхода α , соответственно, равные 0,96, 0,975 и 0,98.

В результате рекомендовано уравнение пропускной способности транспортирования «трубы анти-Вентури» для жидкости:

$$Q = 0,98 \cdot K \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (4)$$

Анализ тарировочных испытаний и аналитических исследований расчетных показателей мест-

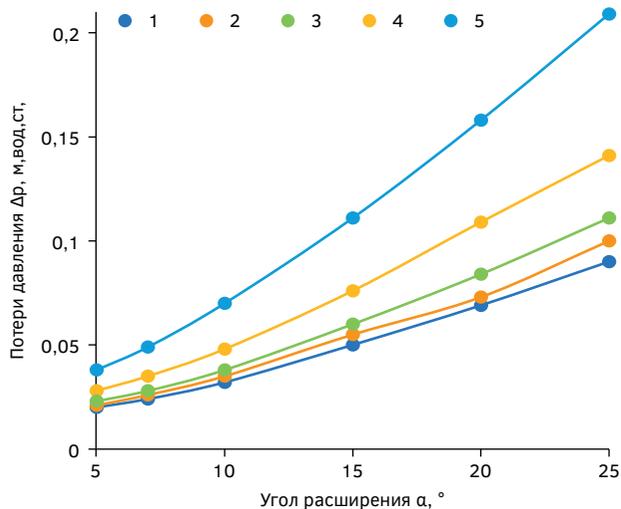


Рис. 5. Зависимости перепада давления Δp от угла расширения α , расхода Q , степени расширения n : 1 — $D/d = 418/317$ мм ($n = 1,74$); 2 — $D/d = 473/351$ мм ($n = 1,81$); 3 — $D/d = 800/580$ мм ($n = 1,9$); 4 — $D/d = 510/348$ мм ($n = 2,15$); 5 — $D/d = 608/359$ мм ($n = 2,87$)
Fig. 5. Dependences of pressure drop Δp on expansion angle α , flow rate Q , expansion degree n : 1 — $D/d = 418/317$ mm ($n = 1,74$); 2 — $D/d = 473/351$ mm ($n = 1,81$); 3 — $D/d = 800/580$ mm ($n = 1,9$); 4 — $D/d = 510/348$ mm ($n = 2,15$); 5 — $D/d = 608/359$ mm ($n = 2,87$)

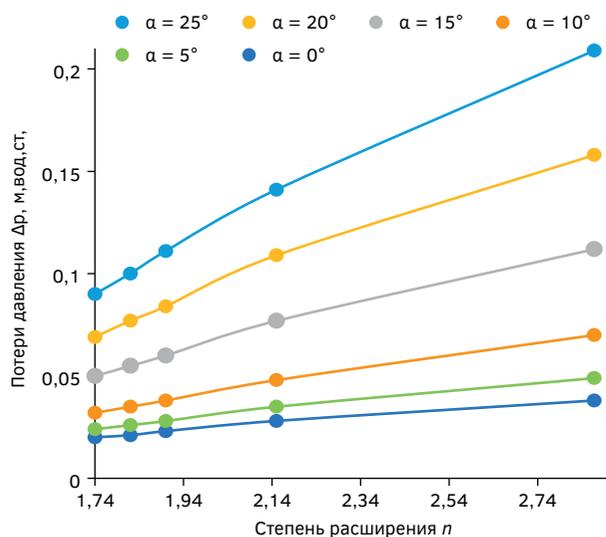


Рис. 6. Зависимости потерь давления Δp от степени расширения n при различных расходах жидкости
Fig. 6. Dependences of pressure loss Δp on the degree of expansion n at different liquid flow rates

ных гидравлических сопротивлений ΔH показал, что коэффициент расхода μ зависит от основных геометрических характеристик диффузора (расширяющего устройства): угла расширения α , степени расширения $n = S_1/S_2$ (где S_1 и S_2 — соответственно, площади сечения расширенной и суженной частей), а также длины диффузора l_d , режима течения (числа Рейнольдса).

Взаимосвязь основных геометрических параметров расходомера с возникающими при этом в нем потерями энергии установлена аналитически и представлена на рисунках 5—7.

Как видно из рисунка 7, с уменьшением угла расширения α длина диффузора l_d увеличивается, что сопровождается малыми потерями энергии. На практике не всегда возможно применять длинные диффузоры с малыми углами расширения ввиду значительных габаритных размеров, их массы, усложнения конструкции, а также монтажа и эксплуатации. В результате проведенных исследований были установлены оптимальные значения геометрических параметров: $\alpha = 5 \div 7^\circ$ при $l_d = 0,8 \div 2,8$ м [5].

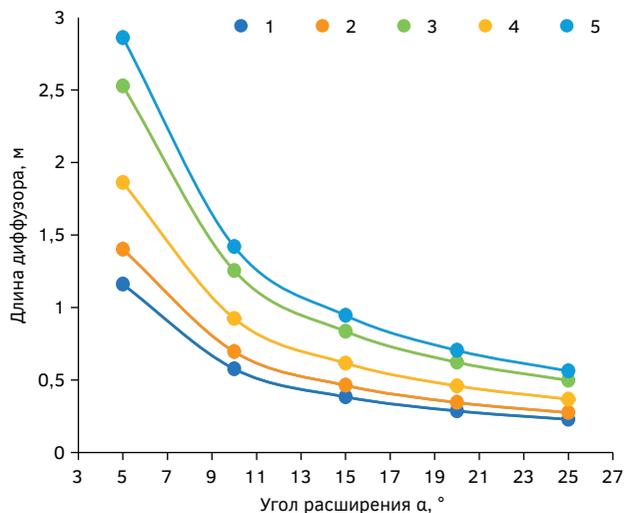


Рис. 7. Зависимости длины диффузора от угла расширения α для различных типоразмеров расходомеров: 1 — $D/d = 418/317$ мм ($n = 1,74$; $Q = 2200$ м³/ч); 2 — $D/d = 473/351$ мм ($n = 1,81$; $Q = 2700$ м³/ч); 3 — $D/d = 800/580$ мм ($n = 1,9$; $Q = 5800$ м³/ч); 4 — $D/d = 510/348$ мм ($n = 2,15$; $Q = 2500$ м³/ч); 5 — $D/d = 608/359$ мм ($n = 2,87$; $Q = 2500$ м³/ч)
Fig. 7. Dependences of the diffuser length on the expansion angle α for different flowmeter sizes: 1 — $D/d = 418/317$ mm ($n = 1,74$; $Q = 2200$ m³/h); 2 — $D/d = 473/351$ mm ($n = 1,81$; $Q = 2700$ m³/h); 3 — $D/d = 800/580$ mm ($n = 1,9$; $Q = 5800$ m³/h); 4 — $D/d = 510/348$ mm ($n = 2,15$; $Q = 2500$ m³/h); 5 — $D/d = 608/359$ mm ($n = 2,87$; $Q = 2500$ m³/h)

Апробация системы оперативного контроля режима работы гидрокомплексов на карьерах гидромеханизации

Установлено, что с увеличением угла расширения α от 5° до 25° потери энергии в виде перепада давлений Δp повышаются более чем в 6 раз, а при возрастании степени расширения n увеличиваются незначительно, хотя сами потери имеют высокие значения.

Разработка и апробация измерительных устройств для текущего контроля и регулирования

параметров гидротранспортирования в двух технологических вариантах: в стационарном (на обогатительной фабрике, рис. 9) и передвижном (на санях, рис. 8) при работе гидромониторно-грунтонасосной установки ГрТ-1600/50 в различных заходках при перемещении фронта горных работ позволили осуществить в ритме производственного процесса оперативное управление всего



Рис. 8. Передвижная установка измерения параметров гидротранспортирования на расстоянии до 2 км из карьера на обогатительную фабрику

Fig. 8. Mobile unit for measuring parameters of hydrotransportation at a distance of up to 2 km from the quarry to the concentrator

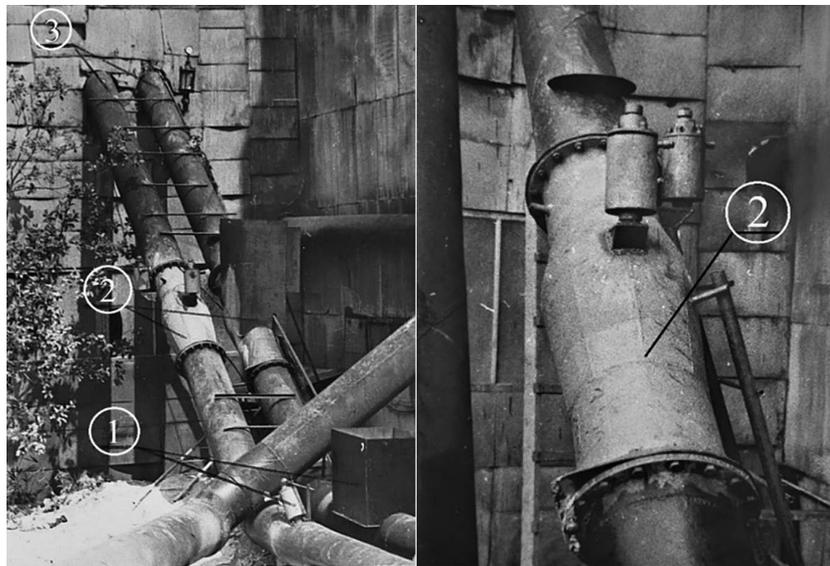


Рис. 9. Стационарная система оперативного контроля и регулирования «карьер — обогатительная фабрика»: 1 — шаровые датчики плотномеров; 2 — гидродинамические расходомеры гидросмеси; 3 — рабочие и резервные пульповоды карьера

Fig. 9. Stationary system of operational control and regulation “open pit — washhouse”. 1 — ball sensors of density meters; 2 — hydrodynamic flowmeters of hydraulic mixture; 3 — working and reserve slurry lines of the open pit



Рис. 10. Общий вид кабины гидромониторщика: 1 — кабина; 2 — задвижка; 3 — водовод; 4 — гидромонитор ГМД-250

Fig. 10. General view of the hydromonitor's cabin: 1 — cabin; 2 — gate valve; 3 — water line; 4 — hydraulic monitor "GMD-250"

гидродобычного комплекса «карьер — обогатительная фабрика».

Организация оперативного контроля режимов работы гидрокомплекса позволила заметно исключить длительную малопродуктивную работу оборудования; повысить полноту извлечения полезного компонента за счет стабильной подачи гидросмеси из карьера на обогатительную фабрику; своевременно принимать меры при опасности возникновения аварийных ситуаций, повысить производительность труда; снизить себестоимость конечной продукции.

Результаты апробации системы оперативного контроля и управления гидродобычей

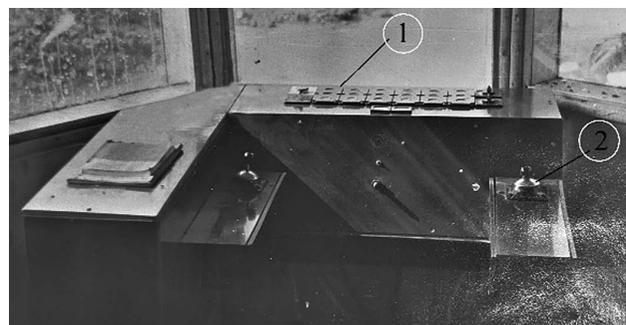


Рис. 11. Вид из кабины гидромониторщика с пультом управления: 1 — кнопки регулирования технологическими режимами гидромониторно-грунтонасосной установки комплекса; 2 — рычаги управления гидромонитором

Fig. 11. View from the hydromonitor's cabin with control panel: 1 — buttons for regulating technological modes of the hydromonitor-grunton pumping unit of the complex; 2 — hydromonitor control levers

карьера экскаваторно-гидравлических работ выражаются также в тесной взаимосвязи с эргономическими факторами, присущими взаимодействию деятельности человека с элементами оптимизации производительности технологического процесса, который заключался в разработке и испытаниях новой конструкции кабины гидромониторщика с пультом управления, включающего панели для размещения пусковых устройств технологического оборудования, контрольно-измерительных приборов, регистрирующих мгновенные и суммарные значения параметров гидротранспортирования, а также отсеки бытового назначения (рис. 10, 11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дробаденко В.П., Диминский К.В., Александров И.Л., Чепов С.Ю. Установка для гидротранспорта сыпучих материалов // Патент SU 1168496, опубл. 23.07.1985.
2. Дробаденко В.П., Луконина О.А., Некоз К.С., Салахов И.Н. Повышение эффективности процесса гидротранспортирования путем контроля рациональных режимов работы грунтонасосов, измеряемых гидродинамическим расходомером переменного перепада давления // Недропользование XXI век. 2021. № 5—6 (92). С. 64—69.
3. Дробаденко В.П., Бутов И.И., Буянов М.И., Луконина О.А. Обоснование выбора системы оперативного контроля технологических параметров при гидромеханизированной разработке месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2014. № 5. С. 17—21.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
5. Кононенко Е.А., Садыков А.А. Гидромеханизированная технология на карьере калининградского янтарного комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № S11. С. 105—113.
6. Некоз К.С. Анализ контрольно-измерительной базы для регулирования режимов работы гидрокомплексов // В книге: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах. 2019. С. 134—137.
7. Некоз К.С. Анализ методов определения расходов жидкости конструкциями переменного перепада давления с сужающим устройством // ИПКОН. 15-я Международная научная школа молодых ученых и

- специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». 2021. С. 198–200.
8. *Спиваковский А.О., Смолдырев А.Е., Зубакин Ю.С.* Автоматизация трубопроводного транспорта. М.: Недра, 1972. 342 с.
 9. *Тарасьянц С.А., Ширяев В.Н., Уржумова Ю.С., Михеев А.В.* Методика расчета струйных аппаратов, используемых в гидромеханизации // Экология и водное хозяйство. 2021. Т. 3. № 2. С. 113—123.
 10. *Osra F.A.* A laboratory study of solid-water mixture flow head losses through pipelines at different slopes and solid concentrations // *South African Journal of Chemical Engineering*. 2020. Vol. 33. P. 29—34.
 11. *Peng G., Tian L., Chang H., Hong S., Ye D., You B.* Numerical and Experimental Study of Hydraulic Performance and Wear Characteristics of a Slurry Pump // *Machines*. 2021. Vol. 9. Article ID 373. <https://doi.org/10.3390/machines9120373>
 12. *Hawash S.A.F., Abo-Elnil A.H.I., Salem O.M.A.* Erosion impact on slurry pump behavior and productive life: An experimental and Numerical investigation // *Water Science*. 2023. Vol. 37. P. 389—398. <https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2283336>
 13. *Wei-jun Liu, Min Chen, Fei-fei Wang, Ren-ze Ou, Qi Liu.* Paste Pipeline Transportation of Pumping Backfill Technology with Long Distance and High Stowing Gradient in Cold and High-Altitude Areas // *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2021. Article ID 5287023. <https://doi.org/10.1155/2021/5287023>
 14. *Xiao Y., Guo B., Ahn S.-H., Luo Y., Wang Z., Shi G., Li Y.* Slurry Flow and Erosion Prediction in a Centrifugal Pump after Long-Term Operation // *Energies*. 2019. Vol. 12. Article ID 1523. <https://doi.org/10.3390/en12081523>

REFERENCES

1. Drobadenko V.P., Diminsky K.V., Alexandrov I.L., Chepov S.S. Installation for a torque converter using materials // Patent SU 1168496, publ. 07/23/1985.
2. Drobadenko V.P., Lukonina O.A., Nekoz K.S., Sалаkhov I.N. Improving the efficiency of the hydraulic transportation process by controlling the rational operating modes of the soil pumps, measured by a hydrodynamic flowmeter of variable pressure drop // *Subsoil use of the XXI century*. 2021. No. 5—6 (92). P. 64—69.
3. Drobadenko V.P., Butov I.I., Buyanov M.I., Lukonina O.A. Substantiation of the choice of a system for operational control of technological parameters during hydromechanized field development // *Surveying and subsoil use*. 2014. No. 5. P. 17—21.
4. Idelchik I.E. Handbook of hydraulic resistance. Guide // Edited by M. O. Steinberg. 3rd ed., reprint. and additional Moscow: Mechanical Engineering, 1992. 672 p.
5. Kononenko E.A., Sadykov A.A. Hydro-mechanized technology at the Kaliningrad Amber Plant quarry // *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015. No. S11. P. 105—113.
6. Nekoz K.S. Analysis of the control and measuring base for regulating the operating modes of hydraulic complexes // *In the book: New Ideas in Earth Sciences. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference: in 7 volumes*. 2019. P. 134—137.
7. Nekoz K.S. Analysis of methods for determining fluid flow rates by designs of variable pressure drop with a constricting device // *IPCON, the 15th International Scientific School of Young Scientists and Specialists “Problems of subsoil development in the 21st century through the eyes of the young”*. 2021. P. 198—200.
8. Spivakovsky A.O., Smoldyrev A.E., Zubakin Yu.S. Automation of pipeline transport. Moscow: Nedra, 1972. 342 p.
9. Tarasyants S.A., Shiryayev V.N., Urzhumova Yu.S., Mikheev A.V. Calculation method of jet devices used in hydromechanization // *Ecology and water management*. 2021. Vol. 3. No. 2. P. 113—123.
10. Osra F.A. A laboratory study of solid-water mixture flow head losses through pipelines at different slopes and solid concentrations // *South African Journal of Chemical Engineering*. 2020. Vol. 33. P. 29—34.
11. Peng G., Tian L., Chang H., Hong S., Ye D., You B. Numerical and Experimental Study of Hydraulic Performance and Wear Characteristics of a Slurry Pump // *Machines*. 2021. Vol. 9. Article ID 373. <https://doi.org/10.3390/machines9120373>
12. Hawash S.A.F., Abo-Elnil A.H.I., Salem O.M.A. Erosion impact on slurry pump behavior and productive life: An experimental and Numerical investigation // *Water Science*. 2023. Vol. 37. P. 389—398. <https://doi.org/10.1080/23570008.2023.2283336>
13. Wei-jun Liu, Min Chen, Fei-fei Wang, Ren-ze Ou, Qi Liu. Paste Pipeline Transportation of Pumping Backfill Technology with Long Distance and High Stowing Gradient in Cold and High-Altitude Areas // *Advances in Civil Engineering*. Vol. 2021. Article ID 5287023. <https://doi.org/10.1155/2021/5287023>
14. Xiao Y., Guo B., Ahn S.-H., Luo Y., Wang Z., Shi G., Li Y. Slurry Flow and Erosion Prediction in a Centrifugal Pump after Long-Term Operation // *Energies*. 2019. Vol. 12. Article ID 1523. <https://doi.org/10.3390/en12081523>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

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

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

Valeriy P. Drobadenko — 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.

Alexander L. Vilmis — 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.

Olga A. Lukonina — 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.

Ksenia S. Nekoz — 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.

Imir N. Salakhov — 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

Дробаденко Валерий Павлович — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: drobadenko@mail.ru

SPIN-код: 3176-6995

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-0568>

Valeriy P. Drobadenko — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Honored Worker of Sciences of the Russian Federation, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: drobadenko@mail.ru

SPIN-code: 3176-6995

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5983-0568>

Вильмис Александр Леонидович — доктор технических наук, заведующий кафедрой геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: vilmisal@mgri.ru

SPIN-код: 4317-1525

Alexander L. Vilmis — Dr. Sci. (Tech.), Acting Head of Chair, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: vilmisal@mgri.ru

SPIN-code: 4317-1525

Луконина Ольга Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: Lu_19-12@mail.ru

SPIN-код: 1905-1060

Olga A. Lukonina — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: Lu_19-12@mail.ru

SPIN-code: 1905-1060

Некоз Ксения Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: nosovaks@mgri.ru

SPIN-код: 5317-5596

Ksenia S. Nekoz — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: nosovaks@mgri.ru

SPIN-code: 5317-5596

Салахов Ильмир Наильевич* — кандидат технических наук, доцент кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: salahovin@mgri.ru

SPIN-код: 6224-4685

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7245-2274>

Ilmir N. Salakhov* — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: salahovin@mgri.ru

SPIN-code: 6224-4685

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7245-2274>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ВИДЕОФАЙЛА ДЛЯ ОЦИФРОВКИ КОЛЕБАНИЙ АНАЛОГОВОГО ИНДИКАТОРА НА ПРИМЕРЕ КВАРЦЕВОГО ГРАВИМЕТРА ГНУ-КВ

А.М. ЛОБАНОВ¹, А.П. БЕЛОВ^{1,*}, А.М. ЕРОХИН², К.В. ВЕНЕДИКТОВ²

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

² ООО «Петровайзер»
4, корп. 2, ул. Макарова, г. Тверь 170002, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На современном этапе геологических и геофизических исследований используются передовые технологии для детального анализа инструментальных данных. Данное исследование сосредоточено на изучении временных вариаций гравитационного поля, которые имеют ключевое значение для понимания кинематики и динамики движений земной коры, вызванных внутренними геодинамическими процессами, такими как землетрясения и вулканизм.

Цель исследования: повысить точность и автоматизацию гравиметрических исследований за счёт нового применения видеотехнологий.

Материалы и методы. В исследовании использовались гравиметр ГНУ-КВ и специализированная видеокамера для цифровой фиксации показаний. Данные с видеокамеры обрабатывались с помощью специально разработанного алгоритма распознавания видео, что обеспечило точный анализ вариаций гравитации.

Результаты. Интеграция видеокамеры с гравиметром позволила точно цифровать колебания указателя гравиметра. Применение алгоритма распознавания видео позволило детально анализировать динамику гравитационных изменений, выявив значительные улучшения в качестве данных и глубине анализа.

Заключение. Внедрение видеотехнологий в гравиметрические исследования расширяет аналитические возможности для изучения геологических процессов, существенно повышая точность данных и оперативность работы.

Ключевые слова: гравиметр, ГНУ-КВ, видеокамера, цифровизация, алгоритм распознавания видео, вариации гравитации, геологические исследования

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лобанов А.М., Белов А.П., Ерохин А.М., Венедиктов К.В. Алгоритм распознавания видеофайла для оцифровки колебаний аналогового индикатора на примере кварцевого гравиметра ГНУ-КВ. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):128—134. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>

Статья поступила в редакцию 25.10.2023

Принята к публикации 15.03.2024

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

ALGORITHM OF VIDEO FILE RECOGNITION FOR DIGITIZATION OF ANALOG INDICATOR OSCILLATIONS ON THE EXAMPLE OF GNU-KV QUARTZ GRAVIMETER

ALEXANDER M. LOBANOV¹, ALEXEY P. BELOV^{1,*}, ALEXANDR M. EROKHIN², KONSTANTIN V. VENEDIKTOV²

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

² *“Petroviser”
4 bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia*

ABSTRACT

Background. The advancement of geological and geophysical research leverages modern technology to enhance the analysis of instrumental data, particularly focusing on long-wave components of potential fields. This includes studies on temporal gravity variations, which are crucial for understanding the Earth's kinematics and dynamics, including processes related to earthquakes and volcanism. These variations serve as precursors to such geodynamic events, aiding in the development of predictive models.

Aim. This study explores the use of video technology to enhance the digitization and analysis of gravity field variations using the GNU-KV quartz gravimeter.

Materials and methods. The research employed a GNU-KV gravimeter coupled with a specialized video camera. Data captured by this setup were processed using an innovative video recognition algorithm designed for precise and reliable measurement of gravity variations.

Results. The integration of the video camera with the gravimeter facilitated precise digitization of the indicator oscillations. The video recognition algorithm enabled detailed analysis of the gravity variations, improving the accuracy of the results.

Conclusion. Incorporating video technology into gravimetric studies significantly enhances the ability to analyze geological processes, broadening the scope and depth of research in geophysical studies.

Keywords: gravimeter, GNU-KV, video camera, digitalization, video recognition algorithm, gravity variations, geological research

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

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

For citation: Lobanov A.M., Belov A.P., Erokhin A.M., Venediktov K.V. Algorithm of video file recognition for digitization of analog indicator oscillations on the example of GNU-KV quartz gravimeter. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2024;66(1):128—134. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-128-134>

Manuscript received 25 October 2023

Accepted 15 March 2024

Published 29 April 2024

* Corresponding author

В современные геологические исследования активно внедряют новейшие технологические решения для более точного и глубокого анализа данных. Одной из ключевых областей является разработка и применение передовых методов для обработки данных гравиметрии. В этом контексте стоит обратить внимание на гравиметры наземные узкодиапазонные с кварцевой чувствительной системой

класса В, обозначаемые аббревиатурой ГНУ-КВ. Этот прибор использует кварцевую чувствительную систему для выявления и численного измерения низкочастотных вариаций силы тяжести. Благодаря своей высокой точности ГНУ-КВ занимает ведущие позиции в сегменте наземных гравиметров [5]. Обнаруживаемые им колебания представляют собой отклик на изменения гравитационного поля

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Земли, обусловленные геологическими особенностями строения земной коры, приливными процессами, вулканической деятельностью, а также процессами внутри земной коры и верхней мантии.

Изначально методика использования гравиметра ГНУ-КВ заключалась в прямом наблюдении через окуляр индикатора и регистрации единичных показателей. Современные технологические решения позволяют не только записывать данные показатели, но и проводить детализированный анализ всех регистрируемых колебаний. В частности, возможно исследование низкочастотных колебаний на частотах в диапазоне 0,05—0,5 Гц.

С учетом этих технических инноваций появилась возможность детектировать и анализировать даже минимальные флуктуации, которые ранее были недоступны для наблюдения. Методика, включающая в себя оцифровку колебаний ГНУ-КВ и применение алгоритмов распознавания видео [4], расширяет инструментарий в геологических исследованиях. Такой подход обеспечивает более детальное изучение геологической структуры и предоставляет доступ к данным, ранее недоступным для математического анализа.

Для оптимизации точности и методики сбора данных традиционный окуляр был заменен на видеокамеру. В качестве устройства был выбран

цифровой микроскоп Levenhuk M35 с параметрами разрешения 640x480 и частотой кадров 30 кадров/с. Данная замена обеспечила автоматизацию регистрации данных, предназначенных для дальнейшего анализа.

Использование видеокамеры обусловлено спецификацией индикатора ГНУ-КВ, представляющего собой специальную пружину, которая теоретически имела бы нулевую длину в нерастянутом состоянии и оказывала бы нулевое усилие. Электромагнитные методы неприменимы для детекции положения индикатора из-за возможного воздействия на его динамику движения [3]. Несмотря на существование альтернативных технологий, таких как лазерные дальномеры, их стоимостные характеристики и сложность калибровки и интеграции в данный прибор ограничивают применение. В свою очередь, видеокамера, не воздействуя на индикатор, исключает искажения и обеспечивает надежную и точную регистрацию данных, что делает ее наилучшим выбором для решения поставленных задач исследования.

Оцифровка данных с гравиметра ГНУ-КВ включает следующие этапы.

1. Замена традиционного окуляра на видеокамеру на устройстве ГНУ-КВ.
2. Видеозапись с использованием штатного программного обеспечения Levenhuk.
3. Мониторинг колебаний индикатора в режиме реального времени с последующим сохранением видеофайла.
4. Обработка видеофайла с целью выделения характерных зон визуально определяемых колебаний.
5. Применение специально разработанного нами алгоритма для идентификации и анализа колебательных явлений на видеоматериале.
6. Конвертация оцифрованных данных для последующего математического анализа и геологической интерпретации.

Преобразование колебаний индикатора в видео осуществляется при частоте съемки 30 Гц. Затем видеоматериал конвертируется в цифровую форму при помощи специально разработанного нами алгоритма. Данный алгоритм, работая покадрово, регистрирует положение индикатора, детектируя его границы. После определения границ индикатора алгоритм вычисляет его центр, что и является фактическим положением индикатора. Усиливая контрастность каждого кадра, что обусловлено ярко выраженным контрастом между светлым индикатором и темным фоном, алгоритм обеспечивает высокую точность в определении положения



Рис. 1. Гравиметр ГНУ-КВ с установленной камерой-микроскопом Levenhuk M35

Fig. 1. GNU-KV gravimeter with Levenhuk M35 microscope camera installed

индикатора. Данный алгоритм сочетает в себе методы машинного обучения и компьютерного зрения для анализа контраста изображения. В качестве основной модели в методах машинного обучения использовалась архитектура сети LSTM, выбранная на основе серии экспериментов. Отметим, что выбранная архитектура может быть изменена в будущем. Для детализированного мониторинга движения индикатора в ходе видеозаписи

применяются методы усиления границ и пороговой обработки.

Процедура обработки состоит из этапов сглаживания, шумоподавления и фильтрации [1]. Видеоданные первоначально обрабатываются с использованием программного обеспечения на языке Python, после чего результаты сохраняются для последующего анализа в программном окружении «MATLAB».

ВХОД: Видеофайл

ВЫХОД: Оцифрованные данные положения индикатора

1. ЗАГРУЗИТЬ видеофайл.
2. ПОДГОТОВИТЬ видеопоток для чтения кадров.
3. ИНИЦИАЛИЗИРОВАТЬ модель LSTM с предварительно обученными весами.
4. ДЛЯ каждого кадра в видео:
 - 4.1. УСИЛИТЬ контрастность кадра.
 - 4.2. СГЛАДИТЬ кадр.
 - 4.3. ПРИМЕНИТЬ методы шумоподавления.
 - 4.4. ПРИМЕНИТЬ методы машинного обучения и компьютерного зрения для детекции границ индикатора.
 - 4.5. НАЙТИ центр индикатора на основе обнаруженных границ.
 - 4.6. ПРОГНОЗИРОВАТЬ положение индикатора на следующем кадре с использованием LSTM.
 - 4.7. СРАВНИТЬ прогнозируемое и фактическое положение.
 - 4.8. ЕСЛИ разница между прогнозируемым и фактическим положением превышает пороговое значение:
 - 4.8.1. ПОВТОРНО анализировать кадр или применить коррекцию.
 - 4.9. СОХРАНИТЬ координаты центра в массив оцифрованных данных.
5. ПРОИЗВЕСТИ фильтрацию или сглаживание массива оцифрованных данных (если необходимо).
6. СОХРАНИТЬ оцифрованные данные для последующего анализа.

Псевдокод программы

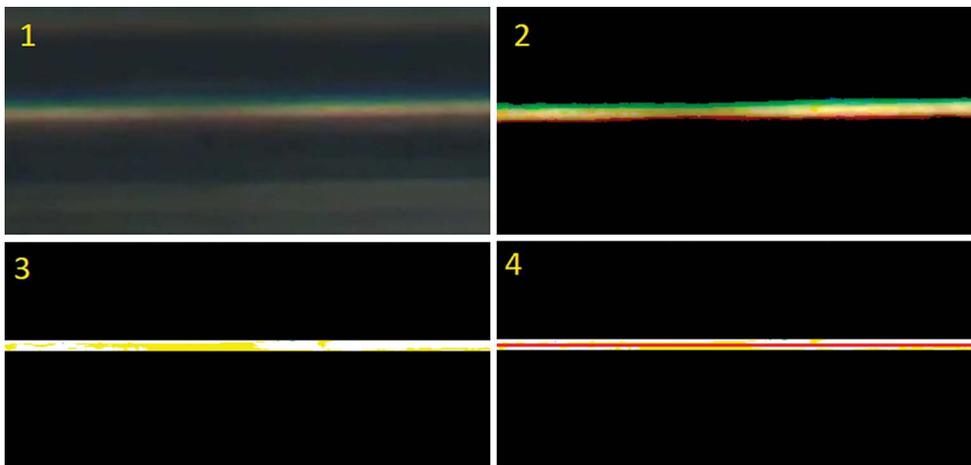


Рис. 2. Шаги преобразования кадра исходных данных (кадр положения индикатора из видео) в цифровой вид. С каждым шагом происходит улучшение качества данных и повышается пригодность для дальнейшей обработки, применяются методы сглаживания, шумоснижения, фильтрации и другие методы статистической обработки данных, в итоге определяется точное положение индикатора для каждого кадра

Fig. 2. The steps of converting the frame of the source data (the frame of the indicator position from the video) into a digital view. With each step, data quality and suitability for further processing are improved, namely smoothing, noise reduction, filtering and other methods of statistical data processing, as a result, the exact position of the indicator for each frame is determined

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Ключевым этапом исследования является оценка погрешности использованного метода. Ошибки при оцифровке минимизируются благодаря механизму проверки, интегрированному в алгоритм. Этот механизм основывается на предпосылке, что положение индикатора не должно резко изменяться между двумя соседними кадрами. В случае обнаружения аномалий или неожиданных сдвигов в положении индикатора кадр подвергается повторному анализу для верификации результатов [8].

Тестирование алгоритма распознавания выявило его точность в 99,5%, процент ошибки составил 0,5%, это говорит о том, что в большинстве экспериментальных наблюдений алгоритм эффективно определяет положение индикатора. Для определения точности была применена обучающая выборка, после чего алгоритм был протестирован на тестовой выборке, размеченной нами вручную. Сравнение результатов подтвердило минимальное отклонение.

$$\text{Точность алгоритма (Accuracy)} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{400}{400 + 2} = 0,995, \text{ или } 99,5\%,$$

где TP (True Positives) — количество случаев, когда алгоритм правильно определил положение индикатора; FP (False Positives) — количество случаев, когда алгоритм ошибочно определил положение индикатора.

$$\text{Вероятность ошибки (Error Rate)} = 1 - 0,995 = 0,005, \text{ или } 0,5\%.$$

При использовании алгоритма распознавания видео и метода оцифровки были получены данные, отражающие временные ряды колебаний индикатора. Эти данные выявляют специфические характеристики и отклонения в динамике колебаний. В отличие от традиционного метода наблюдения через окуляр данный метод обеспечивает детализированную цифровую обработку данных, расширяя аналитический потенциал исследований.

Применяемая методика обеспечивает систематизированный сбор данных в различных геологических локациях, придавая исследованиям до-

полнительную информационную ценность. Задача по оцифровке успешно решена, и ее результат предоставляет дополнительный инструмент для детального изучения и анализа периодичности вариаций гравитационного поля исследуемого региона. Данная работа нацелена на возможность определять статистические, спектральные и другие характеристики вариаций гравитационного поля в зонах с разным геологическим строением, что, в свою очередь, необходимо для решения задач по точному определению зон разломов, выявлению гетерогенностей грунтов и коррекции границ месторождений, расширяя аналитические возможности специалистов в области изучения природных ресурсов [7].

Ограничения нашего метода

1. Метод функционирует исключительно в офлайн-режиме, завися от компьютера для обработки данных.

2. Исходная запись создает видеофайлы со значительным объемом (около 1 ГБ данных за 1 час записи), что увеличивает временные затраты на их обработку.

3. Процесс оцифровки данных предполагает выполнение дополнительных операций обработки и анализа, что может привести к задержке в представлении результатов.

Перспективы развития

1. Предполагается модернизация методики оцифровки данных в онлайн-режиме, без предварительного сохранения видеофайла, что сократит использование дискового пространства и уменьшит время получения результатов.

2. Планируется разработка интегрированной аппаратной платформы, исключающей необходимость подключения внешних устройств; другими словами, замена ноутбука на простое, автономное, более энергоэффективное устройство.

3. Рассматривается возможность автономной эксплуатации прибора с функцией автоматического запуска и завершения записи в соответствии с заданными параметрами.

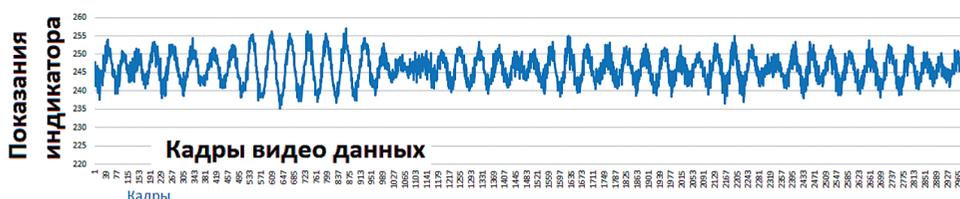


Рис. 3. Полученные оцифрованные данные
Fig. 3. The digitized data obtained

4. Данный подход возможно адаптировать и применять для оцифровки аналоговых индикаторов других приборов.

Заключение

В рамках проведенного исследования была разработана и рассмотрена методика оцифровки колебаний индикатора гравиметра ГНУ-КВ. Интеграция современных устройств и передовых алгоритмов позволила методике обеспечить превосходство над классическими подходами. Описанный метод и алгоритмы характеризуются высокой точностью и скоростью реагирования, обеспечивая вывод числового ряда для анализа низкочастотных вариаций гравитационного поля. На основании

полученных результатов можно утверждать о потенциально широком применении данной методики в геологической сфере и ее возможном вкладе в будущие научные достижения и совершенствование методов исследования земной коры; в частности, она может быть использована для непрерывного мониторинга многих геологических процессов. При откачке подземных вод, нефти или газа, как и в районах геотермальных источников, одновременно с оседаниями дневной поверхности происходят и изменения силы тяжести, при этом локальные изменения зависят от типа осадочных пород и процесса опускания. Можно также использовать контрольные съемки для изучения запасов месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А.П., Лобанов А.М., Ерохин А.М. Опыт амплитудно-частотной оценки колебания грунтов в диапазоне 0,05—0,5 Гц с использованием чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 2. С. 67—73.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.
3. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий. М.: Физматкнига, 2010. 671 с.
4. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России. Требования к высокоточным сетям. Абсолютные измерения ускорения силы тяжести баллистическими гравиметрами. М.: ЦНИИГАиК, 2001. 66 с.
5. Торге В. Гравиметрия / Под ред. А.П. Юзефовича. М.: Мир, 1999. 429 с.
6. Barnes P.R., Van Dyke J.W. The effects of electromagnetic interference on electronic equipment // Proceedings of the IEEE. 1993. Vol. 81, no. 3. P. 384—392.
7. Bradski, G., & Kaehler, A. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. 2008.
8. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer. 2010.

REFERENCES

1. Belov A.P., Lobanov A.M., Erokhin A.M. The experience of amplitude-frequency estimation of ground vibrations in the range of 0.05—0.5 Hz using a sensitive element of the GNU-KV gravimeter // Izvestia of Higher educational Institutions. Geology and exploration. 2023. No. 2. P. 67—73 (In Russian).
2. Bendat J., Pearsol A. Applied analysis of random data. Moscow: Mir, 1989. 540 p. (In Russian).
3. Visilter Yu.V. Image processing and analysis in machine vision problems: a course of lectures and practical exercises. Moscow: Fizmatkniga, 2010. 671 p. (In Russian).
4. Instructions for the development of the high-precision state gravimetric network of Russia. Requirements for high-precision networks. Absolute measurements of gravity acceleration by ballistic gravimeters. Moscow: TsNIIGAiK, 2001. 66 p. (In Russian).
5. Torge V. Gravimetry / Edited by A.P. Yuzefovich. Moscow: Mir, 1999. 429 p. (In Russian).
6. Barnes P.R., Van Dyke J.W. The effects of electromagnetic interference on electronic equipment // Proceedings of the IEEE. 1993. Vol. 81, no. 3. P. 384—392.
7. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc. 2008.
8. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer. 2010.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лобанов А.М. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, сформулировал основные идеи описанного метода, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander M. Lobanov — made the main contribution to the development of the concept of the article, formulated the main ideas of the described method, 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.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Белов А.П. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ерохин А.М. — внес вклад в разработку концепции статьи, подобрал математический аппарат для обеспечения расчетов, указанных в статье, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Венедиктов К.В. — внес вклад в разработку концепции статьи, разработал программное обеспечение для проведения анализа исходных данных, присоединился к подбору математического аппарата и подготовке текста статьи, обеспечил графическое представление данных, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexey P. Belov — made the main contribution to the development of the concept of the article, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander M. Erokhin — contributed to the development of the concept of the article, selected a mathematical apparatus to ensure the calculations specified in the article, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Konstantin V. Venediktov — contributed to the development of the concept of the article, developed software for analyzing the source data, joined the selection of mathematical apparatus and the preparation of the text of the article, provided a graphical representation of the data, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Александр Михайлович — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: lobanovam@mgri.ru тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52 SPIN-код: 8713-9468

Alexander M. Lobanov — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: lobanovam@mgri.ru tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52 SPIN-code: 8713-9468

Белов Алексей Павлович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: belovap@mgri.ru тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52

Alexey P. Belov* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: belovap@mgri.ru tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52

Ерохин Александр Михайлович — руководитель экспертно-методической группы подразделения ИТ ООО «Петровайзер». 4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия e-mail: erokhin_am@petroviser.ru тел.: + 7 (915) 724-82-76

Alexander M. Erokhin — Head of the Expert and Methodological Group of the IT department, “Petroviser” LLC. 4, bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia e-mail: erokhin_am@petroviser.ru tel.: + 7 (915) 724-82-76

Венедиктов Константин Витальевич — аналитик экспертно-методической группы Управления ИТ ООО «Петровайзер». 4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия e-mail: venediktov_kv@petroviser.ru тел.: + 7 (910) 536-72-68

Konstantin V. Venediktov — Analyst of the Expert and Methodological Group of IT Management of “Petroviser” LLC. 4, building 2, Makarova str., Tver 170002, Russia e-mail: venediktov_kv@petroviser.ru tel.: + 7 (910) 536-72-68

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-135-150>
УДК 528.8, 004.932, 550.83, 004.032.26



ОЦЕНКА ТРАНСГРАНИЧНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА, НАНОСИМОГО БАСЕЙНУ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Ю.А. ЛОБАНОВ¹, С.П. ЯКУЦЕНИ^{1*}, Е.А. ЕСИНА²

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

² Общероссийское межотраслевое объединение работодателей
в сфере охраны окружающей среды «РУСРЕЦИКЛИНГ»
а/я 339, 18, корпус 1, Рублевское шоссе, Москва, 121615, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. Оценка трансграничного экологического ущерба, наносимого бассейну Балтийского моря при строительстве и эксплуатации подводного трубопроводного транспорта. Оценка экологических последствий диверсионных действий, связанных с уничтожением газотранспортной системы «Северный поток», включая последствия, связанные с захоронением химического оружия Третьего рейха и нелегальными захоронениями отходов в акватории близ острова Борнхольм. Укрупненная оценка экологического ущерба при строительстве и эксплуатации региональных и локальных нефтепродуктопроводов и газопроводов акватории Балтийского моря. Рекомендации полномочным органам РФ по созданию и внедрению нормативно-правовых требований по компенсации ущерба окружающей среде.

Материалы и методы. Анализ фактического загрязнения и экологического ущерба, наносимого бассейну Балтийского моря при строительстве, эксплуатации, диверсиях на подводном трубопроводном транспорте, на основе открытых данных, анализ и оценка нормативных правовых актов РФ и их применения.

Результаты. Изучены экологические последствия подрыва газопроводной системы «Северный поток» при диверсии на газопроводе. Выполнена оценка воздействия гидродинамического удара и метана на биоту Балтийского моря. Выполнена укрупненная оценка экологического ущерба при строительстве и эксплуатации региональных и локальных нефтепродуктопроводов и газопроводов акватории Балтийского моря.

Заключение. Даны рекомендации полномочным органам по созданию и внедрению нормативно-правовых требований по компенсации ущерба окружающей среде, методов с целью возмещения вреда, причиняемого имуществу РФ и граждан России вредными выбросами сопредельных государств и не в международных, а в российских судах в соответствии с российским законодательством.

Ключевые слова: трансграничный экологический ущерб, Балтийское море, химическое оружие, газопровод, нефтепровод, Борнхольм, Северный поток, нормативно-правовые требования

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лобанов Ю.А., Якуцени С.П., Есина Е.А. Оценка трансграничного экологического ущерба, наносимого бассейну Балтийского моря при строительстве и эксплуатации подводного трубопроводного транспорта. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(1):135—150. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-135-150>

Статья поступила в редакцию 04.08.2023
Принята к публикации 01.02.2024
Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

ASSESSMENT OF TRANSBOUNDARY ENVIRONMENTAL DAMAGE TO THE BALTIC SEA BASIN DURING CONSTRUCTION AND OPERATION OF THE OFFSHORE PIPELINE SYSTEM

YURY A. LOBANOV¹, SERGEY P. YAKUTSENI^{1,*}, ELENA A. ESINA²

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

² *All-Russian Intersectoral Association of Employers in the Field of Environmental Protection "RUSRECIKLING"
PO Box 339, 18, bld. 1, Rublevskoe shosse, Moscow 121615, Russia*

ABSTRACT

Aim. Assessment of the transboundary environmental damage the Baltic Sea basin during the construction and operation of offshore pipelines. Assessment of the environmental consequences of the sabotage actions associated with the destruction of the Nord Stream offshore gas transportation system, including those associated with the disposal of chemical weapons of the Third Reich and illegal waste disposal in the waters near the island of Bornholm. Integrated assessment of the environmental damage caused to the Baltic Sea basin during the construction and operation of regional and local oil and gas pipelines. Recommendations to the authorities of the Russian Federation on the creation and implementation of legal requirements for environmental damage compensation.

Materials and methods. An analysis of the actual pollution and environmental damage caused to the Baltic Sea basin during construction, operation, and sabotage actions on the offshore pipeline system was carried out using open data. The regulatory legal acts of the Russian Federation and their practical implementation were evaluated.

Results. The environmental consequences of the undermining of the Nord Stream offshore pipeline system during sabotage attacks were studied. The impact of the hydrodynamic shock and methane on the Baltic Sea biota was assessed. A consolidated assessment of the environmental damage during the construction and operation of regional and local oil and gas pipelines in the Baltic Sea was carried out.

Conclusion. Recommendations are given to the authorities of the Russian Federation on the creation and implementation of legal requirements related to environmental damage compensation, methods for compensating the damage caused to the property of the Russian Federation and Russian citizens by harmful emissions from neighboring states not in international, but in Russian courts in accordance with Russian legislation.

Keywords: transboundary environmental damage; Baltic Sea; chemical weapon; gas pipeline; pipeline; Bornholm; Nord Stream; regulatory requirements

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

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

For citation: Lobanov Yu.A., Yakutseni S.P., Esina E.A. Assessment of transboundary environmental damage to the Baltic sea basin during construction and operation of the offshore pipeline system. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):135—150. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-135-150>

*Manuscript received 04 August 2023**Accepted 01 February 2024**Published 29 April 2024*

* Corresponding author

Введение

В силу географических и климатических особенностей расположения нашей страны ежегодно увеличивается трансграничное давление на качество окружающей среды и экосистем России. Сопредельные государства негативно влияют на состояние окружающей среды, включая сухопутную зону, территориальные воды и исключительную экономическую зону Российской Федерации. Международные правовые акты не дают рабочих и действенных инструментов для регулирования отношений в области трансграничного воздействия на окружающую среду. Конвенции, протоколы, соглашения содержат только своды рекомендаций по регулированию видов и способов хозяйствования, угнетающего окружающую природную среду и здоровье человека. Конкретных запретов международные нормативные акты не содержат, а доказать виновность отдельного государства в причинении экологического и экономического ущерба другим странам в условиях действующих норм международного права чрезвычайно сложно. В результате негативное по отношению к окружающей природной среде хозяйствование сопредельных государств в части воздействия на землю, акваторию и здоровье граждан РФ остается безнаказанным, а биосфера в пределах территории России постоянно подвергается негативному воздействию со стороны сопредельных государств-загрязнителей. Усилия по рекультивации и принятию компенсационных мер ложатся на муниципальные, региональные и федеральные бюджеты, средства частных компаний, а также на граждан Российской Федерации. Оценка трансграничного экологического ущерба, наносимого бассейну Балтийского моря при строительстве, эксплуатации подводного трубопроводного транспорта и диверсиях на нем, — одна из серии научных статей, нацеленных на освещение и решение данной проблемы.

Основной раздел

В акватории Балтийского моря было расположено два крупнейших трансграничных газопровода в мире и самые протяженные подводные газопроводы в мире — «Северный поток» и «Северный поток — 2», проложенные по дну моря от бухты

Портовая и района Усть-Луга Ленинградской области до окрестностей немецкого города Лубмин. «Северный поток» — 1224 километра протяженность, мощность 61,96 млрд м³/год; «Северный поток — 2» — 1224 километра протяженность, мощность 55,0 млрд м³/год. Это были сверхнадежные пути поставок российского газа европейским потребителям, минуя транзитные страны, в течение более чем десяти лет. Надежность работы газотранспортной системы была подтверждена как минимум на 50 лет (рис. 1) [3, 5, 9].

Пресс-коммюнике ПАО «Газпром» сообщало о влиянии газовой магистрали на окружающую природную среду следующее: ««Северный поток» является транснациональным проектом. Процесс его строительства регулировался международными конвенциями и национальным законодательством каждого государства через территориальные воды и/или исключительную экономическую зону которого проходит газопровод. Акватория Балтийского моря по маршруту «Северного потока» была тщательно исследована до начала прокладки. Маршрут газопровода намечен, насколько это возможно, по прямой линии и при этом скорректирован с учетом навигационных маршрутов, экологически чувствительных и других особых зон. Строительство «Северного потока» осуществлялось с соблюдением самых строгих экологических норм и не нарушило экосистему Балтийского моря. Для минимизации воздействия на окружающую среду строительные работы не велись во время нереста сельди, а также во время остановки перелетных птиц в этих местах. Исследовательские суда прошли свыше 40 тыс. км морского дна для изучения рельефа и придонных отложений, поиска боеприпасов и объектов культурного наследия. Эксперты подробно исследовали химический состав воды по маршруту газопровода, морскую флору и фауну. Полученные результаты проанализировали и обобщили в материалах оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), которые представлены национальным государственным органам всех стран Балтийского моря вместе с заявочной документацией при получении разрешений» [11]. Каждая труба Nord Stream (рис. 2) окружена стеной из стали диаметром 41 мм, в свою очередь

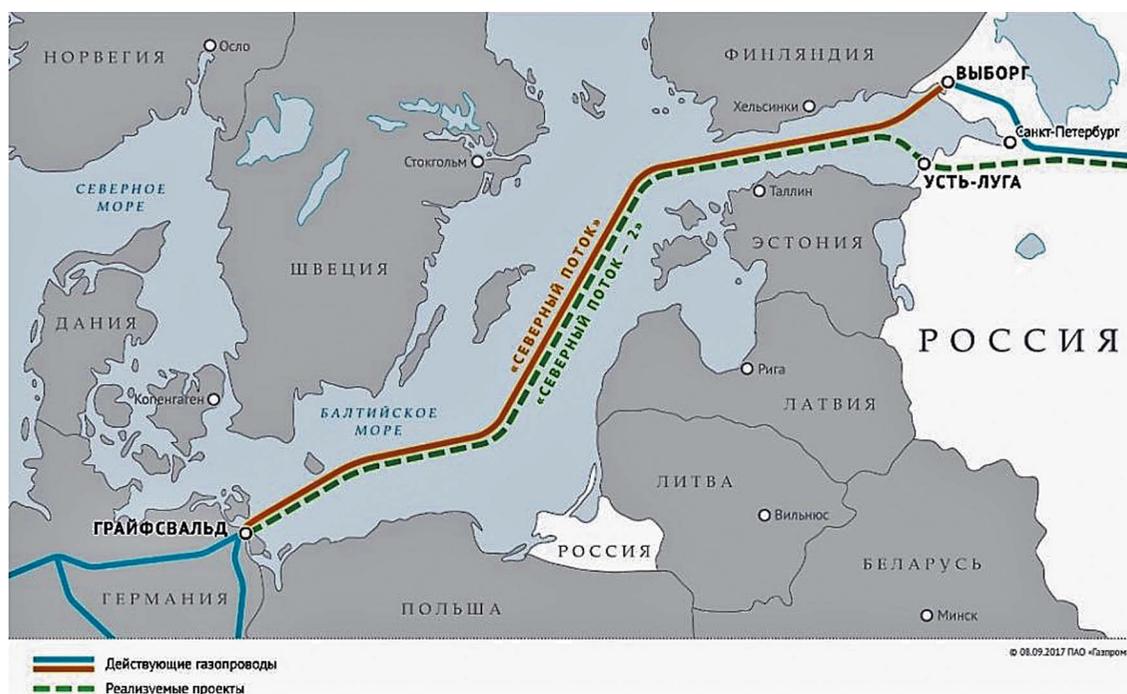


Рис. 1. Схема действующей и проектируемая нитки газопровода «Северный поток» (материалы ПАО «Газпром») **Fig. 1.** Diagram of the current and projected Nord Stream gas pipeline (materials of Gazprom PJSC)

заклученной в 110-мм утяжеляющее покрытие (удваивающее вес труб), а затем для дальнейшего закрепления их на 80-метровом морском дне выполнено мощное каменное перекрытие [13]. Как показали наши исследования, а затем и практика, при разрыве самого безопасного трубопровода — газопровода, негативные последствия будут складываться из воздействия на рыб природного газа, проходящего через верхние слои воды, гидродинамического удара при подрыве газопроводов и его разгерметизации, а также сероводорода, увлекаемого мощным выбросом природного газа трубопровода из придонной анаэробной зоны.

Метан и другие углеводороды обладают наркотическим и нервно-паралитическим воздействием на водные организмы, возрастающим при увеличении температуры воды. Но не это главное, главное — это гипоксия, резко усиливающаяся в присутствии этана, пропана, бутана других гомологов этого ряда присутствующих в природном газе. Ни один локальный или региональный газопровод не имел и не имеет столь надежной системы постоянного экологического мониторинга, как «Северный поток» и не обладают характеристиками надежности, необходимыми для акватории Балтийского моря, а «Северный поток» обладал. Однако обе ветки газопроводов были взорваны

диверсантами 26 сентября 2022 года, вероятно, водолазами ВМС США при поддержке норвежских специалистов [14, 16, 22, 25]. Диверсия была исполнена за день до открытия норвежско-польской балтийской газовой трубы и немедленно прокомментирована министром обороны Польши (2005—2007), министром иностранных дел (2007—2014, 2023— по н.в.), спикером Сейма (2014—2015 гг.), гражданином Великобритании (до 2006 года) Радославом Томашем Сикорским: «Спасибо, США!» [20].

Хроника событий.

1) В ночь на 26 сентября 2022 года с береговой площадки Nord Stream 2 AG зафиксировали падение давления на одной из двух ниток «Северного потока — 2». Тогда же были оповещены береговые службы Германии, Дании, Швеции, Финляндии и России. В пресс-службе оператора газопровода уточнили, что ЧП произошло в исключительной экономической зоне Дании юго-восточнее острова Борнхольм. Вечером того же дня давление упало и на обеих нитках «Северного потока — 1». Датское энергетическое агентство сообщило, что в море попало большое количество газа. Шведские сейсмологи зарегистрировали 26 сентября два взрыва на маршрутах залегания трубопроводов.



Рис. 2. Укладка трубы газопровода «Северный поток», 2010—2012 гг. [12]

Fig. 2. Laying of the pipe of the Nord Stream gas pipeline, 2010—2012 [12]

2) 28 сентября 2022 г. Генпрокуратура России инициировала дело об акте международного терроризма. В тот же день в Германии предположили, что трубы газопровода могут навсегда стать непригодными для использования из-за ЧП.

3) 30 сентября 2022 г. Президент РФ Владимир Путин заявил, что взрыв был диверсией, направленной на уничтожение общеевропейской энергетической инфраструктуры [7].

4) Середина октября 2022 г. Европейские СМИ опубликовали сделанные под водой фотографии поврежденного газопровода. Спустя месяц после взрывов к осмотру места происшествия были допущены специалисты «Газпрома» и Nord Stream.

5) 18 ноября 2022 г. факт диверсии был подтвержден шведскими спецслужбами, на месте взрывов были найдены следы взрывчатки.

6) 8 февраля 2023 года американский журналист Сеймур Херш в статье со ссылкой на источник заявил, что взрывные устройства под газопроводами заложили в июне 2022 года под прикрытием учений Valtops водолазы ВМС США при поддержке норвежских специалистов. По сведениям Херша, решение о проведении операции принимал президент США Джо Байден по итогам девяти месяцев

обсуждений с представителями администрации, занимающимися вопросами национальной безопасности [22].

7) В пресс-службе Еврокомиссии назвали выводы расследования Херша «спекуляциями» и отказались их комментировать. Координатор по стратегическим коммуникациям в Совете национальной безопасности (СНБ) Белого дома Джон Кирби заявил, что в расследовании «нет ни крупинки правды», и заявил о непричастности США к взрывам [21].

8) 16 февраля 2023 г. замминистра иностранных дел РФ Сергей Рябков сообщил, что Россия не сомневается в ответственности США за ЧП на «Северных потоках».

9) 21 февраля 2023 г. по запросу России в Совете Безопасности ООН состоялось заседание по теме подрыва газопровода. Однако резолюций на нем принято не было.

10) 1—2 марта 2023 г. на встрече глав МИД стран G20 в Индии российская и китайская стороны добивались включения в итоговую декларацию параграфа по взрывам на «Северных потоках», однако эта инициатива была отклонена странами Запада.

11) 7 марта 2023 г. The New York Times со ссылкой на американских чиновников сообщила, что диверсию на газопроводах могла совершить

некая «проукраинская группировка», которая действовала без ведома властей США [19].

12) 8 марта 2023 г. в германском издании *Die Zeit* и двух других немецких новостных агентствах вышла публикация, в которой говорится, что германские следователи установили судно, которое использовали диверсанты. Нападение было совершено двумя водолазами с 15-метровой парусной яхты «Андромеда», принадлежащей украинцам и арендованной у польской компании. [23].

13) 8 марта 2023 г. британская газета *The Times* проинформировала, что европейским разведкам известно имя «частного спонсора» диверсий. Его личность не раскрывается спецслужбами, но речь идет о состоятельном украинце, который якобы не связан с президентом Владимиром Зеленским и его правительством [27].

14) 14 марта 2023 г. Россия распространила в Совете Безопасности и Генеральной Ассамблее ООН копию переписки с Германией, Данией и Швецией по расследованию диверсии на трубопроводах «Северный поток» и «Северный поток — 2». Об этом сообщил во вторник в Telegram-канале первый заместитель постоянного представителя РФ при ООН Дмитрий Полянский: «В рамках усилий по продвижению проекта резолюции СБ ООН по созданию под эгидой ООН международной комиссии по расследованию диверсии на «Северных потоках» мы распространили в качестве официального документа СБ и ГА ООН копию нашей переписки с Данией, Швецией и Германией по их соответствующим национальным расследованиям. Документы позволяют нашим коллегам в ООН убедиться, что утверждения об информировании нас этими странами о ходе их расследований не соответствуют действительности» [24].

Экологические последствия подрыва газопроводной системы «Северный поток»

Захороненное трофейное химическое оружие Третьего рейха

Европейские природоохранные службы и волонтерские «зеленые» движения, а также крупные международные «зеленые» организации: World Wildlife Fund, Greenpeace, Международный Зеленый Крест, BirdLife International и др. практически никак не комментируют и не изучают, как минимум публично, экологические последствия диверсии. Будучи объективными, отметим, что 25 ноября 2023 г активисты Greenpeace установили флаг мира на месте взрыва газопровода

«Северный поток» и взяли пробы воды и почвы. Информации о выполненных исследованиях образцов, метода их отбора и консервации — нет. Незамеченным в научной периодике прошел тот факт, что место диверсии — датские воды юго-восточнее острова Борнхольм (рис. 3). Акватория близ острова Борнхольм известна специалистам тем, что в 14 милях к востоку от о. Христиансе (недалеко от о. Борнхольм, 55°20' северной широты, 15°37' восточной долготы) затоплено около 30 тыс. тонн. снарядов, бомб и иных носителей химического оружия Третьего рейха (рис. 4). В 1991 г. Россия пошла на беспрецедентный шаг и рассекретила 27 документов, касающихся затопленного химического оружия. Великобритания и США, напротив, когда истек 50-летний срок секретности этих документов, продлили еще на 20 лет и так и не рассекретили [2]. Исходя из отчета, затопленное оружие содержит около 11 тыс. т активных боевых отравляющих веществ, в том числе, например, радиоактивный изотоп цезий-137, а также токсичные огнестойкие химические вещества (полибромированные дифениловые эфиры, тяжелые металлы — ртуть, кадмий и свинец) [6]. Скорость коррозии оболочек боеприпасов в балтийской воде составляет около 0,1—0,15 мм/год. Толщина оболочек в среднем 5—6 мм. За 74 года пребывания оснащенные ОВ (отравляющими веществами) боеприпасы корродировали, образовав зону насыщенных ОВ илов и иных донных отложений, перекрытых впоследствии инертными илами. Одновременный выброс больших количеств ОВ может произойти в любой момент, когда в трюмах судов верхние слои снарядов продавят своей массой проржавевшие оболочки лежащих под ними. Однако детонация взрывных устройств, установленных диверсантами на ветках трубопроводов, сопровождаемая гигантским выбросом природного газа, находящегося под давлением, нарушила донные отложения и перевела ОВ в токсичное для биоты состояние, дополнительно обеспечив движение облака ядовитых илов в соответствии с картой донных течений.

Возможность оценить ущерб нанесенной флоре и фауне Балтийского моря в районе акватории подрыва и далее блокирована категорическим запретом со стороны Королевства Дания проводить какие-либо исследования. Оценочно, без проведения натурных исследований, мы можем предположить, что в течение короткого промежутка времени ртуть, кадмий и свинец, используемые как компоненты химического оружия, вновь будут связаны с донными илами



Рис. 3. Места подрыва газопроводной системы «Северный поток» [1]
 Fig. 3. Places of explosion of the Nord Stream gas pipeline system [1]

в виде малоподвижных и безопасных для биоты соединений. Органические отравляющие вещества, такие как табун, фосген, по своей природе нестабильны при попадании в окружающую среду и утратили свой активный, боевой отравляющий потенциал. Гели иприта, твердые мышьяковистые поражающие средства вполне могут представлять на локальных участках акватории опасность до повторного связывания иловыми отложениями. Одновременно выяснилось, что глубоководные акватории близ острова Борнхольм использовались для нелегального захоронения твердых отходов производства и потребления, а также веществ, используемых для защиты корпусов кораблей, в которых, например, доля свинца составляет 75% от общего вклада токсичности смеси, затем кадмий, мышьяк и медь. Такие вещества европейский классификатор рассматривает как мощный

эндокринный разрушитель как для человека, так и животных [17].

Воздействие гидродинамического удара и метана на биоту Балтийского моря

«Первоначальные расчеты Датского энергетического агентства показывают, что утечки из газопроводов «Северный поток» и «Северный поток — 2» в худшем случае приведут к выбросу примерно 778 млн стандартных кубометров природного газа. Объем утечки газа составляет примерно 14,6 млн тонн выбросов CO_2 -эквивалента (CO_2e). Для сравнения, выбросы CO_2 -эквивалента в Дании в 2020 году составили примерно 45 миллионов тонн CO_2 -эквивалента. Таким образом, влияние утечек на климат соответствует 32 процентам выбросов парниковых газов в Дании в 2020 году» [26].

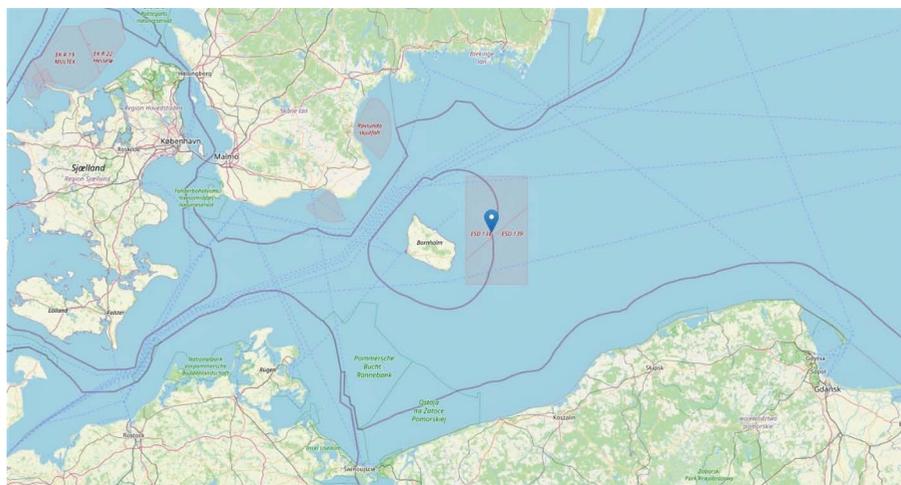


Рис. 4. Площадь сброса химического оружия Германии с 22.06 по 01.08.1947 г., затоплено около 30 тыс. тонн
Fig. 4. The area of dumping of chemical weapons in Germany from 22.06 to 01.08.1947, about 30 thousand tons were flooded

Метан, вопреки ряду научных заблуждений, не является токсикантом для рыб и малоподвижного бентоса. В естественных условиях в акватории метан образуется в результате разложения органических веществ, и контролю за выделением метана луговой донной растительностью посвящены многие публикации [15, 18]. В случае массивного и протяженного выброса природного газа системы «Северный поток» биота гибла не от метана, а задыхалась при отсутствии кислорода. Ущерб привел не только к замору рыб, но и к гибели особей охраняемой популяции млекопитающих Балтийского моря: морской свиньи (*Phocoena phocoena*), серого тюленя (*Halichoerus grypus macrorhynchus*/Baltic grey seal), кольчатой нерпы (*Pusa hispida*) и обыкновенного тюленя (*Phoca vitulina*).

Часть животных и рыбы погибла в результате действия взрывных волн. Рассчитать зону гидродинамического поражения и объем воздействия при отсутствии информации не представляется возможным.

Как уже было отмечено выше, сильнозагрязненные отложения площадок захоронения химического оружия, отходов, веществ, используемых для защиты корпусов кораблей, были приведены в состояние взвеси и, несомненно, оказали губительное, но ограниченное по времени воздействие на биоту Балтийского моря в местах подрыва.

Поскольку акватория близ острова Борнхольм является важным местом нереста и нагула популяции восточно-балтийской трески (*Gadus morhua*), а диверсионный акт произошел в конце сезона нереста трески, можем ожидать ухудшения промысла

и снижения численности популяции *Gadus morhua* (рис. 5).

В Балтийском море вылавливают около 1 млн т рыбы и морепродуктов в год, в Северном — еще 1,5 млн т. Средний европеец потребляет около 10 кг рыбы в год. Таким образом, за год более 250 миллионов человек рискуют получить отравляющие вещества в качестве приправы к морепродуктам.

Инструментальный контроль никому не нужен. Да и кто из производителей рыбной продукции добровольно согласится прикрыть свой бизнес? В случае возникновения паники и обвала рыбного рынка и индустрии отдыха и развлечений в прибрежных районах суммарный ущерб заинтересованных стран может составить 12—15 млрд долл. США в год. (Чтобы представить себе масштабы потерь, достаточно вспомнить историю с английской «бешеной» говядиной. Ущерб экономике Великобритании от этого скандала составил за 4 месяца более 2,5 млрд фунтов стерлингов. Еще больше она потеряла из-за срыва контрактов с отложенными по времени поставками.)

Региональные и локальные нефтепродуктопроводы и газопроводы акватории Балтийского моря

В акватории Балтийского моря проложено значительное количество региональных и локальных нефтепродуктопроводов и газопроводов. Публичная информация о размещении и воздействии на окружающую среду, в том числе чрезвычайные ситуации, отсутствует, что подчеркивает двойные принципы применимости экологических

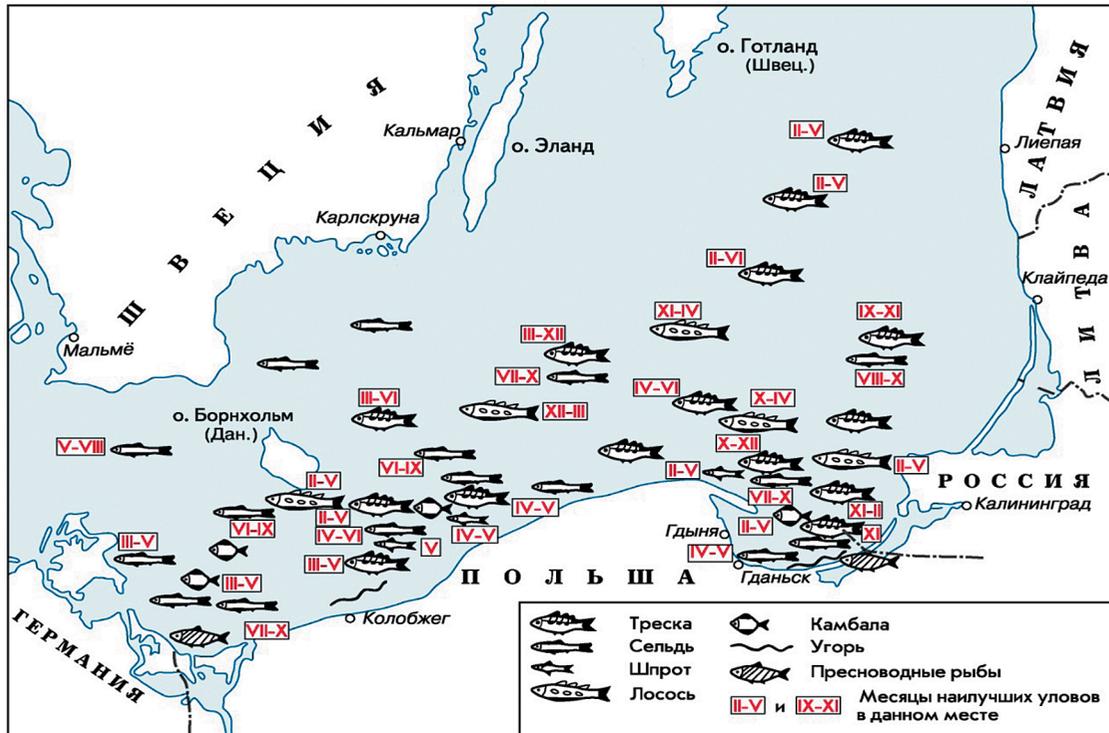


Рис. 5. Рыболовный промысел в Южной Балтии [8]

Fig. 5. Fishing in the southern Baltic States [8]

стандартов и информирования граждан, в том числе на территории стран Балтийского бассейна. Последний из них — газопровод Baltic Pipe, перегоняющий природный газ с норвежского шельфа в Польшу, построенный с многочисленными нарушениями нормативов стран ЕС в области охраны окружающей среды и получивший право на работу только после подрыва газопроводной системы «Северный поток», однако он не является предметом рассмотрения данной работы.

На рисунке 6 представлена карта трубопроводов Балтийского моря. С целью повышения уровня экологической безопасности подводных трубопроводов трубы заглубляют, укладывают в траншеи в опасных мелководных местах дна Балтийского моря. Для обеспечения устойчивости положения газопровода от всплытия предусматривается балластировка утяжелителями охватывающего типа. В случае укладки трубопроводов с заглублением в грунт траншея роется в рыхлых грунтах и образуется большое количество суспензии. Суспензия — негативное воздействие на биоту, наносит ущерб районам нереста рыб, крупным морским млекопитающим и другим водным организмам.

Суспензии замедляют процессы фотосинтеза, в результате снижается биопродуктивность

акватории вплоть до массовых заморов, загрязняются жабры рыб. Очевидно, что это напрямую влияет на количество и качество водных ресурсов, морских биологических ресурсов, добыча которых ведется в территориальных водах РФ в Калининградской области. Вероятность взрыво- и пожароопасности на участках подводных трубопроводов гораздо ниже, чем у сухопутных. Обосновывается это различием концентраций кислорода в атмосфере и гидросфере. Но в случае возникновения утечек углеводородов даже инертное вещество — природный газ поднимается вверх в виде двухфазной струи, в результате чего атмосфера над аварийным участком загрязняется ядовитыми соединениями. В дальнейшем эти массы переносятся ветром преимущественно на территорию РФ (рис. 7).

В случае утечек нефти на нефтепроводах, даже в столь отдаленном от России регионе, как акватория между Данией и Швецией, поллютанты, попадая в водное пространство, мигрируют на сотни километров. Анализ гидрологии Балтийского моря показывает уязвимость акватории РФ для негативного воздействия. Интерес для нашего исследования представляет схема выявленных углеводородных загрязнений акватории Балтийского моря в 2015 году,



Рис. 6. Карта трубопроводов Балтийского моря (по материалам: Save Pipeline & Gas Journals)
 Fig. 6. Map of the Baltic Sea pipelines (based on materials from: Save Pipeline & Gas Journal)

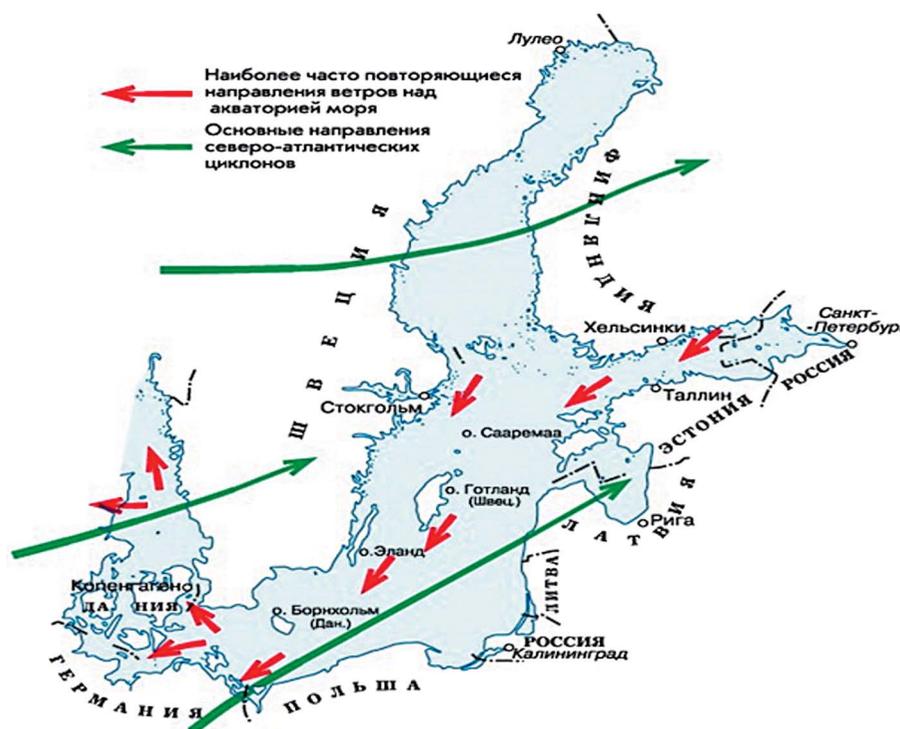


Рис. 7. Атмосферные переносы в Балтийском море [8]
 Fig. 7. Atmospheric transport in the Baltic Sea [8]

опубликованная ХЕЛКОМ. Другие материалы, 2016—2019 гг., ХЕЛКОМ не публикует [10]. Схема на рисунке 8 наглядно демонстрирует отсутствие загрязнения акватории Балтийского бассейна со стороны Российской Федерации и, напротив, демонстрирует шесть основных бассейновых

загрязнителей: Эстонию, Финляндию, Швецию, Польшу, Германию и Данию.

Проложенные региональные и локальные нефте- и газопроводы препятствуют миграции подвижных бентосных организмов, если трубопровод залегает близко к поверхности или на поверхности

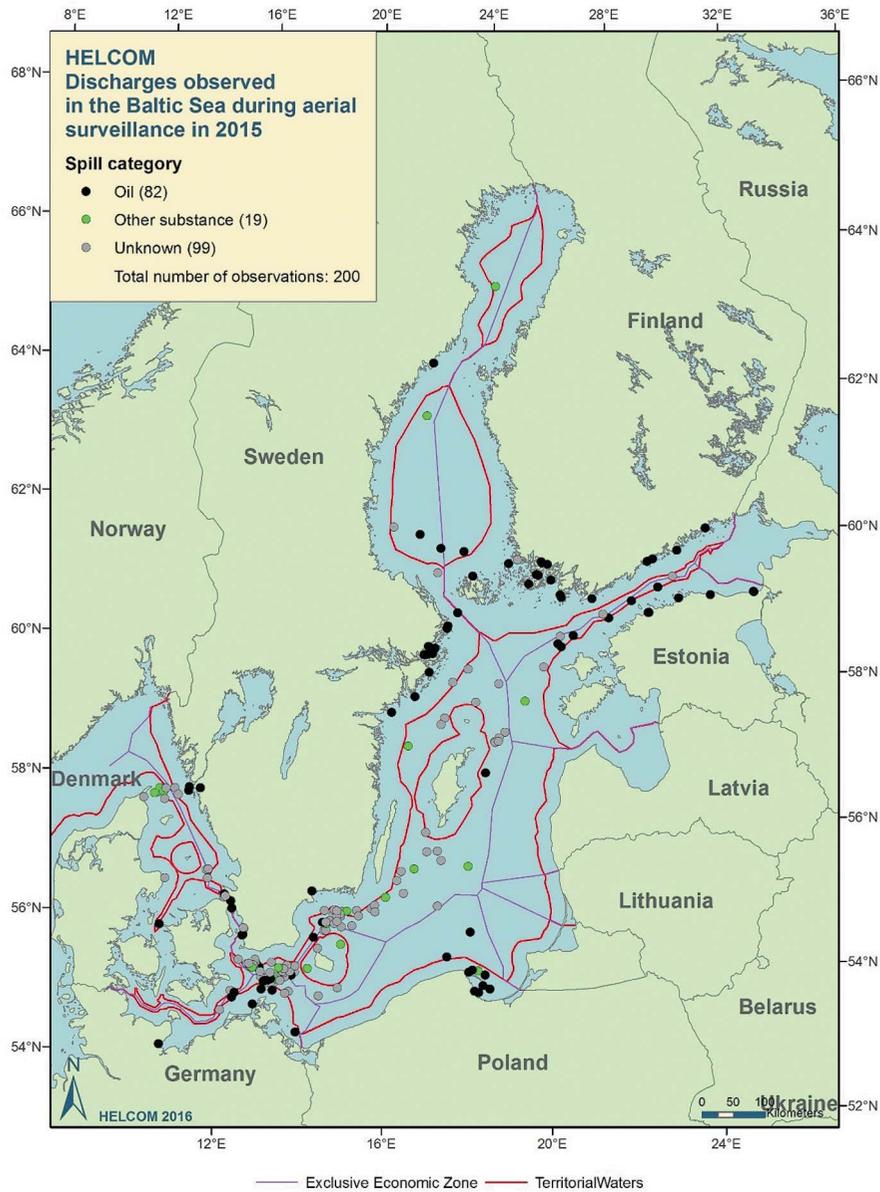


Рис. 8. Данные воздушного наблюдения за загрязнением Балтийской акватории с 1988 по 2015 год [4]

Fig. 8. Data from aerial monitoring of pollution in the Baltic Sea area from 1988 to 2015 [4]

дна водоема. В результате в одних донных районах наблюдается аномальный рост популяции организмов, которые вытесняют из ареала обитания традиционный бентос. А по другую сторону трубы, напротив, наблюдается рост численности других форм бентосных организмов.

Трубопроводы изменяют состав донных биоценозов за счет обрастания, при условии что залегают на поверхности шельфового дна. Наблюдается массовое воздействие биологической эрозии на трубопроводы. Целостность металла нарушается икратно возрастает риск возникновения

утечек продуктов из-за ослабленных деформированных участков трубы.

Для предотвращения коррозии и биологической эрозии трубы обрабатывают антикоррозионными покрытиями, которые состоят из токсичных соединений, способных к биоаккумуляции. По трофическим цепям поллютанты попадают в организмы промысловых видов, которые обитают в том числе и в акватории РФ и закрепленных за РФ участках морского рыболовства.

Трубопроводы изменяют морфологию и распределение придонных осадков за счет физического

присутствия труб и траншей. Этот процесс может негативно сказаться на морском судоходстве. Донные осадки начинают аккумулироваться вдоль линии трубопровода в форме линейно вытянутых гряд, которые затрудняют техническую эксплуатацию объекта, меняют направления подводных течений и представляют угрозу для судов большого водоизмещения.

Строительство и эксплуатация трубопроводов оказывают шумовое, термическое и электромагнитное воздействие на окружающую среду. Происходит резкое нарушение естественного баланса в экосистемах. Наиболее известен ущерб природе, наносимый шумовым загрязнением, — многочисленные случаи, когда дельфины и киты выбрасывались на берег, теряя ориентацию из-за громких звуков.

Заключение

Терроризм развивается, появляются его новые типы. Наряду с традиционными ценностями — общественной безопасностью, жизнью и здоровьем людей — опасности подвергаются новые объекты уголовно-правовой охраны. Серьезную угрозу представляет сегодня экологический терроризм (экоотерроризм) — терроризм посредством причинения вреда окружающей среде.

На основании проведенного анализа процессов техногенного влияния в акватории Балтийского моря можно сделать вывод о возникновении базовых нарушений в трофических цепях, что, в конечном счете, отражается на морской биоте, включая высшие виды.

Поллютанты, возникшие в результате эксплуатации, диверсий и аварийных ситуаций на объектах трубопроводного транспорта, находясь в водной среде Балтийского моря, течениями переносятся в территориальные и промысловые воды РФ, туда, где обитают наиболее чувствительные к внешним воздействиям виды живых организмов.

В зоне влияния на территориальные воды России произошло значительное количество техногенных чрезвычайных ситуаций, нанесших ущерб качеству окружающей среды и здоровью граждан РФ.

Диверсия стран НАТО, организовавших экологическую катастрофу, взорвав крупнейшую в мире подводную газотранспортную систему

на площади размещения полигона захоронения химического оружия, может и должна рассматриваться как экотеррористический акт.

Несмотря на высокую степень общественной опасности экотерроризма, на сегодня его понятие и содержательные признаки на законодательном уровне не отражены, а экологические теракты не имеют в отечественном уголовном законе самостоятельного уголовно-правового запрета.

Как видно, назрела необходимость внесения изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ и предложений по внесению специальных уголовно-правовых мер противодействия экотерроризму с учетом его особых характеристик в Уголовный Кодекс РФ.

Экологический терроризм требует намного большего внимания, чем ему уделяется сегодня, так как это серьезная угроза экологической безопасности как составляющей региональной, национальной и международной безопасности.

В течение последних 27 лет полномочными органами РФ не было подано ни одного иска к государствам, юридическим лицам, нанесшим прямой или косвенный ущерб природным ресурсам и качеству жизни граждан нашей страны. Такая работа не ведется и не велась. Необходимо создание и внедрение нормативно-правовых требований по компенсации ущерба окружающей среде, методов с целью возмещения вреда, причиняемого имуществу РФ и граждан России вредными выбросами сопредельных государств, и не в международных, а в российских судах в соответствии с российским законодательством.

Применение такого подхода РФ улучшит показатели качества жизни граждан нашей страны, исполнимость решений российских судов в иностранных государствах, создаст условия для формирования положительной судебной практики взыскания ущерба, причиненного иностранными организациями окружающей природной среде на территории РФ.

Внедрение такого рода практики позволит монетарно, вещественно компенсировать ущерб, нанесенный окружающей среде и здоровью граждан РФ за счет находящихся в иностранной юрисдикции организаций, нанесших вред биосферным ресурсам РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аварии на «Северных потоках». Где повреждены газопроводы «Северный поток» и «Северный поток-2». Инфографика. Коммерсантъ, 27.09.2022, URL: https://www.kommersant.ru/doc/5582556?from=doc_vrez (дата обращения: 04.08.2023).
2. Борисов Т.Н. Апокалипсис в масштабах Европы // Экология и жизнь. 2002. № 1. С. 48—51.

3. Григорян А. Целостность газопроводов под давлением: некоторые уроки научно-технического сотрудничества ENGIE и ПАО «Газпром» // Газотранспортные системы: настоящее и будущее: тезисы докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. GTS-2015, Москва, 28–29 октября 2015 года. М.: ООО «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий — Газпром ВНИИГАЗ», 2015. С. 12. EDN UWFRVO.
4. Данные воздушного наблюдения за загрязнением Балтийской акватории с 1988 по 2015 год. ХЕЛКОМ. URL: http://www.helcom.fi/news/PublishingImages/Pages/Detected-oil-spills-in-the-Baltic-Sea-reach-all-time-low/Map_Discharges%20observed.jpg (дата обращения: 12.12.2021).
5. Жизнин С.З., Тимохов В.М. Экономические и геополитические аспекты «Северного потока — 2» // Балтийский регион. 2019. Т. 11, № 3. С. 25—42. <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2019-3-2>.
6. Комплексный анализ опасности затопленного трофейного немецкого химического оружия в послевоенный период в Балтийском море. Отчет по НИР. Москва, в/ч 64518. 1992 г. 183 с.
7. Расследование утечек газа из «Северных потоков». Что известно о газопроводах «Северный поток» и об их подрыве, 14 марта. URL: <https://tass.ru/info/17258101> (дата обращения: 04.08.2023).
8. Ресурс «География». Статьи. URL: www.geographyofrussia.com (дата обращения: 04.08.2023).
9. Сердюков С.Г. Северный поток»: бенчмарк трубопроводной индустрии // Деловой журнал Neftgaz. RU. 2015. № 5(41). С. 54—60.
10. Схема выявленных углеводородных загрязнений акватории Балтийского моря в 2015 году. ХЕЛКОМ. URL: <http://www.helcom.fi/news/Pages/Detected-oil-spills-in-the-Baltic-Sea-reach-all-time-low.aspx> (дата обращения: 12.12.2021).
11. «Северный поток». Газопровод, напрямую соединивший Россию и Европу. URL: <http://www.gazprom.ru/projects/nord-stream/> (дата обращения: 04.08.2023).
12. «Северный поток». Иллюстрация. URL: http://www.gazprom.ru/f/posts/04/069336/23-11-2016_nord-stream_2.jpg (дата обращения: 04.08.2023).
13. \$10 Billion and Totally Empty: The Engineering Behind Russia's Deadlocked Pipeline: Nord Stream 2'. Practical Engineering. 19 April 2022. URL: <https://practical.engineering/blog/2022/4/19/the-engineering-behind-russias-deadlocked-pipeline-nord-stream-2> (дата обращения: 04.08.2023).
14. 'Nord Stream probe "tailored" against Russia — Kremlin', Moscow Times, 18 October 2022. URL: <https://www.themoscowtimes.com/2022/10/18/nord-stream-probe-tailored-against-russia-kremlin-a79113/> (дата обращения: 04.08.2023).
15. Broclawik O., Łukawska-Matuszewska K., Brodecka-Goluch A., Bolałek J. Impact of methane occurrence on iron speciation in the sediments of the Gdansk Basin (Southern Baltic Sea) // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 721, 137718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137718>
16. Financial Times, Moscow blames 'state service' for Nord Stream blasts, 09.03.2023. URL: <https://www.ft.com/content/8867cab2-4d03-4862-84ef-892090191a74#post-93a7d5df-264a-49d9-9f36-eb8923605796> (дата обращения: 04.08.2023).
17. Hans Sanderson, Michał Czub, Sven Koschinski et al. (2023) "Environmental impact of sabotage of the Nord Stream pipelines," PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2564820/v1>. URL: <https://www.greencarcongress.com/2023/03/20230317-nordstream.html> (дата обращения: 04.08.2023).
18. Heyer J., Berger U. Methane Emission from the Coastal Area in the Southern Baltic Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2000. Vol. 51, issue 1. P. 13—30. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0616>.
19. Intelligence Suggests Pro-Ukrainian Group Sabotaged Pipelines, U.S. Officials Say, The New York Times, March 7, 2023. URL: <https://www.nytimes.com/2023/03/07/us/politics/nord-stream-pipeline-sabotage-ukraine.html> (дата обращения: 04.08.2023).
20. Pipes and Mirrors: the Nord Stream Explosions, 28.04.2023. URL: <https://icds.ee/en/pipes-and-mirrors-the-nord-stream-explosions/> (дата обращения: 04.08.2023).
21. Press Briefing by Press Secretary Karine Jean-Pierre and NSC Coordinator for Strategic Communications John Kirby, The White House, June 26, 2023. URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/press-briefings/2023/06/26/press-briefing-by-press-secretary-karine-jean-pierre-and-nsc-coordinator-for-strategic-communications-john-kirby-17/> (дата обращения: 04.08.2023).
22. Hersh S. How America Took Out The Nord Stream Pipeline. The New York Times called it a "mystery," but the United States executed a covert sea operation that was kept secret—until now, 08.02. 2023. URL: <https://seymourhersh.substack.com/p/how-america-took-out-the-nord-stream?fbclid=IwAR3ZZxWq-4cYLCg3nwOpX4c8kO3RqIXOeMHCgkq4Orz9nvLkVp-CBNIAlkiNk> (дата обращения: 04.08.2023).
23. Six suspects, a yacht and new details', t-online, 8 March 2003. URL: https://www.t-online.de/nachrichten/ausland/internationale-politik/id_100140202/nord-stream-explosion-sechs-verdaechtige-eine-yacht-und-verraeterische-spuren-.html (дата обращения: 04.08.2023).
24. Telegram-канал первого заместителя постоянного представителя РФ при ООН Дмитрия Полянского, 14 марта 2023 г. URL: https://t.me/dpol_un/488 (дата обращения: 04.08.2023).
25. The draft resolution calling for an investigation was submitted on 22 February and, supported only by Brazil and China, was voted down on 27 March. Karen DeYoung, 'Russia, blaming US sabotage,

calls for UN probe of Nord Stream', Washington Post, 22 February 2023. URL: <https://www.washingtonpost.com/national-security/2023/02/22/russia-un-nord-stream-hersh-investigation/> (дата обращения: 04.08.2023).

26. The possible climate effect of the gas leaks from the Nord Stream 1 and Nord Stream 2 pipelines, Danish Energy Agency, 29.9.2022. URL: <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/>

the-possible-climate-effect-of-the-gas-leaks-from-the-nord-stream-1-and-nord-stream-2-pipelines?&publisherId=13560521&releaseId=13660965 (дата обращения: 04.08.2023).

27. West kept quiet about Nord Stream attack to protect Ukraine, The Times, 08.03.2023. URL: <https://www.thetimes.co.uk/article/west-nato-nord-stream-attacks-protect-ukraine-qsrqxvssw> (дата обращения: 04.08.2023).

REFERENCES

1. Accidents on the “Nord Streams”. Where the Nord Stream and Nord Stream-2 gas pipelines are damaged. Kommersant, 27.09.2022. Available from: https://www.kommersant.ru/doc/5582556?from=doc_vrez (last accessed: 04.08.2023) (In Russian).
2. Borisov T.N. The Apocalypse on a European scale // Ecology and life. 2002. No. 1. P. 48—51 (In Russian).
3. Grigoryan A. Integrity of pressurized gas pipelines: some lessons of scientific and technical cooperation between ENGE and Gazprom PJSC // Gas transportation systems: present and future: Abstracts of the sixth International Scientific and Technical Conference conf. GTS-2015, Moscow, October 28-29, 2015. Moscow: OOO Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies — Gazprom VNIIGAZ. 2015. P. 12. EDN UWFRVO (In Russian).
4. 4. Data from aerial monitoring of pollution in the Baltic Sea area from 1988 to 2015. HELKOM. Available from: http://www.helcom.fi/news/PublishingImages/Pages/Detected-oil-spills-in-the-Baltic-Sea-reach-all-time-low/Map_Discharges%20observed.jpg (last accessed: 12.12.2021) (In Russian).
5. ZHiznin S.Z., Timohov V.M. Economic and geopolitical aspects of “Nord stream-2” // The Baltic Region. 2019. T. 11, iss. 3. P. 25—42 (In Russian). <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2019-3-2>.
6. A comprehensive analysis of the danger of submerged captured German chemical weapons in the post-war period in the Baltic Sea. Research Report. Moscow, military unit 64518. 1992. 183 p. (In Russian).
7. Investigation of gas leaks from Nord Streams What is known about the Nord Stream gas pipelines and their undermining. 14 March. Available from: <https://tass.ru/info/17258101> (last accessed: 04.08.2023) (In Russian).
8. The Geography resource. Articles. Available from: www.geographyofrussia.com (last accessed: 04.08.2023) (In Russian).
9. Serdyukov S.G. Nord Stream: the benchmark of the pipeline industry // Business Magazine Neftegaz.RU. 2015. No. 5(41). P. 54—60 (In Russian).
10. The scheme of detected hydrocarbon pollution of the Baltic Sea in 2015. HELKOM, Available from: <http://www.helcom.fi/news/Pages/Detected-oil-spills-in-the-Baltic-Sea-reach-all-time-low.aspx> (last accessed: 12.12.2021).
11. Nord Stream. A gas pipeline directly connecting Russia and Europe. Available from: URL: <http://www.gazprom.ru/projects/nord-stream/> (last accessed: 04.08.2023) (In Russian).
12. Nord Stream. Illustration. Available from: http://www.gazprom.ru/f/posts/04/069336/23-11-2016_nord_stream_2.jpg (last accessed: 04.08.2023) (In Russian).
13. \$10 Billion and Totally Empty: The Engineering Behind Russia’s Deadlocked Pipeline: Nord Stream 2’. Practical Engineering. 19 April 2022. URL: <https://practical.engineering/blog/2022/4/19/the-engineering-behind-russias-deadlocked-pipeline-nord-stream-2> (last accessed: 04.08.2023).
14. ‘Nord Stream probe “tailored” against Russia — Kremlin’, Moscow Times, 18 October 2022. URL: <https://www.themoscowtimes.com/2022/10/18/nord-stream-probe-tailored-against-russia-kremlin-a79113/> (last accessed: 04.08.2023).
15. Brocławik O., Łukawska-Matuszewska K., Brodecka-Goluch A., Bolałek J. Impact of methane occurrence on iron speciation in the sediments of the Gdansk Basin (Southern Baltic Sea) // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 721, 137718. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137718>
16. Financial Times, Moscow blames ‘state service’ for Nord Stream blasts, 09.03.2023. URL: <https://www.ft.com/content/8867cab2-4d03-4862-84ef-892090191a74#post-93a7d5df-264a-49d9-9f36-eb8923605796> (last accessed: 04.08.2023).
17. Hans Sanderson, Michał Czub, Sven Koschinski et al. (2023) “Environmental impact of sabotage of the Nord Stream pipelines,” PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2564820/v1>. URL: <https://www.greencarcongress.com/2023/03/20230317-nordstream.html> (last accessed: 04.08.2023).
18. Heyer J., Berger U. Methane Emission from the Coastal Area in the Southern Baltic Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2000. Vol. 51, issue 1. P. 13—30. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0616>.
19. Intelligence Suggests Pro-Ukrainian Group Sabotaged Pipelines, U.S. Officials Say, The New York Times, March 7, 2023. URL: <https://www.nytimes.com/2023/03/07/us/politics/nord-stream-pipeline-sabotage-ukraine.html> (last accessed: 04.08.2023).

20. Pipes and Mirrors: the Nord Stream Explosions, 28.04.2023. URL: <https://icds.ee/en/pipes-and-mirrors-the-nord-stream-explosions/> (last accessed: 04.08.2023).
21. Press Briefing by Press Secretary Karine Jean-Pierre and NSC Coordinator for Strategic Communications John Kirby, The White House, June 26, 2023. URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/press-briefings/2023/06/26/press-briefing-by-press-secretary-karine-jean-pierre-and-nsc-coordinator-for-strategic-communications-john-kirby-17/> (last accessed: 04.08.2023).
22. Hersh S. How America Took Out The Nord Stream Pipeline. The New York Times called it a “mystery,” but the United States executed a covert sea operation that was kept secret—until now, 08.02. 2023. URL: <https://seymourhersh.substack.com/p/how-america-took-out-the-nord-stream?fbclid=IwAR3ZZxWq-4cYLCg3nwOpX4c8k03RqIXOeMHCgkq4Orz9nvLkVPCBNiALkiNk> (last accessed: 04.08.2023).
23. Six suspects, a yacht and new details', t-online, 8 March 2003. URL: https://www.t-online.de/nachrichten/ausland/internationale-politik/id_100140202/nord-stream-explosion-sechs-verdaechtige-eine-yacht-und-verraeterische-spuren-.html (last accessed: 04.08.2023).
24. Telegram-канал первого заместителя постоянного представителя РФ при ООН Дмитрия Полянского, 14 марта 2023 г. URL: https://t.me/dpol_un/488 (last accessed: 04.08.2023).
25. The draft resolution calling for an investigation was submitted on 22 February and, supported only by Brazil and China, was voted down on 27 March. Karen DeYoung, ‘Russia, blaming US sabotage, calls for UN probe of Nord Stream’, Washington Post, 22 February 2023. URL: <https://www.washingtonpost.com/national-security/2023/02/22/russia-un-nord-stream-hersh-investigation/> (last accessed: 04.08.2023).
26. The possible climate effect of the gas leaks from the Nord Stream 1 and Nord Stream 2 pipelines, Danish Energy Agency, 29.9.2022. URL: <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/the-possible-climate-effect-of-the-gas-leaks-from-the-nord-stream-1-and-nord-stream-2-pipelines?publisherId=13560521&releaseId=13660965> (last accessed: 04.08.2023).
27. West kept quiet about Nord Stream attack to protect Ukraine, The Times, 08.03.2023. URL: <https://www.thetimes.co.uk/article/west-nato-nord-stream-attacks-protect-ukraine-qsrqxvssw> (last accessed: 04.08.2023).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

Yury A. Lobanov — 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.

Sergey P. Yakutseni — 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.

Elena A. Esina — 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

Лобанов Юрий Анатольевич — проректор по общим вопросам и безопасности ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: lobanovua@mgri.ru

Yury A. Lobanov — Vice-Rector for General Affairs and Security of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: lobanovua@mgri.ru

Якуцени Сергей Павлович* — кандидат геолого-минералогических наук, начальник Управления фундаментальных и прикладных научных исследований ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: spyakutseni@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>
SPIN-код: 7899-7933

Есина Елена Александровна — президент Общероссийского межотраслевого объединения работодателей в сфере охраны окружающей среды «РУСРЕЦИКЛИНГ», федеральный эксперт в научно-технической сфере Минобрнауки.

а/я 339, 18, корп. 1, Рублевское шоссе, Москва 121615, Россия
e-mail: eesina@mail.ru

Sergey P. Yakutseni* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Head of the Department of Fundamental and Applied Scientific Research of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: spyakutseni@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-3542>
SPIN-code: 7899-7933

Elena A. Esina — President of the All-Russian intersectoral association of employers in the field of environmental protection “RUSRECIKLING”, federal expert in the scientific and technical field of the Ministry of Education and Science.

18, building 1, PO Box 339, Rublevskoe highway, Moscow 121615, Russia
e-mail: eesina@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ГРИГОРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ МАШКОВЦЕВ

(К 80-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

11 марта 2024 г. исполнилось 80 лет со дня рождения выдающегося геолога, доктора геолого-минералогических наук, профессора, признанного лидера урановой геологии, заслуженного геолога Российской Федерации, выпускника МГРИ Григория Анатольевича Машковцева.

Григорий Анатольевич более 60 лет предан геологии. Он является создателем нового научного направления, отражающего эволюционно-геодинамические факторы формирования рудообразующих систем. Г.А. Машковцевым была разработана высокоэффективная технология оценки рудоносности и ураноносности крупных металлогенических зон, которая внедрена в мировую практику геологоразведочных работ.

Григорий Анатольевич обладает уникальными организаторскими способностями, более 20 лет трудился во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья имени М. Федоровского в должности заместителя директора, курируя научную работу. В период 1995—2021 гг. он являлся директором и генеральным директором ВИМС.

Григорий Анатольевич являлся одним из ведущих разработчиков «Стратегии развития мине-

рально-сырьевой базы Российской Федерации» и государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов». С 2021 года Г.А. Машковцев — научный руководитель ВИМС, передает свой бесценный геологический опыт молодым специалистам, с первого дня поступления их на работу помогает им в познании теории и практики геологоразведки.

В конце 2021 года Г.А. Машковцев на VII съезде Российского геологического общества был избран президентом РОСГЕО и использует свой авторитет в популяризации геологических знаний среди молодежи.

От всей души сердечно поздравляем Григория Анатольевича с 80-м днем рождения. Искренне желаем Вам крепкого здоровья, бодрости, такой же работоспособности, которая позволила Вам оставаться знатным кузнецом минерально-сырьевой базы страны XX—XXI веков.

*Кафедра геологии месторождений
полезных ископаемых
Геологоразведочный факультет МГРИ
Редколлегия журнала
Ректорат МГРИ*



НЕВОСПОЛНИМАЯ УТРАТА

12 февраля 2024 г. на 104-м году жизни после продолжительной болезни скончался Валентин Михайлович Григорьев — профессор МГРИ, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный геолог Российской Федерации, почетный академик Международной академии минеральных ресурсов, лауреат премии Совета Министров СССР, ветеран Великой Отечественной войны.

Валентин Михайлович родился в Баку 5 июня 1920 г. Учился в средней школе в Касимове, Ишиме, Новосибирске. В 1937 году поступил в Московский геологоразведочный институт, вел работу в должности секретаря комсомольской организации, с 1939 года — кандидат в члены ВКП(б), с 1941 года — член партии. Войну застал в Армении на преддипломной практике, на медно-молибденовых месторождениях Каджарана. В той же полевой партии с ним работал коллектор поэт Павел Коган.

В этом же году Валентин Михайлович возвращается в Москву, где в октябре 1941 года с отличием оканчивает геологоразведочный факультет МГРИ, а уже 16 октября добровольцем вступает в ряды 3-й Московской коммунистической стрелковой дивизии. Воевал в звании младшего политрука

и комиссара разведбатальона 664-го стрелкового полка 130-й дивизии. Участвовал в оборонительных боях под Москвой и в наступлении по линии Химки — Солнечногорск, воевал на Северо-Западном, Западном, Ленинградском и 3-м Белорусском фронтах, был тяжело ранен. В 1942 году в должности политрука группы разведчиков совершил рейд в тыл врага, выводя десантников из Демянского котла, за что был награжден орденом Красного Знамени (1942). Осенью 1943 года участвовал в наступательных боях по освобождению Ельни и Смоленска, в июне 1944 года воевал на Карельском перешейке. За участие в освобождении Выборга был награжден орденом Красной Звезды (1944). В 1944 году служил в звании гвардии майора, был помощником начальника политотдела штаба 21-й армии. С 1944 года обучался на Высших курсах усовершенствования политсостава Красной Армии.

В 1946 году демобилизовался, далее работал начальником партии Карпатской экспедиции НИС МГРИ (1946—1949). В 1949—1958 годах преподавал на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ, в 1950 году защитил кандидатскую диссертацию, в 1968 году — докторскую. В 1958—1976 годах работал в Министерстве геологии СССР, Госплане СССР, ВИМС.

В 1976 году вернулся во МГРИ, работал заведующим кафедрой полезных ископаемых (1976—1994), далее в 1992—2001 годах был профессором той же кафедры, читал курс лекций «Геология месторождений полезных ископаемых».

Валентин Михайлович — соавтор учебников: «Геология и полезные ископаемые Африки», «Месторождения металлических полезных ископаемых» (1998), «Курс рудных месторождений» (1981, 1986). Автор и соавтор около 40 научных работ, в том числе 19 монографий, 7 учебников и 11 учебных пособий.

Награжден орденами Красного Знамени (1942), Красной Звезды (1944), медалями «За оборону Москвы» (1944), «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» (1945), орденом Отечественной войны II степени (1975), медалями ВДНХ, Почетной грамотой Федерального агентства по недропользованию.

Валентин Михайлович Григорьев является для всех нас примером служения Родине, науке, людям. Он навсегда останется в наших сердцах!

Скорбим, помним и соболезнуем всем родным и близким.

