

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

2020

Том 63, № 6
Vol. 63, #6

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

6

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

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 63, № 6
2020

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 6 раз в год

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 63, No. 6
2020

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

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

Лопатин Алексей Владимирович, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора

Куликов Владимир Владиславович, доктор технических наук, профессор, первый проректор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Кузнецов Николай Борисович, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

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

Малков Анатолий Валентинович, доктор технических наук, директор, ООО «Нарзан-гидроресурсы», г. Кисловодск, 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, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

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

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 Gävle, г. Евле, Швеция

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

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

Редакционный совет

Варламов Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, г. Москва, Россия

Гусев Павел Николаевич, главный редактор газеты «Московский комсомолец», 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

Спиридонов Игорь Геннадьевич, кандидат геолого-минералогических наук, директор, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, г. Москва, Россия

Трубецкой Климент Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз 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	200 экз.
Дата выхода в свет	21.02.2022
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2020
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

GEOLOGY AND EXPLORATION

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

Alexey V. Lopatin, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Biol.), Director, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Vladimir V. Kulikov, Dr. of Sci. (Engineering), First Vice-Rector, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

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

Editorial Board

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

Ma Baosong, PhD, Prof., Professor and research supervisor of doctoral students, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Anatoliy V. Malkov, Dr. of Sci. (Engineering), Director, Narzan-Gidroresursy Ltd., Kislovodsk, Russia

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

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

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

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

Ning Fulong, PhD, Prof., Professor and 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. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

Lev V. Eppelbaum, Dr. of Sci. (Geophys.), Professor, Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

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

Editorial Council

Alexey I. Varlamov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Scientific Adviser, All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia

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

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

Igor G. Spiridonov, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
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	200 copies
Publication date	21 February 2022
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

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 8 ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗЕ РЕЗУЛЬТАТА ПИРОЛИТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

ЛЕ ТХИ НЫТ СЫОНГ, А.В. БОНДАРЕВ, Л.И. БОНДАРЕВА, А.С. МОНАКОВА, А.В. БАРШИН

- 20 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В АКВАТОРИИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ**

Ю.В. ЩЕРБИНА, В.Ю. КЕРИМОВ, Н.А. КАСЬЯНОВА, В.К. АБДУЛЛАЕВА

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 35 ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ПРИВОДАМИ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОЙ И ГОРНОЙ ТЕХНИКИ**

М.Ю. КРЫЛКОВ, И.Н. ОЛИВЕТСКИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 46 ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ VIS-NIR-SWIR-СПЕКТРОСКОПИИ С ЦЕЛЬЮ КАРТИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ФЛАНГАХ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТОЛБОВОЕ (ВОСТОЧНОЕ ПРИСАЯНЬЕ)**

Е.Н. КАРМАНОВ, Н.В. ЛЕДЕНЕВА, В.А. РАССУЛОВ, А.В. ТОМАШЕВ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 58 СОЗДАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕТРОУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА**

Я.С. ГРИГОРЯН, И.О. БАЮК

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 66 ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА КАМАФОРИТОВ МАССИВА ТОМТОР**

Л.Н. БАРАНОВ, А.В. ТОЛСТОВ

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 77 ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА РУДНЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ ПОИСКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Е.М. НЕКРАСОВ

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 87 МЕХАНИЗМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

О.С. КОРОБОВА

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 95 ПОЛЕЗНОЕ ИЗДАНИЕ**

А.И. КУДРЯШОВ

ЮБИЛЕЙ

- 98 ВАЛЕНТИНУ МИХАЙЛОВИЧУ ГРИГОРЬЕВУ — 101 ГОД!**

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 8 APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN PREDICTING PYROLYTIC ANALYSIS RESULT**
LE THI NHUT SUONG, ALEXSANDR V. BONDAREV, LIANA I. BONDAREVA, ALEKSANDRA S. MONAKOVA, ANDREY V. BARSHIN
- 20 PROSPECTS OF HYDROCARBON EXPLORATION IN THE LAPTEV SEA BASIN**
YULIA V. SHCHERBINA, VAGIF Yu. KERIMOV, NATALIYA A. KAS'YANOVA, VALIDA K. ABDULLAYEVA

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 35 DIGITAL TRANSFORMATIONS IN DRIVE CONTROL TECHNOLOGY FOR EXPLORATION AND MINING EQUIPMENT**
MIKHAIL Yu. KRYLKOV, IVAN N. OLIVETSKIY

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 46 VIS-NIR-SWIR SPECTROSCOPIC MAPPING FOR CLASSIFICATION OF HYDROTHERMAL-METASOMATIC ALTERATIONS ON THE FLANKS OF THE STOLBOVOE URANIUM DEPOSIT (EASTERN CIS-SAYAN)**
EGOR N. KARMANOV, NADEZHDA V. LEDENEVA, VIKTOR A. RASSULOV, ALEXANDER V. TOMASHEV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 58 PETROELASTIC MODELING OF CARBONATE RESERVOIRS IN THE VIEW OF DIFFERENT VOID TYPES**
YANINA S. GRIGORYAN, IRINA O. BAYUK

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 66 TYPOMORPHIC FEATURES OF MAGNETITE FROM TOMTOR MASSIF CAMAPHORITES**
LEONID N. BARANOV, ALEXANDER V. TOLSTOV

USEFUL MINERALS, METHODS OF THEIR PROSPECTING AND EXPLORATION

- 77 PRINCIPLES GOVERNING THE SELECTION OF ORE REGIONS FOR GOLD DEPOSIT SEARCH**
EVGENIY M. NEKRASOV

ECONOMY OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS

- 87 MECHANISMS STIMULATING MINERAL RESOURCE WASTE MANAGEMENT**
OL'GA S. KOROBOVA

CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

- 95 USEFUL PUBLICATION**
ALEXEY I. KUDRYASHOV

ANNIVERSARY

- 98 VALENTIN MIKHAILOVICH GRIGOREV — 101 YEARS OLD!**



ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОГНОЗЕ РЕЗУЛЬТАТА ПИРОЛИТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

ЛЕ ТХИ НЫТ СЫОНГ, А.В. БОНДАРЕВ, Л.И. БОНДАРЕВА, А.С. МОНАКОВА*, А.В. БАРШИН

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Геохимические исследования органического вещества в нефтематеринских породах играют важную роль для оценки нефтегазонакопления на любой территории. Особенно важную роль эти исследования играют при прогнозе нетрадиционных ресурсов и запасов нефти и газа (т.н. сланцевые УВ). Пиролитические исследования по методу Rock-Eval для пород, насыщенных органическим веществом, рекомендовано проводить на образцах до и после экстракции их хлороформом. Однако экстракция — трудоемкий и длительный процесс, а нагрузка на лабораторное оборудование и время, необходимое для анализа, при этом удваивается.

Цель. Получить рабочую модель прогноза пиролитических параметров после экстракции образцов без проведения самой экстракции.

Материалы и методы. В этой работе алгоритмы регрессии машинного обучения применяются для прогнозирования одного из параметров пиролиза экстрагированных образцов на основе результатов пиролитического анализа экстрагированных и неэкстрагированных образцов. Для разработки модели прогнозирования были протестированы и сопоставлены 5 различных алгоритмов регрессии машинного обучения, включая множественную линейную регрессию, полиномиальную регрессию, опорную векторную регрессию, дерево решений и случайный лес.

Результаты. Результат прогнозирования демонстрирует, что взаимосвязь между параметрами до и после экстракции является сложной и нелинейной. Также была оценена производительность этих алгоритмов. Некоторые методы показали свою несовместимость с поставленными задачами, другие показали хорошие и удовлетворительные результаты. Аналогичные алгоритмы возможно применить для прогноза всех геохимических параметров образцов после экстракции.

Заключение. Наилучшим методом машинного обучения для данной задачи оказался метод случайного леса (Random forest).

Ключевые слова: машинное обучение, регрессия, Rock-Eval, пиролиз, кероген, нефтяные сланцы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: авторы выражают благодарность и глубокую признательность, к.г.-м.н., ведущему научному сотруднику Сколковского института науки и технологий (Сколтех) Елене Владимировне Козловой за проведение пиролитического анализа и ценные замечания при работе над данной статьей.

Для цитирования: Ле Тхи Ныт Сыонг, Бондарев А.В., Бондарева Л.И., Монакова А.С., Баршин А.В. Применение алгоритмов машинного обучения в прогнозе результата пиролитического анализа. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-8-19>

Статья поступила в редакцию 01.04.2021

Принята к публикации 18.01.2022

Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN PREDICTING PYROLYTIC ANALYSIS RESULT

LE THI NHUT SUONG, ALEXSANDR V. BONDAREV, LIANA I. BONDAREVA, ALEKSANDRA S. MONAKOVA*,
ANDREY V. BARSHIN

National University of Oil and Gas "Gubkin University"
65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia

ABSTRACT

Introduction. Geochemical studies of organic matter in oil source rocks play an important role in assessing oil and gas accumulation in any territory. These studies play a particularly important role in forecasting unconventional resources and oil and gas reserves (so-called shale hydrocarbons). It is recommended to carry out pyrolytic studies by the Rock-Eval method for rocks saturated with organic matter on samples before and after their extraction with chloroform. However, extraction is a laborious and time-consuming process, and the load on laboratory equipment and the time required for analysis is doubled.

Aim. To get a working model for predicting pyrolytic parameters of extracted samples, without carrying out extraction analysis.

Materials and methods. In this paper, machine learning regression algorithms are applied for predicting one of the pyrolysis parameters of extracted samples based on the pyrolytic analysis results of the extracted and non-extracted samples. To develop the prediction model, 5 different machine learning regression algorithms were applied and compared, including multiple linear regression, polynomial regression, support vector regression, decision tree, and random forest.

Results. The prediction result showcases that the relationship between the parameters before and after extraction is complex and non-linear. Some methods have shown their incompatibility with the assigned tasks, others have shown good and satisfactory results. Those algorithms can be applied to predict all geochemical parameters of extracted samples.

Conclusions. The best machine learning algorithm for this task is the Random forest.

Keywords: machine learning, regression, Rock-Eval, pyrolysis, kerogen, oil shale

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

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

Acknowledgments: the authors express their gratitude and deep gratitude to Elena Vladimirovna Kozlova, Ph.D., leading researcher at the Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), for the pyrolytic analysis and valuable comments while working on this article.

For citation: Le Thi Nhut Suong, Bondarev A.V., Bondareva L.I., Monakova A.S., Barshin A.V. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):8—19. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-8-19>

Manuscript received 01 April 2021

Accepted 18 January 2022

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Введение

Геохимические исследования ОБ в материнских породах (особенно экспресс-анализ — пироллиз Rock-Eval) на сегодня играют важную роль в прогнозе нефтегазоносности любой территории. Причем справедливо это как для относительно новых нефтегазоносных провинций и районов (с точки зрения оценки объемов генерации и историко-генетического метода прогноза), так и для уже изученных (для доразведки и прогноза нетрадиционных ресурсов УВ).

В отложениях, около $\frac{1}{3}$ матрицы которых занято органическим веществом, необходимо разделение генерирующего вещества и уже сгенерированных углеводородов. Хорошо показала себя методика разделения керогена и битумоида по сравнению результатов пиролитических исследований исходного порошка породы и экстрагированного органическим растворителем [1—3]. После экстракции мы получаем истинные параметры S_2 и T_{max} , водородного индекса, которые можно использовать как входные параметры для бассейнового моделирования. Экстракция проводится хлороформом в аппарате Сокслета до полного растворения битумоида (до 3 баллов свечения под люминесцентной лампой).

Экстракция представляет из себя трудоемкий и времязатратный процесс. Например, для пород баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции исчерпывающая экстракция продолжается месяц-полтора. Для этого нужно достаточное количество растворителя, кроме того, загруженность лабораторного оборудования возрастает в два раза. Прогноз параметров керогена после экстракции без проведения самой экстракции уменьшает затраты и время, необходимое для анализа. Описанная проблема является типичной для «машинного обучения» (“machine learning”). Раздел машинного обучения условно разделяется на задачи Классификации и Регрессии.

Задачей **классификации** является разбиение массива данных на блоки по схожести нескольких параметров (например, выделение пачек и подслоев в толще, в том числе продуктивных интервалов и/или интервалов повышенного содержания ОБ).

Задачей **регрессии** является числовой прогноз параметров, исходя из набора начальных данных. В рамках данной работы прогнозировался один, наиболее важный, по мнению авторов, параметр после экстракции — S_2 . Для прогноза нескольких параметров лучше

подойдут многослойные регрессионные модели нейронных сетей.

Исследования выполнены по более чем 300 образцам из трех скважин одного месторождения, расположенного в центральной части Западно-Сибирской провинции в пределах Фроловской впадины.

Данные представляют из себя результаты анализа Rock-Eval, одних и тех же образцов как до экстракции, так и после. Кроме того, имеются данные о молекулярном составе пород по разрезу скважин, однако использование этих данных не показало значительного увеличения точности моделей, более того, большинство методов показало худшие результаты сходимости. Авторы связывают это с несовпадением глубин взятия образцов на геохимический и молекулярный анализ. Иногда разница глубин достигала метра и более, что в условиях резкой анизотропии по вертикали приводит к отсутствию корреляции. А чувствительные к входному набору параметров регрессионные модели машинного обучения пересыщались маловажными входными параметрами, среди которых автоматическому алгоритму было трудно выявить весомые входные параметры (которых оказалось немного).

Входные параметры для обучения моделей представляют собой стандартный набор результатов анализа Rock-Eval, а именно:

- S_0 — количество свободных (газообразных) УВ (термическое испарение до 90 °C);
- S_1 — количество УВ — продуктов термического испарения до температуры 300 °C;
- S_2 — сумма УВ, 1) образованных в процессе крекинга керогена, также называется остаточным потенциалом — обозначает то количество УВ, которое может выделяться в процессе дальнейшего катагенеза исследуемых пород, и 2) продуктов термического испарения асфальтеновых компонентов.

Сумма пиков S_0 , S_1 , S_2 рассматривается как генетический потенциал породы;

- S_3 (S_3') — количество образованного в течение пироллиза углекислого газа CO_2 (CO), измеряется в $mgCO_2/g$ ($mgCO/g$) породы и дает представление о содержании кислорода в ОБ;

- S_4 (S_4') — количество образованного в процессе окисления углекислого газа CO_2 (CO);

- S_5 — количество образованного в процессе окисления углекислого газа CO_2 при высоких температурах, образованного из минерального углевода;

- T_{max} — температура, при которой образование УВ при термодеструкции (крекинге) керогена достигает максимального значения, °C.

По результатам измерений рассчитываются следующие параметры и коэффициенты:

- TOC — общее содержание органического углерода в породе (весовые %);
- HI (Hydrogen Index) — водородный индекс. Параметр, характеризующий генерационный потенциал ОБ;
- OI (Oxygen Index) — кислородный индекс;
- OSI (Oil Saturation Index) — индекс нефтенасыщенности;
- PI (Production Index) — индекс продуктивности.

Процесс анализа образцов происходит по следующей схеме (рис. 1.).

Для решения поставленных задач авторами статьи были опробованы следующие методы машинного обучения.

1. Multiple Linear Regression (Множественная линейная регрессия) [10, 11, 14, 20]

Множественная линейная регрессия (МЛР), также известная как множественная регрессия, — это статистический метод, который использует несколько независимых переменных для прогнозирования результирующей переменной. Цель такой регрессии — смоделировать линейную связь между независимыми переменными и ответной (зависимой) переменной.

По сути, множественная регрессия — это расширение обычной регрессии методом наименьших квадратов (МНК), которая включает более одной независимой переменной.

Формула множественной линейной регрессии:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip},$$

где y_i — зависимая переменная; x_i — объясняющая переменная; β_i — вес переменной (от англ. bias — смещение).

2. Polynomial Regression (Полиномиальная регрессия) [15, 21, 23]

Полиномиальная регрессия — это форма линейной регрессии, в которой связь между независимой переменной x и зависимой переменной y моделируется как полином n -й степени. Так же как и множественная линейная регрессия, полиномиальная регрессия определяет зависимость результирующей переменной от нескольких независимых переменных.

Формула полиномиальной регрессии:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2}^2 + \dots + \beta_n x_{in}^n,$$

где y_i — зависимая переменная; x_i — объясняющая переменная; β_i — вес переменной (от англ. bias — смещение).

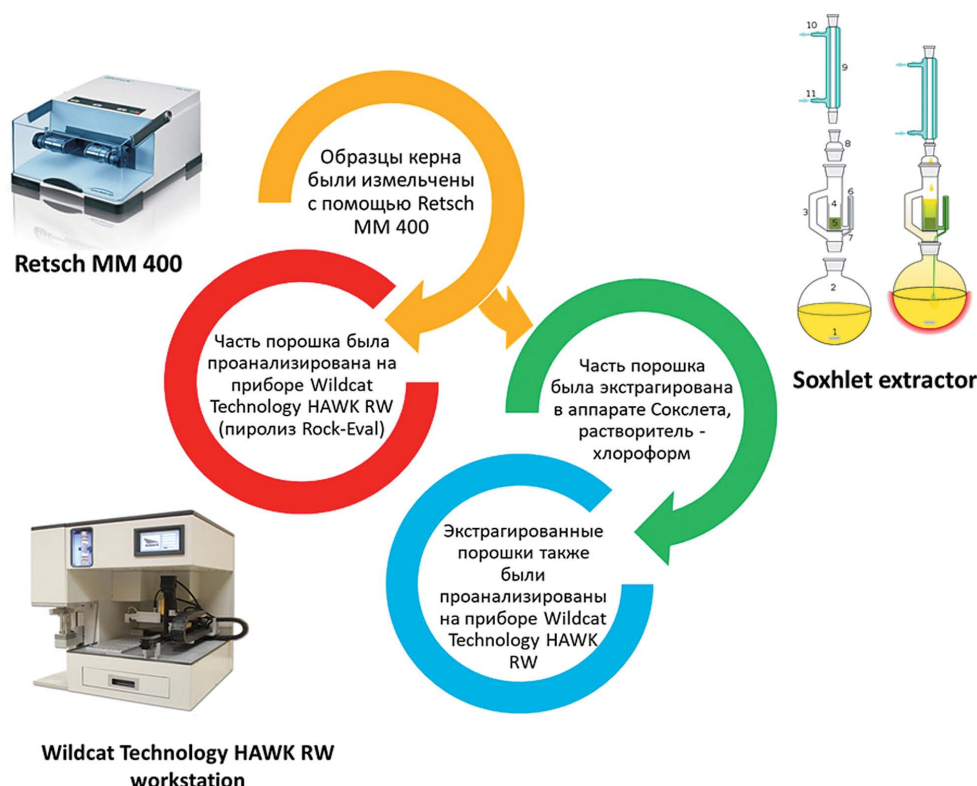


Рис. 1. Схема геохимического анализа образцов
 Fig. 1. Scheme of geochemical analysis of samples

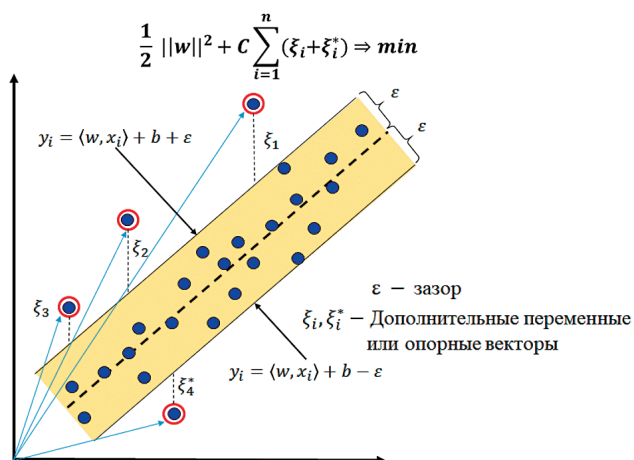


Рис. 2. Схема модели одномерной регрессии опорных векторов

Fig. 2. Schematic of a one-dimensional support vector regression model

3. Support vector regression (Опорная векторная регрессия) [7—9, 20]

Опорная векторная регрессия представляет собой метод анализа данных типа «обучение с учителем» (Supervised Learning), разработанный Вапником с коллегами в AT&T Bell Laboratories [8]. Суть метода заключается в том, что этот метод переводит исходные векторы в пространство более высокой размерности. И в этом пространстве он ищет разделяющую гиперплоскость с максимальным зазором. Чем больше разница

или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

4. Decision tree (Дерево решений) [5, 12, 13, 18]

Дерево решений — это модель машинного обучения с учителем, используемая для прогнозирования цели путем изучения правил принятия решений из их характеристик. Как следует из названия, мы можем думать об этой модели как о разбивке наших данных путем принятия решения, основанного на серии вопросов.

5. Random forest (Случайный лес) [4, 6, 16, 17, 19, 22, 24]

Случайный лес — это метод, который объединяет прогнозы из нескольких алгоритмов машинного обучения вместе, чтобы делать более точные прогнозы, чем любая отдельная модель. Алгоритм выдает множество прогнозов методами «дерева решений» и потом выводит среднее значение из всех. Забегая вперед, алгоритм случайного леса замечательно справляется со своей задачей, это — один из лучших алгоритмов по точности, но при этом он совершенно ничего не объясняет. То есть это такой черный ящик, который выдает хорошие прогнозы, но абсолютно не рассказывает о том, на чем основана на самом деле зависимость, без дополнительного скрупулезного анализа.

Как было указано выше, основной задачей экстракции (а значит, и машинного обучения) является истинное значение параметра S_2 , который характеризует количество продуктов крекинга

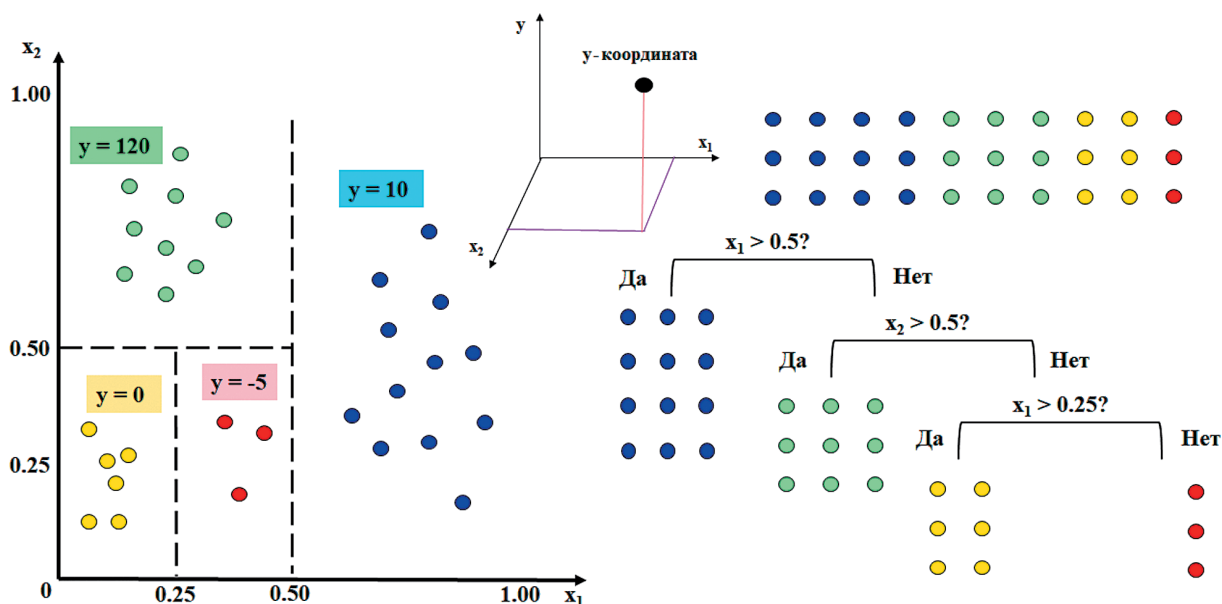


Рис. 3. Схема модели регрессии «дерево решений»

Fig. 3. Scheme of the regression model "decision tree"

керогена (нерастворимого органического вещества). Для создания перечисленных выше моделей использовалась скважина X2 (80% данных), а проверка моделей выполнялась как на скважинах X1, X3 так и по X2 (20% данных).

В итоге из описанных выше для создания и обучения модели были выбраны следующие параметры: $S_0, S_1, S_2, S_3, S_3', S_4, S_4', S_5, T_{\max}$. А параметры ТОС, НІ, ОІ, РІ, ОSІ, не использовались для обучения и проверки моделей регрессии как детерминированные от уже имеющихся параметров. Одним из условий использования перечисленных методов является независимость входных переменных.

Результаты прогноза каждого алгоритма оцениваются коэффициентом детерминации (R^2 — *R-квадрат*). Его рассматривают как универсальную меру зависимости одной случайной величины от множества других. Обычно он изменяется в пределах от 0 до 1. В случае если коэффициент детерминации отрицательный — это означает, что выбранная функция $y = f(i)$ описывает зависимость хуже, чем $y = y_{\text{ср}}$, т.е. использовать данную функцию (Модель регрессии) нельзя.

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS},$$

где R^2 = коэффициент детерминации; RSS = сумма квадратов откл. от среднего (residual sum of squares); TSS = общая сумма квадратов (total sum of squares).

Результаты

Сводная таблица коэффициента корреляции результатов с проверочным блоком данных приведена ниже (табл. 1).

Для прогноза параметров S2ex прежде всего была применена самая простая регрессия — множественная линейная регрессия. Несмотря на то что это простейший метод, он хорошо подходит для работы с нашим набором данных. Сопоставление результатов расчета модели

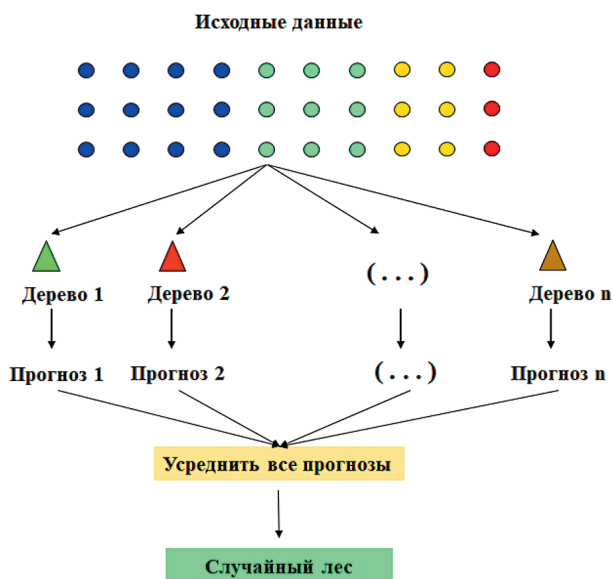


Рис. 4. Схема модели регрессии «случайного леса»
Fig. 4. Scheme of the “random forest” regression model

и фактически измеренных S2ex показано на рисунке 5.

Негативной стороной этого метода является то, что он характеризует данные как функцию, поэтому он может дать нам отрицательное значение параметра S2ex, чего быть не может. С новым набором данных, отличающихся от учебного набора, модель может дать нам прогноз, который сильно отличается от реальных значений. Примером может служить скважина X1, которая находится далеко от исходной скважины. В ней есть некоторые значения, которые сильно отличаются от фактических значений (от 75 до 115 мг разницы). И из-за нескольких этих точек оценка детерминации сильно снижается (R^2 скважины X1 равен -0.76). Благодаря этому мы также можем увидеть, насколько строго R^2 оценивает наши модели. Для улучшения модели нам нужно больше данных из разных регионов. Тем не менее этот метод

Таблица 1. Оценка результатов точности моделей регрессии
Table 1. Evaluation of the results of the accuracy of the regression models

Метод регрессии	Коэффициент детерминации R^2		
	X2 (обучающий)	Скважина X1	Скважина X3
Случайный лес	0,95	0,88	0,96
Опорная векторная регрессия	0,89	0,50	0,87
Дерево решений	0,90	0,77	0,91
Полиномиальная регрессия	-0,84	-15,54	0,03
Множественная линейная регрессия	0,96	-0,76	0,97

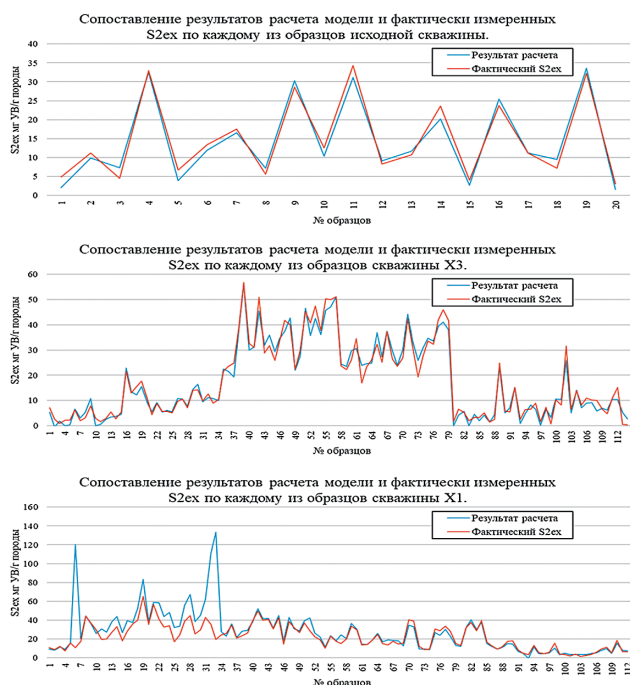


Рис. 5. Сопоставление результатов расчета модели и фактически измеренных S2ex методом множественной линейной регрессии

Fig. 5. Comparison of the results of the model calculation and actually measured S2ex by the method of multiple linear regression

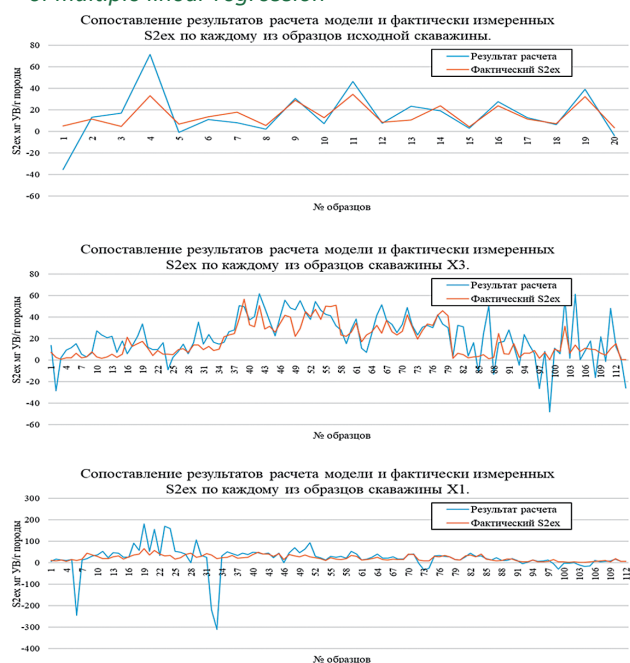


Рис. 6. Сопоставление результатов расчета модели и фактически измеренных S2ex методом полиномиальной регрессии

Fig. 6. Comparison of the results of the calculation of the model and actually measured S2ex by the method of polynomial regression

достойн прогнозирования значения S2ex соседних скважин, имеющих аналогичные характеристики разреза и фациальные условия.

Следующий алгоритм, который был применен, — полиномиальная регрессия. Этот метод дает нам худший результат прогноза даже в обучающей модели ($R^2 = -0,84$), и, очевидно, результат прогнозирования скважин X1, X3 не может быть лучше. R^2 , соответственно, составляет $-15,54$ и $0,03$. К модели применялись разные степени полинома “n”, но чем больше степень, тем худший результат прогноза мы получили. Результат предсказания полиномиальной регрессии ($n = 4$) показан на рисунке 6. Мы можем сделать вывод, что взаимосвязь между всеми пиролитическими параметрами до экстракции и S2ex не может быть смоделирована как полином n -й степени.

Опорная векторная регрессия также применяется для прогнозирования значения S2ex. Этот метод не дает самый лучший результат, но его результат является приемлемым. Результат представлен на рисунке 7. Прогнозируемые результаты обучающей скважины и скважины X3 достаточно хорошие, R^2 составляет $0,89$ и $0,87$ соответственно, но прогнозируемый результат скважины X1 недостаточно хорош ($R^2 = 0,5$). Этот алгоритм не дает

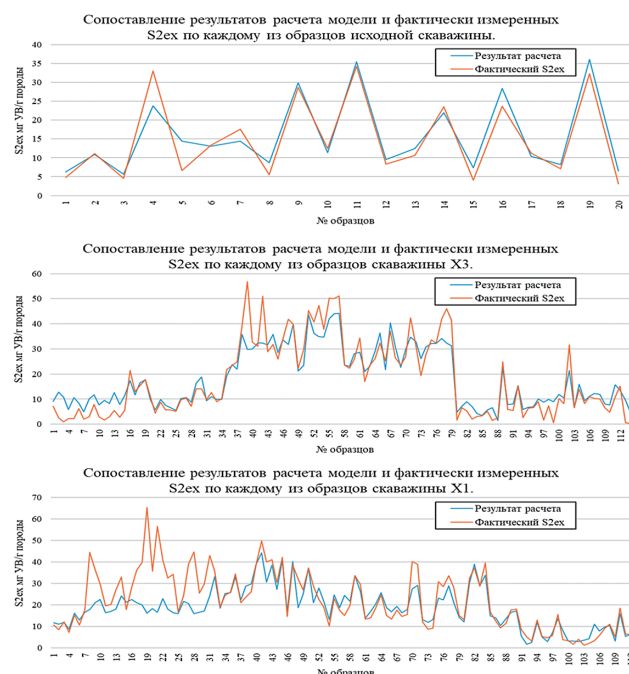


Рис. 7. Сопоставление результатов расчета модели и фактически измеренных S2ex методом опорной векторной регрессии

Fig. 7. Comparison of the model calculation results and actually measured S2ex by the support vector regression method

нам отрицательного значения S2ex, что говорит о его применимости и удовлетворительных результатах. Этот метод характеризует наш набор данных с помощью гиперплоскости или функции, а взаимосвязь между параметрами до и после экстракции является достаточно сложной, поэтому не может характеризоваться функцией.

Переходим к новым инструментам интеллектуального анализа данных и предсказательной аналитики: алгоритмам дерева решений и случайного леса.

Дерево решений организовано в виде иерархической структуры, состоящей из узлов принятия решений по оценке значений определенных переменных для прогнозирования результирующего значения. Использование деревьев классификации приводит к символическому обозначению класса. Геологический разрез состоит из разных групп пород, имеющих близкие характеристики, т.е. близкое значение S2ex, поэтому алгоритм дерева решений был создан для анализа наших данных. Как и предполагалось, этот метод дает очень хорошие результаты (рис. 8). Значение R^2 исходной скважины и скважин X1, X3, соответственно, 0,90, 0,77 и 0,91.

Алгоритм дерева решений дает нам хорошие прогнозы, но это не самый лучший способ. Метод, который дает нам лучший результат, — случайный лес (рис. 9). Этот метод объединяет прогнозы из нескольких алгоритмов машинного обучения вместе, чтобы делать более точные прогнозы, чем любая отдельная модель. Значение R^2 исходной скважины и скважин X1, X3 составляет 0,95, 0,88 и 0,96 соответственно, что является очень хорошим результатом для такого маленького набора данных.

Прогнозируемый результат S2ex всех моделей также сравнивался со значением S2, потому что в экстрагированном образце значение S2 должно быть меньше. Результат представлен на рисунке 10.

Как видно на рисунке 10, у методов множественной линейной, регрессии, опорной векторной регрессии и дерева решений есть прогнозные значения S2ex больше значения S2, что по определению не может быть верным. Метод случайного леса не только дает хорошие результаты, но и его прогнозы всегда меньше значения S2. Исходя из всех проверок, можем сделать вывод, что алгоритм

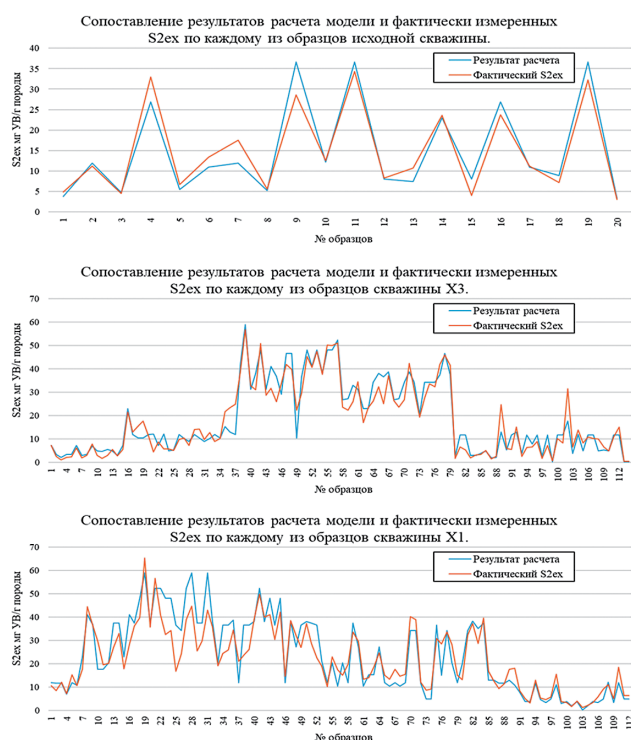


Рис. 8. Сопоставление результатов расчета модели и фактически измеренных S2ex методом дерева решений

Fig. 8. Comparison of the model calculation results and actually measured S2ex by the decision tree method

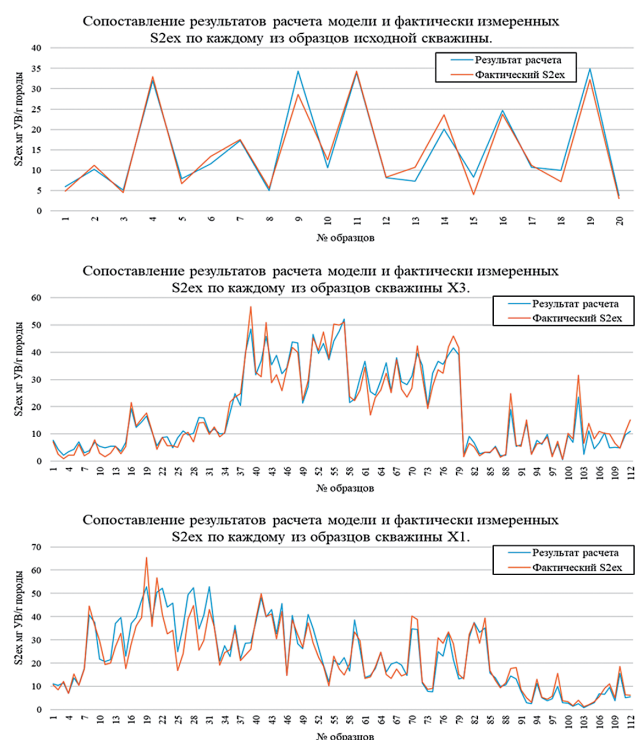


Рис. 9. Сопоставление результатов расчета модели и фактически измеренных S2ex методом случайного леса

Fig. 9. Comparison of the model calculation results and actually measured S2ex by the random forest method

Множественная линейная регрессия



Опорная векторная регрессия



Дерево решений



Случайный лес



Рис. 10. Сопоставление результатов расчета моделей (А — множественная линейная регрессия; Б — опорная векторная регрессия; В — дерево решений; Г — случайный лес) и значения S2 по каждому из образцов скважины ХЗ

Fig. 10. Comparison of the results of calculating models (A — multiple linear, regression; Б — support vector regression; В — decision tree; Г — random forest) and S2 values for each of the samples of well X3

случайного леса — самый хороший метод прогноза для наших данных.

Заключение

Несмотря на то что количество данных для обучения модели ограничено, результат превзошел все ожидания. Следует ожидать увеличения точности по мере расширения блока входных данных для обучения модели. Наилучший результат показали методы случайного леса, опорной векторной регрессии и дерева решений. Алгоритмы случайного леса и дерева решений рекомендуются для прогнозирования результата анализа любых скважин, а множественная линейная регрессия — для всех скважин, близких к исходной скважине.

Однако следует понимать, что близость расположения скважин обеспечивает фаціальную однородность пород, и в случае увеличения площади исследования возможно уменьшение точности.

Результат прогнозирования также демонстрирует, что взаимосвязь между параметрами до и после экстракции является сложной и нелинейной. Доказательство тому — значение R^2 множественной линейной регрессии, а полиномиальная регрессия отрицательна, что означает, что модель не работает. Однако случайный лес и дерево решений дают нам хорошую производительность. С помощью тех же алгоритмов мы можем применить для прогноза все геохимические параметры по глубине или использовать их для данных ГИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев А.В., Данцова К.И., Баршин А.В., Минлигалиева Л.И. Моделирование катагенетического преобразования силурийских нефтегазоматеринских толщ Южного Предуралья на основе статистической обработки результатов анализа Rock-eval // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2020. № 1 (298). С. 29—37.
2. Ле Тхи Ныт Сыонг, Бондарев А.В., Баршин А.В., Бондарева Л.И. Применение методов машинного обучения для прогноза геохимических параметров анализа Rock-EVAL после экстракции хлороформом // Сборник докладов Региональной научно-технической конференции «Губкинский университет в решении вопросов нефтегазовой отрасли России», 22—23 октября 2020 г. — М.:

- Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020 — 484 с. ISBN 978-5-91961-332-9
3. Монакова А.С., Осипов А.В., Бондарев А.В., Минлигалиева Л.И. Геохимическая характеристика нефтематеринских пород силурийского возраста южного сегмента Предуральяского прогиба (г. Кувандык) // В сб.: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 т. 2019. С. 69—70.
 4. Arlot, Sylvain and Robin Genuer. "Analysis of purely random forests bias." ArXiv abs/1407.3939 (2014)
 5. Ben-Haim Y. Information-gap theory: decisions under severe uncertainty. Academic Press, London, 2001.
 6. Biau G. Analysis of a random forests model. Journal of Machine Learning Research. 2012. Vol. 13. P. 1063—1095.
 7. Chih-Chung Chang, Chih-Jen Lin. LIBSVM: a library for support vector machines, 2001.
 8. Cortes C., Vapnik V. Support-Vector Networks // MachineLearning. Vol. 20. P. 273—297.
 9. Lane D.M. Online Statistics Education: A Multimedia Course of Study (<http://onlinestatbook.com/>). Rice University.
 10. Draper N.R., Smith H. Applied Regression Analysis. Wiley-Interscience. 1998.
 11. Glantz Stanton A., Slinker B.K. Primer of Applied Regression and Analysis of Variance. McGraw-Hill, 1990.
 12. Kamiński B., Jakubczyk M., Szufel P. A framework for sensitivity analysis of decision trees // Central European Journal of Operations Research, 2017. P. 135—159. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0479-6>. PMC 5767274. PMID 29375266
 13. Karimi K., Hamilton H.J. Generation and Interpretation of Temporal Decision Rules // International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications, 2011. Vol. 3.
 14. Rouaud M. Probability, Statistics and Estimation Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement. 2013.
 15. Nefedova A.S., Osipov A.V., Ermolkin V.I. The Source Rock Generation Potential of Lower Permian Artinskian Age in Southern Part of Pre-Ural Fore Deep // In: Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. 2016.
 16. Ho Tin Kam. Random Decision Forests (PDF). Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14—16 August 1995. P. 278—282.
 17. Liaw A. and Wiener M. Classification and regression by random forest. Researchgate, 2002. Vol. 2. P. 18—22.
 18. Quinlan J.R. Simplifying decision trees // International Journal of Man-Machine Studies. 1987. P. 221—234. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(87\)80053-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(87)80053-6)
 19. Scornet E. Random forests and kernel methods. 2015.
 20. Smola A., Schoelkopf B. A tutorial on support vector regression: Tech. Rep. 1998.
 21. Tissot B.P., Welt, D.H. Petroleum formation and occurrence. Springer, Berlin, 1984.
 22. Yan Xin. Linear Regression Analysis: Theory and Computing, World Scientific. 2009. P. 1—2.
 23. Yin-Wen Chang, Cho-Jui Hsieh, Kai-Wei Chang, Michael Ringgaard, Chih-Jen Lin, Training and testing low-degree polynomial data mappings via linear SVM // Journal of Machine Learning Research. P. 1471—1490.
 24. Zhu R., Zeng D., Kosorok M.R. Reinforcement Learning Trees // Journal of the American Statistical Association. 2015. P. 1770—1784. <https://doi.org/10.1080/01621459.2015.1036994>

REFERENCES

1. Bondarev Alexander V., Dantsova Kristina I., Barshin Andrey V., Minligalieva Liana I. Modeling maturity of organic matter in source rocks of silurian oil and gas source strata of southern urals based on statistical processing of rock-eval results // Proceedings of Gubkin Russian State University of oil and gas. 2020. № 1 (298). pp. 29—37.
2. Le Thi Nhut Suong, Bondarev A., Barshin A., Bondareva L. Application of machine learning methods for prediction of geochemical parameters of Rock-Eval analysis after chloroform extraction // Collection of reports of the IV regional scientific and technical conference "Gubkin University in solving issues of the oil and gas industry of Russia", dedicated to the 90th anniversary of Gubkin University and the Faculty of Economics and Management. 2020. 484 p. ISBN 978-5-91961-332-9.
3. Monakova A., Osipov A., Bondarev A., Minligalieva L. Geochemical characteristics of oil-bearing rocks of the Silurian age of the southern segment of the Pre-Ural foredeep (Kuvandyk) // New ideas in Earth sciences. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference. 2019. Vol. 7. pp. 69—70.
4. Arlot, Sylvain and Robin Genuer. "Analysis of purely random forests bias." ArXiv abs/1407.3939 (2014)
5. Ben-Haim Y. Information-gap theory: decisions under severe uncertainty. Academic Press, London, 2001.
6. Biau G. Analysis of a random forests model. Journal of Machine Learning Research. 2012. Vol. 13. P. 1063—1095.
7. Chih-Chung Chang, Chih-Jen Lin. LIBSVM: a library for support vector machines, 2001.
8. Cortes C., Vapnik V. Support-Vector Networks // MachineLearning. Vol. 20. P. 273—297.
9. Lane D.M. Online Statistics Education: A Multimedia Course of Study (<http://onlinestatbook.com/>). Rice University.
10. Draper N.R., Smith H. Applied Regression Analysis. Wiley-Interscience. 1998.

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

11. Glantz Stanton A., Slinker B.K. Primer of Applied Regression and Analysis of Variance. McGraw-Hill, 1990.
12. Kamiński B., Jakubczyk M., Szufel P. A framework for sensitivity analysis of decision trees // Central European Journal of Operations Research, 2017. P. 135—159. <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0479-6>. PMC 5767274. PMID 29375266
13. Karimi K., Hamilton H.J. Generation and Interpretation of Temporal Decision Rules // International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications, 2011. Vol. 3.
14. Rouaud M. Probability, Statistics and Estimation Propagation of Uncertainties in Experimental Measurement. 2013.
15. Nefedova A.S., Osipov A.V., Ermolkin V.I. The Source Rock Generation Potential of Lower Permian Artinskian Age in Southern Part of Pre-Ural Fore Deep // In: Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. 2016.
16. Ho Tin Kam. Random Decision Forests (PDF). Proceedings of the 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition, Montreal, QC, 14—16 August 1995. P. 278—282.
17. Liaw A. and Wiener M. Classification and regression by random forest. Researchgate 2002. Vol. 2. P. 18—22.
18. Quinlan J.R. Simplifying decision trees // International Journal of Man-Machine Studies. 1987. P. 221—234. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(87\)80053-6](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(87)80053-6)
19. Scornet E. Random forests and kernel methods. 2015.
20. Smola A., Schoelkopf B. A tutorial on support vector regression: Tech. Rep. 1998.
21. Tissot B.P., Welt, D.H. Petroleum formation and occurrence. Springer, Berlin, 1984.
22. Yan Xin. Linear Regression Analysis: Theory and Computing, World Scientific. 2009. P. 1—2.
23. Yin-Wen Chang, Cho-Jui Hsieh, Kai-Wei Chang, Michael Ringgaard, Chih-Jen Lin, Training and testing low-degree polynomial data mappings via linear SVM // Journal of Machine Learning Research. P. 1471—1490.
24. Zhu R., Zeng D., Kosorok M.R. Reinforcement Learning Trees // Journal of the American Statistical Association. 2015. P. 1770—1784. <https://doi.org/10.1080/01621459.2015.1036994>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ле Тхи Нхыт Сьонг — разработала методику исследования, изложенную в статье, подготовила текст статьи для публикации.

Бондарев А.В. — выступил научным руководителем проведения исследования, изложенного в статье.

Бондарева Л.И. — оказала помощь при подготовке научной статьи.

Монакова А.С. — оказывала всестороннюю помощь при проведении научного исследования, корректировала текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи.

Баршин А.В. — корректировал графику, приведенную в статье.

Le Thi Nhut Suong — developed the research methodology outlined in the article, prepared the text of the article for publication.

Aleksandr V. Bondarev — acted as the scientific supervisor of the research described in the article.

Liana I. Bondareva — assisted in the preparation of a scientific article.

Aleksandra S. Monakova — provided comprehensive assistance in conducting scientific research, corrected the text of the article, finally approved the published version of the article.

Andrey V. Barshin — corrected the schedule given in the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ле Тхи Нхыт Сьонг — студентка ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

e-mail: lethinhutsuong@gmail.com

тел.: +7 (977) 586-98-45

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-0419>

Le Thi Nhut Suong — student, National University of Oil and Gas “Gubkin University”.

65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia.

e-mail: lethinhutsuong@gmail.com

tel.: +7 (977) 586-98-45

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-0419>

Бондарев Александр Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: jcomtess@yandex.ru
тел.: +7 (499) 507-88-88
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8221-1052>
Scopus ID: 56308173600
SPIN-код: 6559-1469

Бондарева Лиана Ильясовна — старший преподаватель кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: liana_abril@mail.ru
тел.: +7 (499) 507-84-32
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3986-858X>
Scopus ID: 57209737387
SPIN-код: 1584-1518

Монакова Александра Сергеевна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
тел.: +7 (916) 849-57-04
ORCID: 0000-0003-3854-4436
Scopus ID: 8574084700
SPIN-код: 5619-7973

Баршин Андрей Витальевич — преподаватель кафедры поисков и разведки нефти и газа ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
e-mail: barshinsp@gmail.com
тел.: +7 (915) 127-32-11
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-1121>
Scopus ID: 57221607978
SPIN-код: 3618-5049

Alexsandr V. Bondarev — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., National University of Oil and Gas “Gubkin University”.
65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: jcomtess@yandex.ru
tel.: +7 (499) 507-88-88
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8221-1052>
Scopus ID: 56308173600
SPIN-code: 6559-1469

Liana I. Bondareva — senior lecturer, National University of Oil and Gas “Gubkin University”.
65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: liana_abril@mail.ru
tel.: +7 (499) 507-84-32
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3986-858X>
Scopus ID: 57209737387
SPIN-code: 1584-1518

Aleksandra S. Monakova* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., National University of Oil and Gas “Gubkin University”.
65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia
tel.: +7 (916) 849-57-04
ORCID: 0000-0003-3854-4436
Scopus ID: 8574084700
SPIN-code: 5619-7973

Andrey V. Barshin — lecturer, National University of Oil and Gas “Gubkin University”.
65 Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: barshinsp@gmail.com
tel.: +7 (915) 127-32-11
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-1121>
Scopus ID: 57221607978
SPIN-code: 3618-5049

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В АКВАТОРИИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Ю.В. ЩЕРБИНА^{1,*}, В.Ю. КЕРИМОВ¹, Н.А. КАСЬЯНОВА¹, В.К. АБДУЛЛАЕВА²

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

²Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности
16/21, Азадлыг ул., г. Баку AZ1010, Азербайджан

АННОТАЦИЯ

Введение. В отношении геологического строения Лаптевоморский бассейн характеризуется рифтогенной природой формирования. Однако низкая плотность сейсмической изученности и отсутствие скважин говорят о незавершенном этапе исследований бассейна.

Цель исследования. Основной целью данной научно-исследовательской работы являлось сопоставление итоговых результатов моделирования на фоне структурных построений и определение перспективных направлений геолого-разведочных работ. Нефтегазогеологическое исследование акватории моря Лаптевых проводилось с целью рекомендации районов для лицензирования, а также выявления объектов поискового бурения и оценки суммарных начальных прогнозных геологических ресурсов по данным выполненного численного бассейнового моделирования; решения задач построения седиментационных моделей и прогноза коллекторских свойств в акватории моря Лаптевых.

Материалы и выводы. Источником информации являются материалы производственных отчетов, полученных по отдельным крупным объектам в районе акватории. В качестве основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinor. Произведено сопоставление итоговых результатов моделирования УВ-систем, прогноза характера углеводородонасыщения, полученных по разрезам двух выборочных профилей на фоне структурных построений по фундаменту и кровле олигоцен-миоценовых отложений, которое наряду с прочими результатами позволяет определить перспективные направления ГРП.

Результаты. По итогам проведенного сопоставления сделаны выводы о возможных участках скопления углеводородов и их приуроченности. Проведена оценка вероятности присутствия углеводородов в ловушках неантиклинального типа. Выделены первоочередные районы и участки нефтегазопроисловых работ в пределах нераспределенного участка недр. Сформулированы рекомендации по дальнейшему развитию геолого-разведочных работ на лицензионном участке.

Заключение. С целью уточнения ресурсного потенциала Южно-Лаптевоморского перспективного участка рекомендуется поэтапное его доизучение посредством анализа и переработки имеющихся данных, обработки и интерпретации новых геофизических данных и актуализации геологической модели и проектирования сейсморазведочных работ 3D в пределах выявленных перспективных объектов. Помимо всего необходимо провести сейсморазведочные работы 2D регионального уровня с целью определения границ осадочных бассейнов акватории Восточной Арктики.

Ключевые слова: бассейновое моделирование, Лаптевоморский бассейн, углеводородные системы, проектирование геолого-разведочных работ, скопление углеводородов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-35-70062.

Для цитирования: Щербина Ю.В., Керимов В.Ю., Касьянова Н.А., Абдуллаева В.К. Основные направления геолого-разведочных работ на нефть и газ в акватории моря Лаптевых. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):20—34.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-20-34>

Статья поступила в редакцию 13.09.2021
Принята к публикации 17.12.2021
Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

PROSPECTS OF HYDROCARBON EXPLORATION IN THE LAPTEV SEA BASIN

YULIA V. SHCHERBINA^{1,*}, VAGIF YU. KERIMOV¹, NATALIYA A. KAS'YANOVA¹, VALIDA K. ABDULLAYEVA²

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

²*Azerbaijan State Oil and Industry University
16/21 Azadlig Avenue, Baku AZ1010, Azerbaijan*

ABSTRACT

Background. The geological structure of the Laptev Sea basin is characterized by a rift nature, thus providing no favorable conditions for the presence of hydrocarbon accumulations. However, the lack of seismic information and the absence of well drilling indicate an incomplete stage of the basin exploration.

Aim. To analyze the results of geological modeling based on structural mapping and to identify promising areas of hydrocarbon exploration. A geological hydrocarbon study of the Laptev Sea basin was carried out in order to recommend areas for licensing, as well as to identify exploration drilling sites and estimate the total initial prospective geological resources according to the conducted numerical basin modeling. To design sedimentation models and predict reservoir properties in the Laptev Sea basin.

Materials and methods. The analysis was based on the data retrieved from production reports for individual large objects in the water area. A model developed by Equinor specialists was used for the basin analysis. The results of hydrocarbon system modeling, the prediction of hydrocarbon saturation obtained from sections of two sample profiles while structural mapping of the basement and top of Oligocene-Miocene sediments were used.

Results. Prospective areas of accumulation of hydrocarbons and their confinement were determined. The probability of hydrocarbons in non-anticlinal traps was estimated. Priority areas of hydrocarbon exploration within the unallocated subsoil area were identified. Recommendations for further geological exploration across the license area were formulated.

Conclusion. Further exploration of the Yuzhno-Laptevomorsky promising area is recommended by means of analyzing the available data, processing of new geophysical data, updating the geological model and designing 3D seismic surveys within the identified promising areas. In addition, 2D seismic surveys at the regional level should be carried out to define the sedimentary boundaries of the Eastern Arctic water area.

Keywords: basin modeling, Laptev Sea basin, hydrocarbon systems, geological exploration design, hydrocarbon accumulation

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

Financial disclosure: the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-70062

For citation: Shcherbina Yu.V., Kerimov V.Yu., Kas'yanova N.A., Abdullayeva V.K. Prospects of hydrocarbon exploration in the Laptev sea basin. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):20—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-20-34>

Manuscript received 13 September 2021

Accepted 17 December 2021

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Море Лаптевых характеризуется в целом относительно слабой геолого-геофизической изученностью, особенно его северной склоновой части. Неравномерность и недостаточность средней плотности его сейсмической изученности, отсутствие скважин глубокого бурения на акватории Лаптевоморской перспективной нефтегазоносной провинции (ПНГП) свидетельствуют о незавершенном региональном этапе его исследования и затрудняют возможность достоверной оценки вещественного состава отложений осадочного чехла, их стратиграфической приуроченности и фактически нефтегазогеологических характеристик разреза [12].

Особенности геологического развития, во многом определяемые рифтогенной природой бассейнов моря, показывают высокую степень дифференцированности тектонических движений региона в течение его геологической истории, высокую тектоническую нерешенность осадочного чехла, высокий тепловой поток и современную сейсмическую активность региона, то есть в принципе демонстрируют характеристики, не являющиеся оптимальными для образования крупных скоплений УВ.

Методика исследований

Сопоставление итоговых результатов моделирования УВ-систем, прогноза характера углеводородонасыщения, полученных по разрезам двух выборочных профилей на фоне структурных построений по фундаменту и кровле олигоцен-миоценовых отложений, которое наряду с прочими результатами позволяет определить перспективные направления ГРП.

Результаты исследований

Основные результаты проведенного сопоставления свидетельствуют о нижеследующем:

1. Подавляющая часть прогнозируемых по результатам моделирования возможных участков УВ-накопления контролируется блоковым строением фундамента (рис. 1). Большинство из них формируется над выступами/поднятиями, выделенными по фундаменту в пределах Лаптевоморской плиты (Д1) — вала Минина (Зд), Лено-Таймырской зоны пограничных поднятий (Зв), Северо-Западного поднятия (Зж). Незначительное число возможных УВ-проявлений по результатам моделирования расположено в пределах положительных элементов в глубоководной впадине. Особняком стоит крупное прогнозируемое УВ-скопление в пределах Восточно-Лаптевской ступени (Д1—4).

2. Прогнозируемые УВ-скопления, как правило, не приурочены к сводовым частям антиклинальных объектов (рис. 2), выявленных в осадочном чехле, которые во многом унаследованы от структуры фундамента (в его конфигурации, соответствующей современной изученности). В основном они сосредоточены на крыльях этих поднятий, в связи с чем основным типом ловушек будут являться зоны выклинивания, скорее всего, литологических замещений, участки недр, контролируемые разрывными нарушениями.

3. О вероятности присутствия УВ преимущественно в ловушках неантиклинального типа говорят результаты атрибутивного анализа по временным разрезам двух сейсмических профилей (рис. 3). Сводные результаты этого анализа указывают главным образом на газонасыщение осадочного разреза, приуроченного к зонам повышенной трещиноватости пород, что, по нашему мнению, является закономерным в связи с высокой нарушенностью разреза. Более или менее устойчивые зоны вероятных УВ-скоплений отмечаются в верхней части разреза, в его придонных отложениях, где они, скорее всего, связаны с развитием газогидратов.

4. Исходя из полученных результатов выполненных работ первоочередные районы и участки постановки нефтегазопроисловых работ были разделены на две группы, первая из них относится к распределенному фонду недр (участки АО «Роснефть»), вторая соответствует районам нераспределенного фонда недр.

О вероятности присутствия УВ преимущественно в ловушках неантиклинального типа говорят результаты атрибутивного анализа по временным разрезам двух сейсмических профилей (рис. 3). Сводные результаты этого анализа указывают главным образом на газонасыщение осадочного разреза, приуроченного к зонам повышенной трещиноватости пород, что, по нашему мнению, является закономерным в связи с высокой нарушенностью разреза. Более или менее устойчивые зоны вероятных УВ-скоплений отмечаются в верхней части разреза, в его придонных отложениях, где они, скорее всего, связаны с развитием газогидратов.

Исходя из полученных результатов выполненных работ первоочередные районы и участки постановки нефтегазопроисловых работ были разделены на две группы, первая из них относится к распределенному фонду недр (участки АО «Роснефть»), вторая соответствует районам нераспределенного фонда недр.

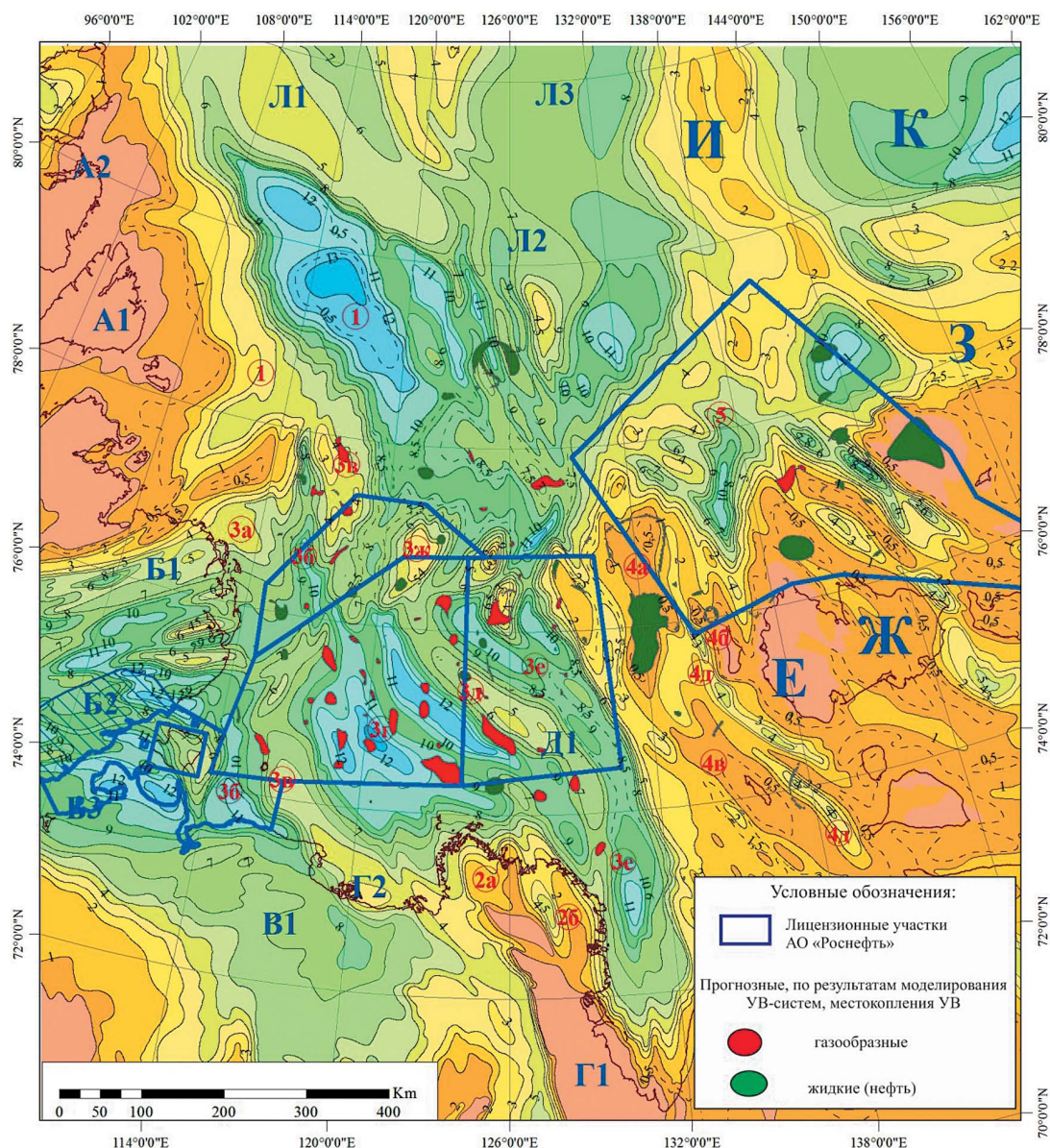


Рис. 1. Сопоставление прогнозных мест УВ-скопления по данным моделирования УВ-систем со структурой фундамента. Условные обозначения: Структурные элементы. А — ПЕЧОРО-БАРЕНЦЕВО-СЕВЕРО-КАРСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. А1 — Таймыро-Северо-Земельский щит; А2 — Восточно-Октябрьская зона дислокаций. Б — ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКИЙ ПРОГИБ. Б1 — Таймырская складчато-орогенная система; Б2 — Журавлевско-Бегичевская зона поднятий (Анабаро-Хатангская седловина в верхних этажах разреза); Б3 — Жданихинский/Жданихский прогиб (восточное замыкание: Усть-Хатангская впадина). В — СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА. В1 — Лено-Анабарский прогиб. Г — ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА. Г1 — Верхоянский мегантиклинарий; Г2 — Оленекская складчатая зона; Г3 — Эльги-Адычанский мегантиклинорий (Шелонский массив). Д — ЛАПТЕВСКО-НИЖНЕКОЛЫМСКАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. Д1 — Лаптевская/Лаптевоморская плита: 1 — Малотаймырская ступень; 2 — Усть-Ленская сводово-блоковая область (2а — Западно-Ленский купол, 2б — Сагастырская ступень); 3 — Западно-Лаптевская синеклиза (3а — ступень Прончищевых, 3б — Оленекско-Бегичевская зона прогибов, 3в — Лено-Таймырская зона пограничных поднятий, 3г — Южно-Лаптевская впадина, 3д — вал Минина, 3е — Омолойская зона прогибов/грабен, 3ж — Северо-Западное поднятие); 4 — Восточно-Лаптевская ступень (4а — Восточно-Лаптевское поднятие, 4б — Бельковский горст, 4в — Столбовской горст, 4г — Северо-Шелонская терраса, 4д — Бельковско-Святоноская система грабен); 5 — Анисинский прогиб. Д2 — Хромско-Индижирская седловина. Е — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА. Ж — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ ОКРАИННО-

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

КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. З — ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. И — РЕЛИКТОВАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА ЛОМОНОСОВА-ГЕОФИЗИКОВ. К — ТРАНСАРКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВЫХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН (впадина Подводников-Толля). Л — ЕВРАЗИЙСКАЯ ГЛУБОКОВОДНАЯ ВПАДИНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА. Л1 — котловина Нансена: 1 — Восточно-Притаймырская впадина. Л2 — грядово-рифтовая система хр. Гаккеля; Л3 — котловина Амундсена

Fig. 1. Comparison of the forecast locations of hydrocarbon accumulations according to the data of modeling of hydrocarbon systems with the structure of the foundation. Legend: Structural elements. A — PECHORA-Barents-North-Kara marginal-continental mobile platform. A1 — Taimyr-Severo-Zemelsky shield; A2 — East-October zone of dislocations. B, YENISEI-KHATANGA Trough. B1, Taimyr fold-orogenic system; B2, Zhuravlevsko-Begichevskaya zone of uplifts (Anabar-Khatanga saddle in the upper levels of the section); B3, Zhdanikhinsky/Zhdanikhsky trough (eastern closure: Ust-Khatanga depression). B — SIBERIAN PLATFORM. B1 — Leno-Anabar trough. D, VERKHOYANO-KOL-YMA FOLDED-OROGENIC SYSTEM. G1, Verkhoyansk meganticlinory; G2, Olenek folded zone; G3 — Elgi-Adychansky meganticlinorium (Shelon massif). E — LAPTEVSKOYA-NIZHNEKOLYMA MOBILE PLATFORM. D1, Laptev/Laptev Sea Plate: 1, Little Taimyr step; 2 — Ust-Lena arch-block area (2a — Western Lena dome, 2b — Sagastyr step); 3, West Laptev syncline (3a, Pronchishchev step, 3b, Olenek-Begichev trough zone, 3c, Lena-Taimyr zone of boundary uplifts, 3d, South Laptev depression, 3e, Minin swell, 3f, Omoloy trough/graben zone, 3g — Northwestern uplift); 4, East Laptev step (4a, East Laptev uplift; 4b, Belkovsky horst; 4c, Stolbovsky horst; 4d, North Shelon terrace; 5 — Anisinsky trough. D2 — Khromsko-Indigirskaya saddle. (E) NOVOSIBIRSK-CHUKOTA FOLDED-OROGENIC SYSTEM. G — NOVOSIBIRSK-CHUKOTA MARGIN-CONTINENTAL MOBILE PLATFORM. H — EAST-ARCTIC MARGIN-CONTINENTAL MOBILE PLATFORM. I — RELICT FOLDED-OROGENIC SYSTEM OF LOMONOSOV-GEOPHYSICS. K — TRANS-ARCTIC SYSTEM OF SHELF-SLOPE DEEP AND DEEPS (Podvodnikov-Toll depression). L — EURASIAN DEEP-WATER DEEP IN THE ARCTIC OCEAN. L1, Nansen Basin: 1, East Taimyr Basin. L2 — ridge-rift system Mt. Gakkel; C3 — Amundsen Basin

Если абстрагироваться от состояния лицензирования недр моря Лаптевых (владельцем всех лицензий в акватории моря Лаптевых является АО «Роснефть»), то первоочередными районами для постановки ГРП являются участки с наличием крупных антиклинальных объектов (Сергеевское, Борисовское, Николаевское, Анинское, Солнечное, Западно- и Восточно-Лаптевские и другие локальные поднятия), в которых по результатам математических методов прогноза их перспективности (моделирование УВ-систем, статистические методы) прогнозируются скопления УВ (рис. 2). При этом надо понимать, что все прочие положительные геологические предпосылки (наличие элементов УВ, структурный фактор, история развития региона и др.) уже учтены на стадии подготовки данных к прогнозу этими методами.

Некоторое несоответствие положения перспективных объектов с модельным положением мест скопления, как говорилось выше, может определяться сложным геологическим строением выявленных ловушек и контролем залежей, мелкоблоковой структурой локальных поднятий или слабой изученностью этих объектов, основная их масса выявлена по результатам регионального этапа работ.

В нераспределенном фонде недр первоочередными участками для постановки ГРП или лицензирования являются три участка.

Участок 1. Расположен в южной части моря Лаптевых, в придельтовой зоне реки Лена (от береговой линии до границ лицензий АО «Роснефть»).

Участок относится к категории неизученных или слабоизученных отдельными сейсмическими профилями или местами выходящими сюда концами сейсмических профилей, отработанных на соседних участках, в том числе в транзитной зоне Оленекского залива.

В тектоническом отношении он приурочен к зоне сочленения Усть-Ленской сводово-блоковой области в составе Верхояно-Колымской складчатой системы с Центрально (Южно)-Лаптевской впадиной (Лаптевоморская плита) и ее Трофимовским поднятием. В этом районе перспективы поиска УВ могут быть связаны не только с отложениями мел-кайнозоя, но и с верхоянским комплексом перми-карбона (рис. 36, в).

По данным геологических съемок в структуре Усть-Ленской сводово-блоковой области предположительно развита серия крупных валлообразных поднятий, выходящих в придельтовое мелководье и погружающихся под кайнозойский и, возможно, верхнемеловой чехол. Эта региональная структурная ситуация позволяет рассчитывать на выявление в пределах поднятий локальных антиклинальных осложненных потенциальных ловушек УВ. Их заполнение может осуществляться флюидами, которые генерируются:

- верхнеюрско-меловыми отложениями расположенной севернее впадины, синхронными обогащенными органикой отложениями прогиба, развитие которого предполагается в прогибах моря Лаптевых по новым данным [1, 8];

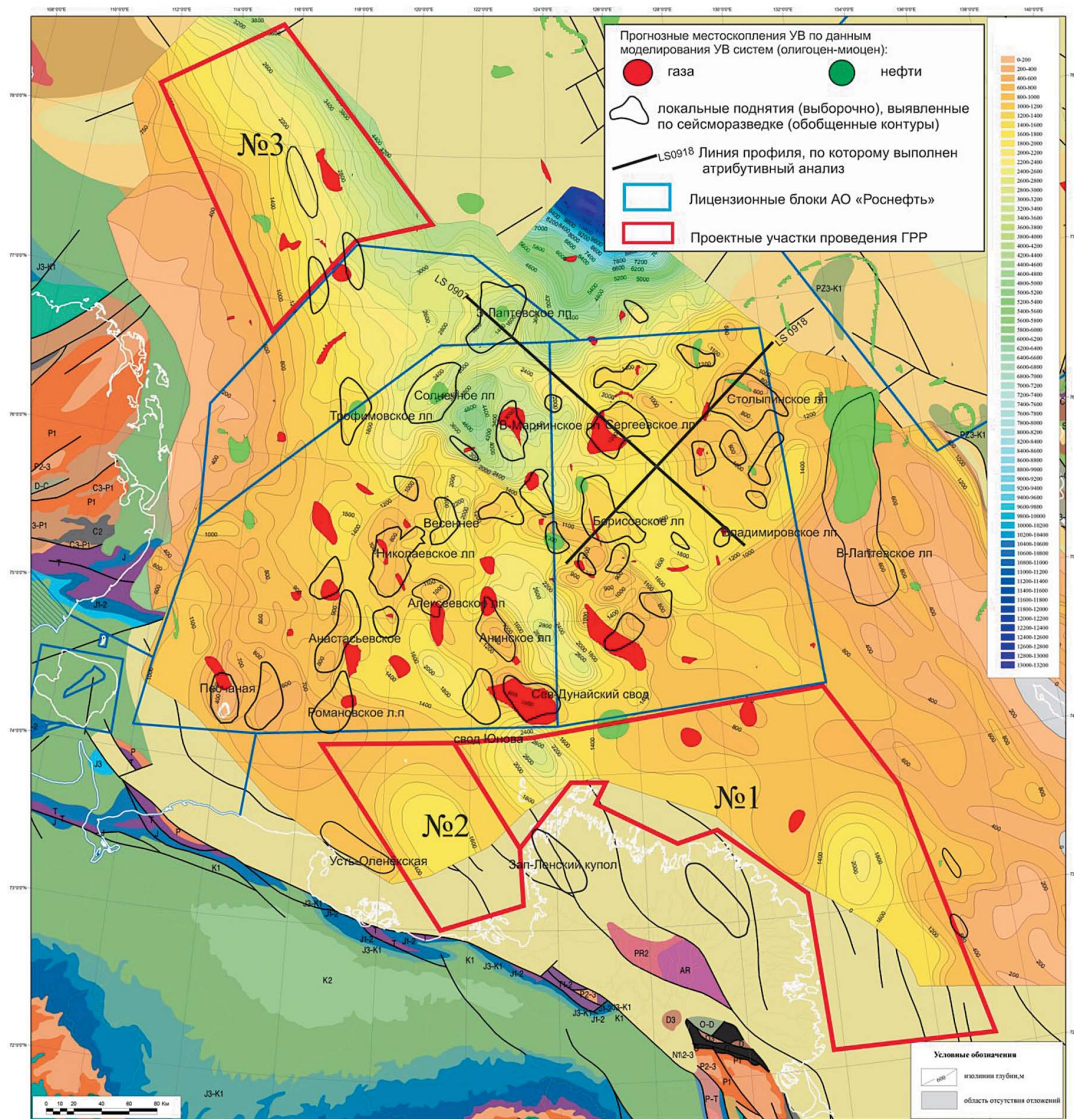


Рис. 2. Обобщенная схема результатов работ на основе структурной карты по ОГ LS3 (в кровле олигоцен-миоценового ССК)

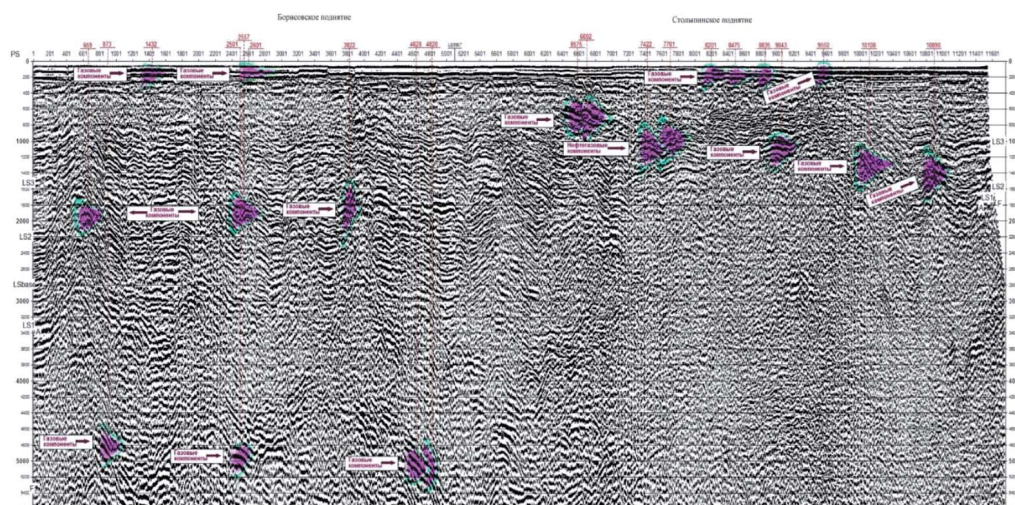
Fig. 2. Generalized scheme of the results of the work based on the structural map of the reflecting horizon LS3 (in the roof of the Oligocene-Miocene Seismostratigraphic complex)

- более древними и глубоко залегающими мезозойскими и верхнепалеозойскими отложениями, генерационная активность которых подтверждена битумопроявлением в пермских и юрских отложениях вблизи зон разломов, ограничивающих дельту Лены с юга [2];
- углеродсодержащими толщами верхнего мела-кайнозоя.

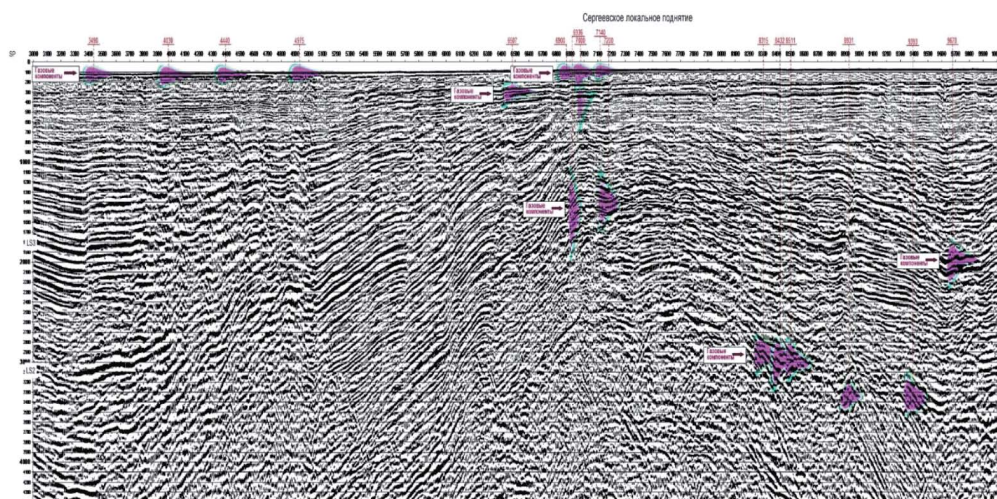
Участок 2. Расположен в Оленекском заливе (рис. 2). В региональном тектоническом плане он расположен на стыке двух платформ: Сибирской (В, рис. 1) и Лаптевско-Нижнеколымской

(Д, рис. 1), которые разделяет Верхояно-Колымская складчато-орогенная система (Г, рис. 1). Как следствие, перспективы поиска УВ на этом участке могут быть связаны как с палеозойскими комплексами в составе Сибирской платформы, так и мезозой-кайнозойскими в составе Лаптевоморской плиты. В рамках данного участка расположены две депрессионные зоны — Лено-Анабарский прогиб (В1, рис. 1) с мощностью осадочного чехла до 8 км и Южно-Лаптевская впадина (Д1—Зг, рис. 1) с мощностью осадков — 8—12 км.

а



б



в

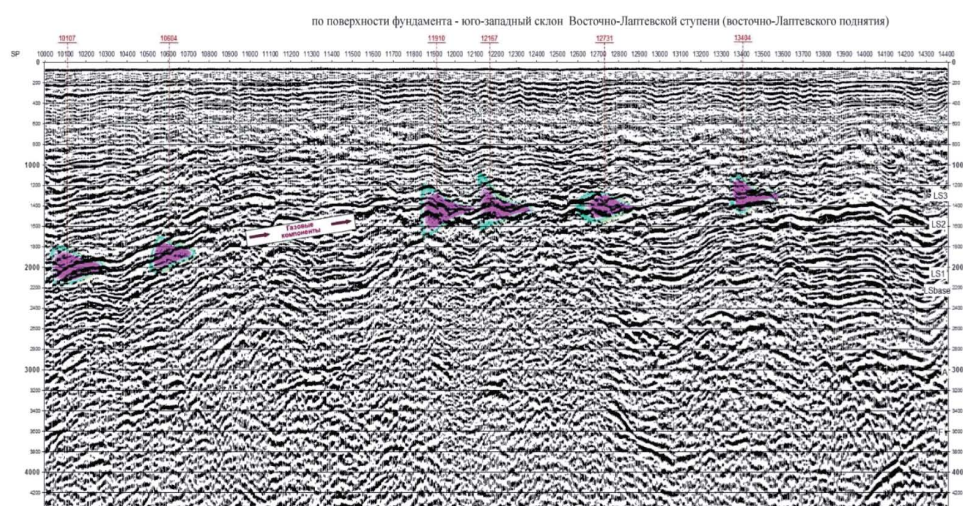


Рис. 3. Временной разрез с предполагаемыми объектами УВ-насыщения по результатам атрибутивного анализа по профилю: а) LS0918; б) LS0907 (начало) в) LS0907 (окончание)

Fig. 3. Time section with the proposed objects of UV saturation based on the results of attribute analysis by profile: а) LS0918; б) LS0907 (beginning) в) LS0907 (ending)

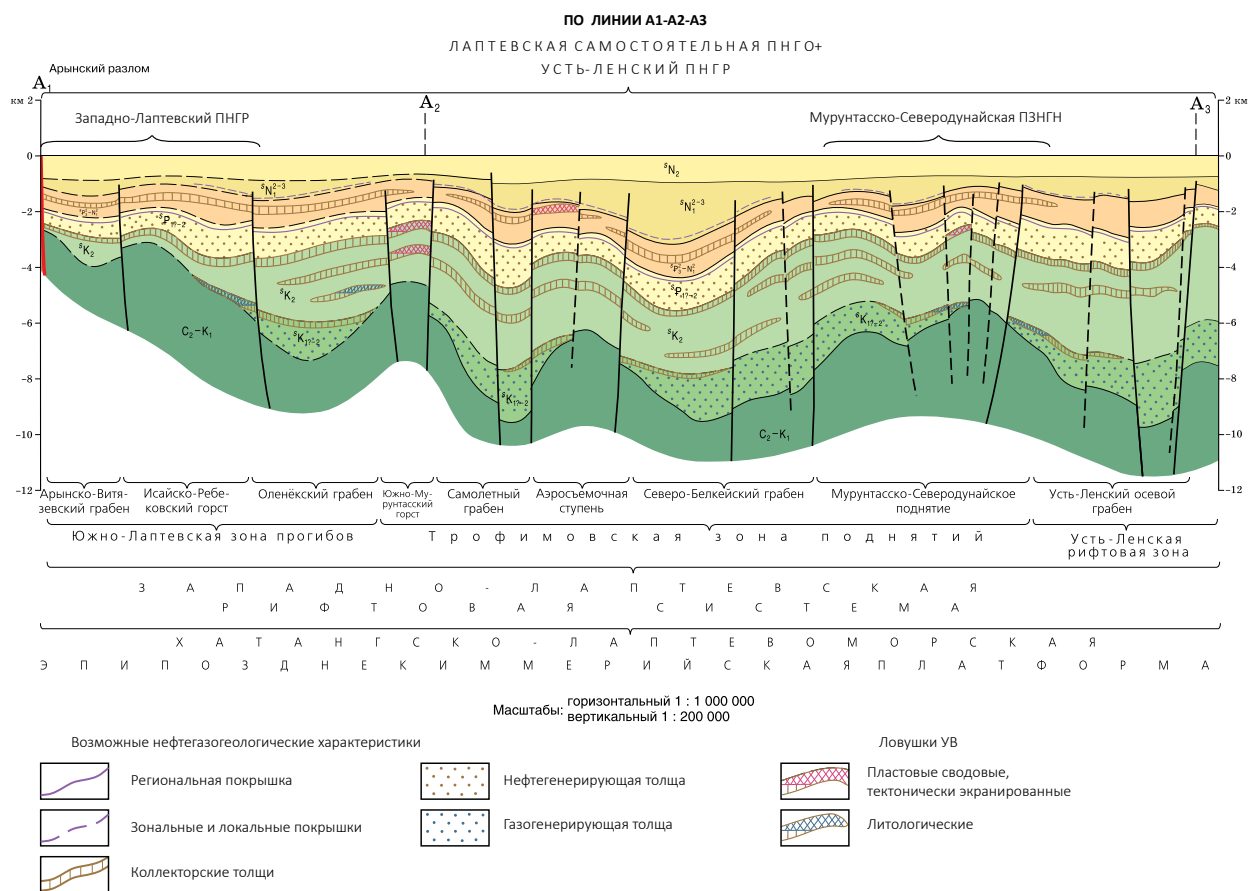


Рис. 4. Схематический прогнозно-нефтегазгеологический разрез по линии А21-А2-А31

Fig. 4. Schematic forecast-oil and gas geological section along the line A21-A2-A31

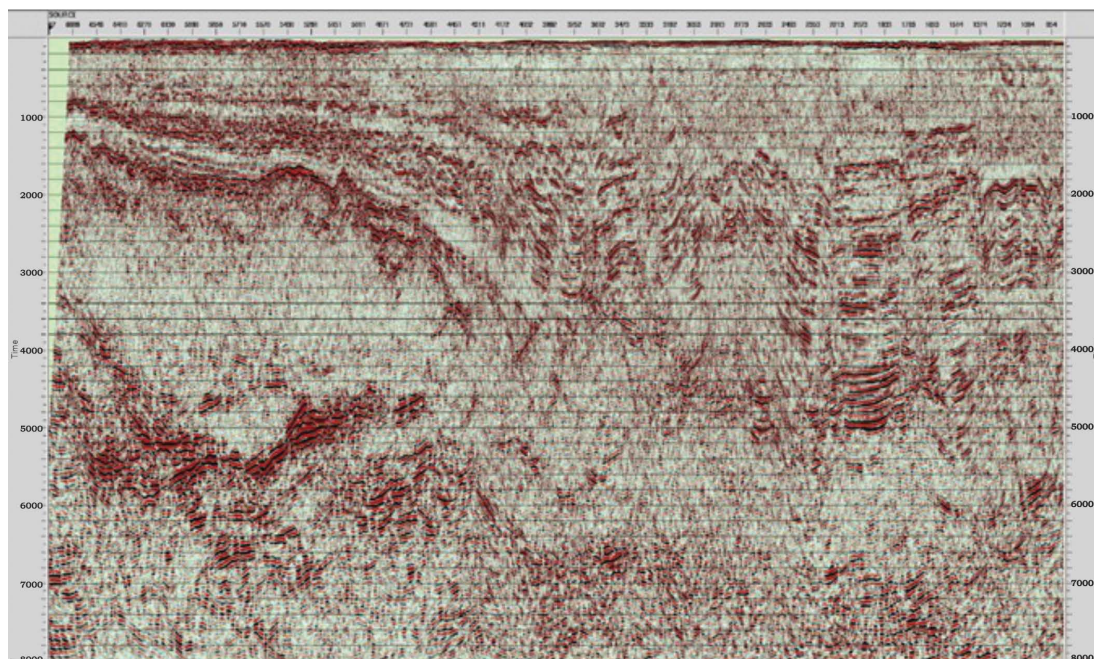


Рис. 5. Результаты полевых работ ГК2019.005, выполненные АО «Росгеология» в 2019 г.

Fig. 5. The results of field work of the state contract 2019.005, performed by JSC "Rosgeologiya" in 2019

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

По данным редкой сети профилей, выполненных в транзитной зоне Оленекского залива, выделен ряд локальных поднятий, мощные толщи предположительно дельтовых отложений пра-Лены, области возможного накопления соленосных толщ и др. На побережье находится крупное Оленекское месторождение битумов и ряд месторождений и нефтегазопоявлений (Южно-Тигянская, Нордвикская, Кожевниковская и другие площади).

Участок 3 (рис. 2). Данный участок условно относится к восточному склону Таймыро-Новоземельского щита (А1, рис. 1). Он расположен в пределах Малотаймырской ступени (Д1-1, рис. 1) и Восточно-Притаймырской впадины (Л1-1, рис. 1). Мощность осадочного комплекса здесь меняется от 4 до 8 км. По всей видимости, основной тип ловушек будет связан с выклиниванием пластов на склоне щита, структурами облекания над блоками фундамента (рис. 6).

Решение задач построения седиментационных моделей и прогноза коллекторских свойств

в акваториях Восточно-Арктических морей, в том числе моря Лаптевых, является важнейшей составляющей прогнозирования перспектив их нефтегазоносности. Отсутствие скважин глубокого бурения в этих морях, а следовательно, информации о литологическом и стратиграфическом наполнении изучаемого дистанционными методами (сейморазведка, гравirazведка, придонная геохимия и пр.) осадочного чехла не позволяет создавать обоснованные седиментационные, палеогеографические, сейсмо-стратиграфические, нефтегазгеологические и другие модели, что приводит к высоким и, возможно, экстремальным геологическим рискам при поиске УВ в этих морях.

Архивная и современная информация о веществе и его характеристиках, собранная на континентальной и островной суше, весьма плохо в условиях Восточно-Арктических морей коррелирует с морской частью.

Решение этой задачи возможно лишь при активизации буровых ГРП.

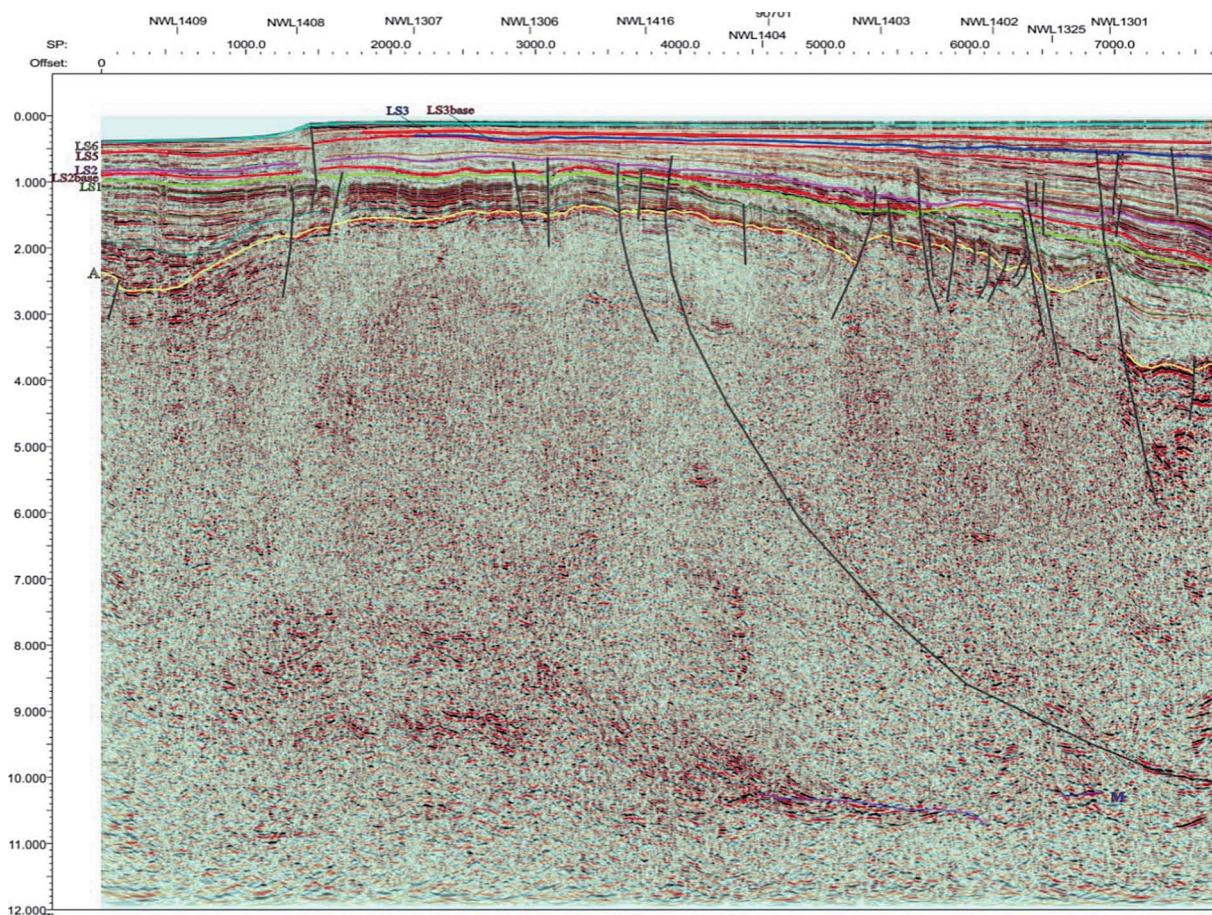


Рис. 6. Результаты полевых работ ГК2019.005, выполненные АО «Росгеология» в 2019 г.

Fig. 6. The results of field work of the state contract 2019.005, performed by JSC "Rosgeologiya" in 2019

Учитывая, что основная цель седиментационного моделирования заключается в реконструкции палеообстановок осадконакопления и прогнозе распределения фаций [7], комплекс полученных геолого-геофизических данных по бурению с учетом результатов сейсмостратиграфического, статистического, атрибутивного и прочих анализов волнового поля позволят построить базовые седиментационные модели и спрогнозировать развитие коллекторских толщ на региональном уровне. По мере поступления новой информации базовая модель будет детализироваться с выходом на зональные и локальные модели.

Оптимальный комплекс включает в себя параметрическое бурение и геофизические исследования, преимущественно сейсморазведку.

А. Постановка параметрического бурения с решением, по возможности, поисковых задач с целью изучения вещественного состава отложений осадочного чехла, их характеристик, прежде всего ФЕС, возможной нефтегазоносности разреза.

Предлагаются два варианта бурения:

а) опорное глубокое морское бурение или прибрежное/островное с функциями поискового бурения с отбором керна и геофизическими исследованиями (ГИС); такое бурение, по крайней мере в морской части региона, является финансово-затратным и требующим использования высокотехнологического оборудования;

б) менее затратное — опорное структурно-стратиграфическое (ССБ) мелкое (до 150—250 м) бурение по линиям профилей в областях выхода разновозрастных осадочных комплексов на дно моря или под четвертичные отложения с отбором керна и проведением ГИС-исследований.

Второй тип бурения должен предваряться проведением высокоразрешающей сейсморазведки до глубин 800—1000 метров с целью корректного выбора линий заложения мелких скважин и последующей стратиграфической и литологической привязки через них результатов бурения к большой сейсмике.

Б. Геофизические исследования, прежде всего сейсморазведка (2D, на поисковом этапе 3D). В связи с отсутствием надежных технологий разведки и добычи УВ в районах высокоширотной Арктики, высокими финансовыми затратами и экологическими рисками при разведке и добыче месторождений предлагается сосредоточить ее в прибрежных (транзитных) зонах моря Лаптевых.

Основная цель геофизических исследований — выявление крупных ловушек УВ в мелководных и транзитных зонах, разведка которых

возможна наклонным бурением с береговой линии или островов.

Одним из таких районов нераспределенного фонда недр, где вероятно открытие мелководных и транзитных месторождений нефти и газа, значится мелководье, прилегающее с севера, северо-запада и запада к дельте р. Лены (участки 1 и 3).

Основным методом поиска ловушек остается сейсморазведка в транзитных технологиях.

Основные задачи:

Задача № 1. Выявление объектов поискового бурения.

Постановка комплекса геолого-геофизических исследований (сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка) на участках № 1 и 2 нераспределенного фонда недр с целью выявления и оконтуривания ловушек различного типа.

Постановка структурно-стратиграфического бурения в прибрежных зонах участков с целью изучения вещественного состава и возраста отложений, выходящих на дно моря или под четвертичные отложения.

Задача № 2. Подготовка объектов к поисковому бурению.

Практически все объекты, которые можно готовить к поисковому бурению, расположены на лицензионных блоках АО «Роснефть» (рис. 2). Для подготовки их к поисковому бурению рекомендуется детализация их геологического строения сейсмическими методами по технологии 3D с привлечением высокоточной гравиразведки с целью выбора точек заложения поискового бурения, а также оценки их локализованных ресурсов. Первоочередными являются объекты, характеризующиеся большой площадью, признаками УВ-насыщения по результатам моделирования и прогноза разреза и высоким потенциалом на настоящее время.

Обзор состояния изученности и результатов геолого-геофизических исследований позволяет сделать заключение о необходимости развития в акватории, в том числе в границах лицензионного блока АО «Газпром», регулярной сети региональных геолого-геофизических наблюдений и ее последовательного сгущения. Что касается расположения района, в котором эти исследования должны развиваться в первую очередь, то, кроме перечисленных выше, таким районом также следует считать Жоховско-Новосибирский район акватории, соответствующий центральной части Новосибирского прогиба. Этот район, с одной стороны, характеризуется наиболее мощным и, вероятно, наиболее полным стратиграфическим разрезом, а с другой,

учитывая развитие по периферии бассейна и во внутренней структуре зон градиентов мощностей, может содержать значительное количество разнотипных, в том числе крупных потенциальных ловушек углеводородов.

По результатам выполненных исследований [3—6, 9—11, 13] могут быть сформулированы следующие рекомендации по дальнейшему развитию ГРП на лицензионном участке.

1. Выполнение региональных сейсмических исследований в рамках лицензионного участка в районах полного отсутствия сейсмических исследований или их недостаточной плотности с целью уточнения структурной и нефтегазогеологической модели, составленной в данном отчете. Их проведение желательно с выходом за пределы участка до полного сопряжения с ограничивающими тектоническими элементами

2. С целью изучения вещественного состава рекомендуется постановка бурения структурно-стратиграфических скважин с предварительным выполнением определенного объема высокоразрешающей сейсморазведки (глубиной до 1000 м) для выявления участков возможного выхода (выклинивания) под дно моря или под маломощные четвертичные отложения кайнозойских, мезозойских, возможно, палеозойских отложений с целью оконтуривания этих зон и дальнейшей постановки структурного бурения с глубиной скважин 200—500 м по линиям профилей, пересекающих их, с отбором керна (по возможности по всему стволу скважины) и последующим его лабораторным анализом

3. Определение литологии и нефтегазогеологических свойств, возраста отложений для обоснования стратификации отражений на сейсмических разрезах.

4. Кроме того, следует выполнить отбор образцов из триасовых и более древних отложений (девон, карбон) в западной части о-ва Врангеля, их лабораторное изучение с целью определения их коллекторских и генерационных свойств для дальнейшего использования при выполнении бассейнового моделирования.

5. Уточнить по новым геолого-геофизическим данным и результатам моделирования региональную и поисковую модели лицензионного участка и разведочные модели на перспективные объекты, уточнить оценки их УВ потенциала.

Очередность проведения поисковых сейсмических исследований определяется исходя из геологических предпосылок, размеров вы-

явленных объектов, прослеживаемости структуры по разрезу и предварительной оценки их прогнозных ресурсов.

В плане проведения поисково-оценочных ГРП необходимо в неизученных или слабоизученных районах (прежде всего Северо-Чукотский прогиб) завершить стадию выявления объектов поискового бурения.

В районах, в которых уже выявлены перспективные объекты (район Врангелевского поднятия), рекомендуется проведение ГРП поискового характера с целью подготовки объектов к поисковому бурению и оценки их локализованных перспективных ресурсов УВ.

Исследуемая территория Восточной Арктики в большей части залицензирована (рис. 7). Лицензии принадлежат в основном Роснефти, Газпромнефти, а также Росгеологии. Часть нераспределенного фонда включает малоперспективные области в пределах распространения незначительной мощности осадочного чехла в Восточно-Сибирском море.

На основании выполненного нефтегазогеологического исследования в пределах области исследования выделены два участка, рекомендованные для лицензирования: Южно-Лаптевский и Де-Лонга (рис. 7).

Первоочередным является **Южно-Лаптевский перспективный участок**, который располагается в южной-юго-восточной части моря Лаптевых. Площадь участка составляет 226 600 кв. км. С севера он ограничен лицензионными площадями Роснефти, с юга — береговой линией. Южная часть участка попадает в транзитную зону и находится за пределами области исследования по данному проекту. В соответствии с проведенным нефтегазогеологическим районированием Южно-Лаптевский перспективный участок принадлежит Лаптевоморской СНГО и включает перспективные земли III и IV категории.

В пределах участка прогнозируется три этажа нефтегазоносности: апт-верхнемеловой, палеоцен-эоценовый и олигоцен-миоценовый.

Суммарные начальные прогнозные геологические ресурсы по данным выполненного моделирования могут составить от 7 до 13 млрд т УТ в зависимости от типа керогена (табл. 1). Кроме этого, судя по общей геологической картине и результатам проведенного моделирования, дополнительный ресурсный потенциал может обеспечить не изученная пока южная часть участка, расположенная в транзитной зоне.

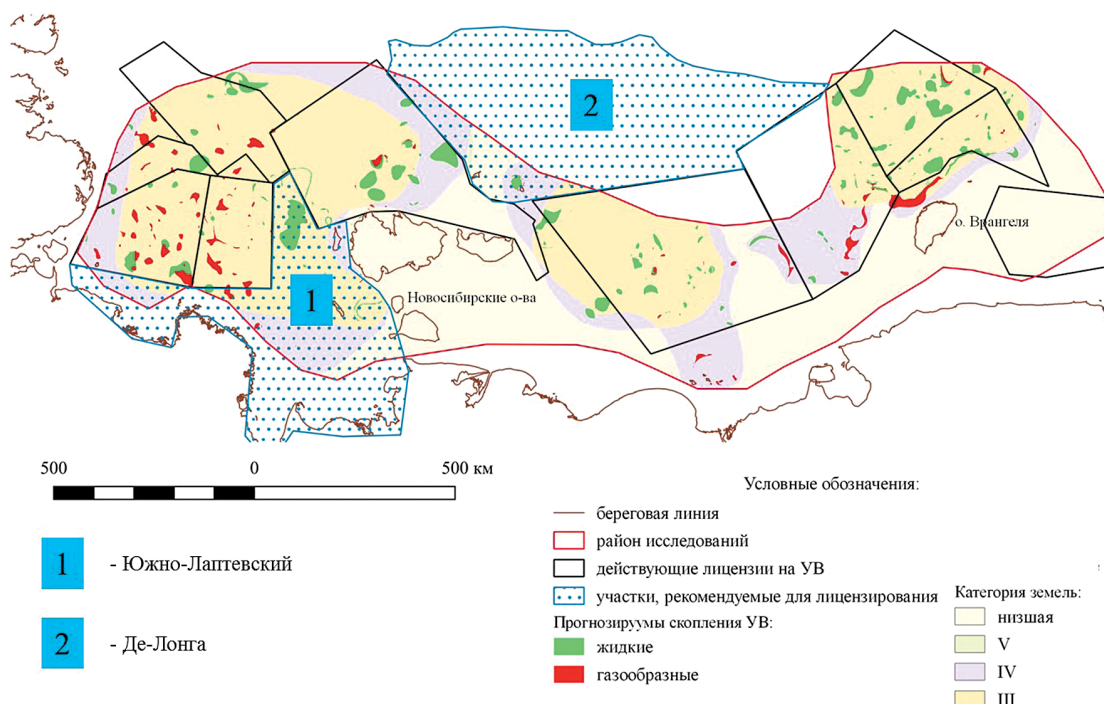


Рис. 7. Схема расположения перспективных участков Восточной Арктики
Fig. 7. Layout of promising areas of the Eastern Arctic

Результаты моделирования показывают, что наиболее продуктивен неогеновый комплекс, наименее — меловой (табл. 1).

В неогеновой части разреза прогнозируются преимущественно жидкие УВ независимо от типа керогена. Доля газообразных УВ в меловом и палеогеновом комплексах может варьировать от трети до двух третей от общего количества.

Глубина залегания неогеновых отложений в пределах участка составляет 1÷3 км, залежи прогнозируются на глубинах 1÷2 км. Скопления УВ в палеогеновой части осадочного чехла ожидаются на глубинах около 5 км, при общей глубине залегания отложений от 6÷7 до 1÷2 км. На глубинах 7÷8 км прогнозируются скопления углеводородов мелового перспективного комплекса.

В качестве объекта второй очереди рекомендован **перспективный участок Де-Лонга** (рис. 7), расположенный преимущественно в пределах Восточно-Сибирского моря. С юга участок ограничен лицензионными площадями, принадлежащими нефтяным компаниям «Роснефть» и «Газпромнефть», с севера — бровкой шельфа. Его площадь составляет 286 600 кв. км.

Большая часть перспективного участка располагается вне области исследования настоящего проекта, поэтому полноценно охарактеризовать его перспективы пока не представляется возможным. Тем не менее, судя по полученным данным, рассматриваемая территория представляет интерес с точки зрения поисков углеводородного сырья по следующим основаниям:

Таблица 1. Перспективы нефтегазоносности Южно-Лаптевоморского перспективного участка
Table 1. Prospects for the oil and gas potential of the Yuzhno-Laptevomorsky promising area

Перспективный комплекс	Начальные прогнозные геологические ресурсы, млн т УТ (III тип)	Газ/нефть, %	Начальные прогнозные геологические ресурсы, млн т УТ (II тип)	Газ/нефть, %
Неогеновый	4125,27	22/78	8408,04	4/96
Палеогеновый	2459,47	43/57	3561,29	27/73
Меловой	712,92	75/25	1046,66	46/54
Итого:	7297,66		13 015,99	

- юго-восточная часть участка включает области аккумуляции Новосибирской аптской, Лаптево-морской палеоцен-эоценовой, Восточно-Сибирской аптской и палеоцен-эоценовой ГАУС и относится к перспективным землям IV категории;

- Восточно-Сибирский и Лаптевоморский бассейны и соответственно указанные ГАУС не замкнуты на севере, а ограничены областью моделирования, что обусловлено отсутствием кондиционных сейсмических данных для структурных построений;

- исходя из прогнозируемых глубин залегания олигоцен-миоценовых отложений, эта часть разреза может обеспечить существенный углеводородный потенциал.

Заключение

С целью уточнения ресурсного потенциала Южно-Лаптевоморского перспективного участка рекомендуется поэтапное его доизучение.

1. Переобработка имеющихся двухмерных сейсморазведочных данных.

2. Переинтерпретация материалов сейсморазведки с применением современных методов полнообъемной интерпретации и последующее

масштабируемое детализированное моделирование бассейна и ГАУС.

3. Обоснование и проектирование дополнительных сейсморазведочных работ 2D в транзитной зоне.

4. Обработка, интерпретация новых геофизических данных и актуализация геологической модели. Уточнение ресурсного потенциала участка. Разработка программы ГРП.

5. Проектирование сейсморазведочных работ 3D в пределах выявленных перспективных объектов.

Исходя из изложенного, в задачи исследования участка Де-Лонга входит следующее.

1. Проведение сейсморазведочных работ 2D регионального уровня с целью определения границ осадочных бассейнов.

2. Проведение обработки и интерпретации материалов сейсморазведки с применением современных методов полнообъемной интерпретации и последующее моделирование бассейна и ГАУС, включая олигоцен-миоценовую часть осадочного чехла.

3. Оценка перспектив участка на основании результатов моделирования и принятие решение о целесообразности и направлениях его дальнейшего доизучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В.А., Рогов М.А. Стратиграфические и палеогеографические предпосылки поисков нефти и газа в верхнеюрских-нижнемеловых осадочных толщах морского генезиса обрамления моря Лаптевых. Арктика: экология и экономика, 4 (16), с. 38—47.
2. Каширцев В.А., Конторович А.Э., Иванов В.Л., Сафронов А.Ф. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы. Геология и геофизика, 2010, Т. 51, № 1, с. 93—105.
3. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Мустаев Р.Н., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Условия формирования и генерационный потенциал углеводородных систем Восточной Арктики // Недропользование XXI век. 2020. № 4 (87). С. 28—37.
4. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла Восточно-Арктических акваторий. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;1(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>
5. Керимов В.Ю., Щербина Ю.В., Иванов А.А. Условия формирования и эволюция нефтегазоматеринских толщ Лаптевской нефтегазоносной провинции. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;(3):46—59. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-46-59>
6. Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Моделирование углеводородных систем и количественная оценка углеводородного потенциала восточно-арктических морей. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;63(4):23—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-23-38>
7. Староверов В.Н. К методике построения седиментационных моделей. Недра Поволжья и Прикаспия, 2016, № 88. С. 45—57.
8. Шурыгин Б.Н., Дзюба О.С. Границы юры и мела на севере Сибири и бореально-тетическая корреляция приграничных толщ. Геология и геофизика, 2015, 56 (4), с. 830—844.
9. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Generation and Accumulation Hydrocarbon Systems in the Eastern Arctic Waters IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No 666 (5). [this link is disabled.](https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/5/052001)
10. Vagif Kerimov, Elena Lavrenova, Yulia Scherbina, Rustam Mamedov. Results of modeling the hydrocarbon systems of the Eastern Arctic. Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting (MedGU-21) Paper number 240.
11. Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Mamedov R.A., Shcherbina Yu.V. East Arctic Offshore Petroleum Systems Analysis Geomodel 2021 — 23th Scientific Practical Conference on Oil and Gas Geological

- Exploration and Development. Volume 2021, p. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157011>
12. Otis R., Schneiderman N. A Process for Evaluating Exploration Process. AAPG Bulletin. 1997. No 81(7). P. 1087—1109
13. Shcherbina Yu.V. Sources, Conditions of Generation and Accumulation of Hydrocarbons in Sedimentary Basins of The Laptev Sea Based on The Results of Basin Modeling. Tyumen Mar 2021, Vol. 2021. P. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150037>

REFERENCES

1. Zakharov V.A., Rogov M.A. Stratigraphic and paleogeographic prerequisites for oil and gas exploration in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous sedimentary strata of the marine genesis of the Laptev Sea framing. (In Russian). Arctic: Ecology and Economics, 4(16), pp. 38—47.
2. Kashirtsev V.A., Kontorovich A.E., Ivanov V.L., Safonov A.F. Deposits of natural bitumen in the northeast of the Siberian platform. Geology and Geophysics, 2010, vol. 51, No. 1, pp. 93—105. (In Russian).
3. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Shcherbina Yu.V., Mammadov R.A. Conditions of formation and generation potential of hydrocarbon systems of the Eastern Arctic // Nedropolzovanie XXI vek. 2020. No. 4 (87). P. 28—37 (In Russian).
4. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of east Arctic water areas. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020. No 1 (1). P. 19—29 (In Russian). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>
5. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Ivanov A.A. Formation conditions and evolution of oil and gas source strata of the Laptev sea shelf ore and gas province. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020. No 3. P. 46—59 (In Russian). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-3-46-59>
6. Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Modeling of hydrocarbon systems and quantitative assessment of the hydrocarbon potential of Eastern Arctic seas. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2020;63(4):23—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-4-23-38>
7. Staroverov V.N. On the methodology of construction of sedimentation models. From the Depths of the Volga Region and the Caspian Sea. 2016, No 88, pp. 45—57 (In Russian).
8. Shurygin B.N., Dzyuba O.S. The boundaries of the Jurassic and Cretaceous in northern Siberia and boreal-tectonic correlation of boundary strata. Geology and Geophysics, 2015, 56 (4), pp. 830—844 (In Russian).
9. Kerimov V.Yu., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Generation and Accumulation Hydrocarbon Systems in the Eastern Arctic Waters IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled. 2021. No 666 (5).
10. Vagif Kerimov, Elena Lavrenova, Yulia Scherbina, Rustam Mamedov. Results of modeling the hydrocarbon systems of the Eastern Arctic. Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting (MedGU-21) Paper number 240.
11. Lavrenova E.A., Kerimov V.Yu., Mamedov R.A., Shcherbina Yu.V. East Arctic Offshore Petroleum Systems Analysis Geomodel 2021 — 23th Scientific Practical Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. Volume 2021, p. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157011>
12. Otis R., Schneiderman N. A Process for Evaluating Exploration Process. AAPG Bulletin. 1997. No 81(7). P. 1087—1109.
13. Shcherbina Yu.V. Sources, Conditions of Generation and Accumulation of Hydrocarbons in Sedimentary Basins of The Laptev Sea Based on The Results of Basin Modeling. Tyumen Mar 2021., Vol. 2021. P. 1—5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150037>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Щербина Ю.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, оформила и выполнила перевод статьи на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Керимов В.Ю. — присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Касьянова Н.А. — присоединилась к подготовке текста статьи, внесла коррективы в разделы, связанные с тектоническими условиями, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yulia V. Shcherbina — made the main contribution to the development of the concept of the article, designed and performed the translation of the article into English and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Vagif Yu. Kerimov — joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Natalya A. Kasyanova — joined the preparation of the text of the article, made adjustments to the sections related to tectonic conditions, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

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

Абдуллаева В.К. — присоединилась к подготовке текста статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valida K. Abdullayeva — joined the preparation of 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 AUTHORS

Щербина Юлия Витальевна* — ведущий специалист 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: scherbinauv@mgri.ru
тел.: +7 (915) 024-93-03
SPIN-код: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Yulia V. Shcherbina* — leading specialist in the Department of fundamental and applied scientific research, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: scherbinauv@mgri.ru
tel.: +7 (915) 024-93-03
SPIN-code: 3225-9373
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

Керимов Вагиф Юнусович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: kerimovvy@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77, доб. 21-12
SPIN-код: 9696-1364
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

Vagif Yu. Kerimov — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., academician of the RAS, Head 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: kerimovvy@mgri.ru
tel.: +7 (495) 461-37-77, add. 21-12
SPIN-code: 9696-1364
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

Касьянова Наталья Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: kasyanovana@mgri.ru
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-20
SPIN-код: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>

Natalya A. Kasyanova — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Head of the Department of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: kasyanovana@mgri.ru
tel.: +7 (495) 255-15-10, add. 21-20
SPIN-code: 1528-5332
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1662-9458>

Абдуллаева Валида Кафар кызы — ассистент кафедры «Нефтегазовая геология» Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности.

16/21, Азадлыг ул., г. Баку AZ1010, Азербайджан
e-mail: valida.abdullayeva@asoiu.edu.az
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2085-2484>

Valida K. Abdullayeva — assistant in the Department of Oil and Gas Geology, Azerbaijan State Oil and Industry University.

16/21 Azadlig Avenue, Baku AZ1010, Azerbaijan
e-mail: valida.abdullayeva@asoiu.edu.az
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2085-2484>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ПРИВОДАМИ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОЙ И ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

М.Ю. КРЫЛКОВ, И.Н. ОЛИВЕТСКИЙ*

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Мировые технологии в геолого-разведочном бурении и горном деле в настоящее время быстро меняются. Научный прогресс в этой области плавно смещается в Азию. Он характеризуется главным образом проникновением сетевых технологий в производство. Происходит все более и более глубокое проникновение цифровых технологий в производственные технологии. Общество начало существенно делиться на творческую часть, разрабатывающую (проектирующую) эти цифровые технологии, и людей с образованием бакалавра, то есть способных правильно запускать и контролировать конкретные автоматизированные процессы. Особенно это стало видно с появлением и развитием 4-го поколения автоматизации. Период 2008—2009 годы считается началом цифровой трансформации в жизни человека из-за превращения интернета людей в интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT). Такой подход получил название «Индустрия 4.0» или «Промышленный интернет вещей» (IIoT).

Цель. Изучение трансформации в управлении приводами геолого-разведочной и горной техники.

Материалы и методы. Приведены методы и примеры управления геолого-разведочным и горным оборудованием.

Результаты. Рассмотрены основные тенденции трансформации в управлении приводами геолого-разведочной и горной техники.

Заключение. Суть современной цифровой управляющей системы заключается в ее возможности перепрограммирования управляющих контроллеров на основе методов активной и пассивной идентификации многокомпонентных многосвязных объектов управления, выполняемого в режиме реального времени. Для программируемых контроллеров разработан новый язык FCL (Flight Control Language), позволяющий использовать в управлении методы «Нечеткой логики» [5, 8]. Это контроллерный язык нечеткого управления, в котором используется новый тип данных «лингвистическая переменная» — числовая переменная, имеющая имя (давление, скорость вращения, температура и т.д.), с которой связаны лингвистические описания.

Ключевые слова: управление, привод, геологоразведка, цифровая трансформация

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Крылков М.Ю., Оливетский И.Н. Цифровая трансформация в управлении приводами геолого-разведочной и горной техники. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;63(6):35—45. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-35-45>

Статья поступила в редакцию 21.10.2021

Принята к публикации 17.12.2021

Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

DIGITAL TRANSFORMATIONS IN DRIVE CONTROL TECHNOLOGY FOR EXPLORATION AND MINING EQUIPMENT

MIKHAIL Yu. KRYLKOV, IVAN N. OLIVETSKIY*

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

ABSTRACT

Background. Technologies applied in geological exploration and mining are undergoing rapid transformations. The scientific progress in this field, which is shifting towards Asia, is characterized by the integration of network and production technologies. The modern society can be conventionally divided into the creative part, i.e. people designing digital technologies, and those operating these technologies. This has become particularly evident with the advancement of the 4th generation of automatics. The period of massive digital transformation started in 2008–2009 with the appearance of the Internet of Things (IoT). This process acquired the term *Industry 4.0* or Industrial Internet of Things (IIoT).

Aim. To study current digital transformations in drive control technology applied in exploration and mining equipment.

Materials and methods. Methods and examples of controlling exploration and mining equipment are presented.

Results. The main trends in the development of drive control technology applied in exploration and mining equipment were examined.

Conclusion. Modern digital control systems are capable of re-programming controllers using an active or passive identification of multicomponent multiloop controlled objects in real time. The new Flight Control Language (FCL) designed for programmable controllers incorporates the methods of fuzzy logic [5,8]. This fuzzy control language uses a new type of data — a linguistic variable, which is a numerical variable with a name, e.g. pressure, rotation speed, temperature, etc., involved in linguistic descriptions.

Keywords: control, drive, exploration, digital transformation

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

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

For citation: Krylkov M.Yu., Olivetskiy I.N. Digital transformations in drive control technology for exploration and mining equipment. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):35—45. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-35-45>

Manuscript received 21 October 2021

Accepted 17 December 2021

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Мировые технологии в геолого-разведочном бурении и горном деле в настоящее время быстро меняются. Научный прогресс в этой области плавно смещается в Азию. Он характеризуется главным образом проникновением сетевых технологий в производство. Происходит все более и более глубокое проникновение цифровых технологий в производственные технологии. Общество начало существенно делиться на творческую часть, разрабатывающую

(проектирующую) эти цифровые технологии, и людей с образованием бакалавра, то есть способных правильно запускать и контролировать конкретные автоматизированные процессы. Особенно это стало видно с появлением и развитием 4-го поколения автоматизации [12]. Период 2008—2009 годы считается началом цифровой трансформации в жизни человека из-за превращения интернета людей в интернет вещей (англ. Internet of Things, IoT). Такой подход

получил название «Индустрия 4.0» или «Промышленный интернет вещей» (IoT).

Цифровая трансформация качественно изменяет традиционные производственные технологии, происходит повсеместное создание новых ценностей, внедряется искусственный интеллект, сетевые/полевые устройства сами стали общаться между собой, то есть появился промышленный интернет устройств, умных вещей, роботов и т.п.

Сразу отметим, что цифровая трансформация — это не оптимизация, оптимизация преследует цель выполнения каких-то критериев, а здесь все гораздо шире и глубже. Поясним. Например, в Китае благодаря сетевым цифровым технологиям удалось обуздать коронавирус, не вылететь всем, а именно удалось взять COVID-19 под контроль.

Раньше технический прогресс ознаменовывался изобретением или открытием чего-то, например были изобретены электрогенераторы/электродвигатели, появились линии электропередач, непрерывные металлургические производства, определившие появление и развитие энергетического машиностроительного общества. Изобретение компьютеров привело к информационному обществу.

Сейчас цифровая трансформация — это эволюция, спокойное развитие отраслей, связанное с развитием творческого общества. Происходит переход от информационного к творческому обществу, ориентированному на человеческую сущность людей (прежде всего ориентированному созиданию, созданию новой техники, открытию новых возможностей в технологиях, например, с приходом всеобщей так называемой цифровизации), позволяющую им творить, раздвигая границы возможного. При этом в производство пришли искусственный интеллект и цифровая автоматизация, уже основанная на анализе больших объемов информации, то есть то, что называют «большие данные» или big data. Тут же появляются и новые модели управления производством.

Одной из предпосылок для появления творческого общества («общества 5.0») является истощение недр, нехватка природных ресурсов, человеку приходится глубже проникать в недра земли, разведывать и разрабатывать северные и морские месторождения. Например, в Норильске добыча руд уже осуществляется на глубине более километра, проектируется шахта глубиной два километра.

В Японии «общество 5.0» является долгосрочной стратегией развития для решения

возникающих проблем (снижение конкурентоспособности, старение населения, пандемия, нарушение экологии, нехватка природных и трудовых ресурсов). Японская философия производства Монозукури связана со снижением затрат в рамках действующего производства, в более широком значении означает синтез технологического мастерства, ноу-хау и духа производственной практики Японии. Дух включает в себя искреннее отношение к производству с гордостью, умением и преданностью, а также стремление к инновациям и совершенству. Коротко, Монозукури — это интеллектуальное производство.

Важной особенностью цифровой трансформации в геологоразведке и горном деле является то, что она должна идти снизу: от станков и машин, от их приводов. Она должна идти снизу (от полевой автоматики) и вверх, а не в обратном направлении (рис. 1). Так и происходит у нас, например бурение станком СКБ-7 с сенсорным экраном, на котором установлена SCADA фирмы ИнСАР [5].

Первый верхний уровень включает в себя SCADA-систему и базу данных.

Еще выше — системы управления предприятием по методологиям MES и ERP.

Между нижним уровнем и верхним находится уровень edge computing (уровень периферийных, или граничных, вычислений), иногда его еще называют fog computing (туманные вычисления). В общих чертах под этой технологией подразумевается удаленный мониторинг и обработка данных непосредственно на IoT-девайсах. Сбор и анализ первичных данных здесь проводится не в централизованной вычислительной среде, а в реальном времени в распределенной вычислительной среде, там, где происходит генерация потоков данных (в программируемом логическом контроллере (ПЛК)). Это дает возможность разгрузить потоки данных, идущие на верхние уровни, от не нужной там информации. Нет необходимости передавать «грязные данные» вверх, туда, где они не нужны, следует с ними оперировать на нижнем распределенном уровне автоматики 4-го поколения.

Например, для определения главных факторов, влияющих на показатели производственного процесса, используется линейный многомерный статистический анализ данных, точнее, так называемый «метод вкладов» факторов/параметров в уравнение множественной регрессии [6,8]. Более того, здесь с помощью линейного многомерного регрессионного анализа возможно получить в реальном масштабе времени передаточные



Рис. 1. На нижнем (полевом) уровне находятся датчики, ПЛК и приводы экскаватора
Fig. 1. The lower (field) level contains sensors, PLCs and excavator drives



функции, например для экстремального управления приводами буровых установок при бурении скважины уже за части одного оборота бурового снаряда [12, 13], о чем пойдет речь ниже в этой статье.

С другой стороны, для применения методов искусственного интеллекта по распознаванию в реальном времени действующих на буровой снаряд технологических и геологических возмущений (их законов изменения) требуется хранить поступающие с датчиков данные для обучения САУ. При этом предполагается, что буровая система будет устойчива на отдельных отрезках времени, так как бессмысленно оценивать неустойчивые процессы. Хотя при бурении удары о стенки скважины бурового снаряда (рис. 2) периодически меняют его фазовые картины движения, при этом делая из неустойчивой системы в малом устойчивую систему в большом.

Поясним, откуда возникают эти возмущающие воздействия. На движение колонны буровых труб оказывают влияние реакции со стороны стенок скважины.

При этом данные воздействия могут быть непрерывными в виде трения скольжения и качения, а также и кратковременно действующими, ударными (рис. 2). При значительной глубине скважины в колонне буровых труб различают два участка: сжатый и растянутый (рис. 26). Ось колонны буровых труб при бурении принимает форму пространственной кривой переменной кривизны [8]. При вращении колонны могут возникать прямые и обратные прецессии [6, 8, 17].

Равномерное вращение искривленного бурового снаряда в криволинейной скважине невозможно, это, например, было показано при моделировании буровой колонны как стержня Коссера в статье [4, 15]. На вращение колонны буровых труб накладываются изгибно-крутильные волны. Описать математически такие сложные процессы, происходящие в колонне, непросто, да и решение таких уравнений (в частных производных) не всегда возможно, не говоря даже об определенности этих решений [7].

Определение структуры и параметров по наблюдениям (экспериментальным данным) принято называть идентификацией.

Если описывать передачу управления дифференциальным уравнением

$$A(p)y = B(p)x, \quad (1)$$

где $A(p) = a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p + 1$; $B(p) = b_l p^l + b_{l-1} p^{l-1} + \dots + b_1 p + b_0$;

$p^r \xrightarrow{\Delta} \frac{d^r}{dt^r}$, m — порядок уравнения из физических соображений $m \geq 1$, то связь между переменными на входе и выходе может быть найдена с помощью интеграла Дюамеля. Интеграл Дюамеля (интеграл свертки) выражается формулой

$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) w(t - \tau) d\tau = \int_0^t w(\tau) x(t - \tau) d\tau, \quad (2)$$

где $x(t)$, $y(t)$ — входной и выходной сигналы; $w(\tau)$ — импульсная переходная (весовая) функция

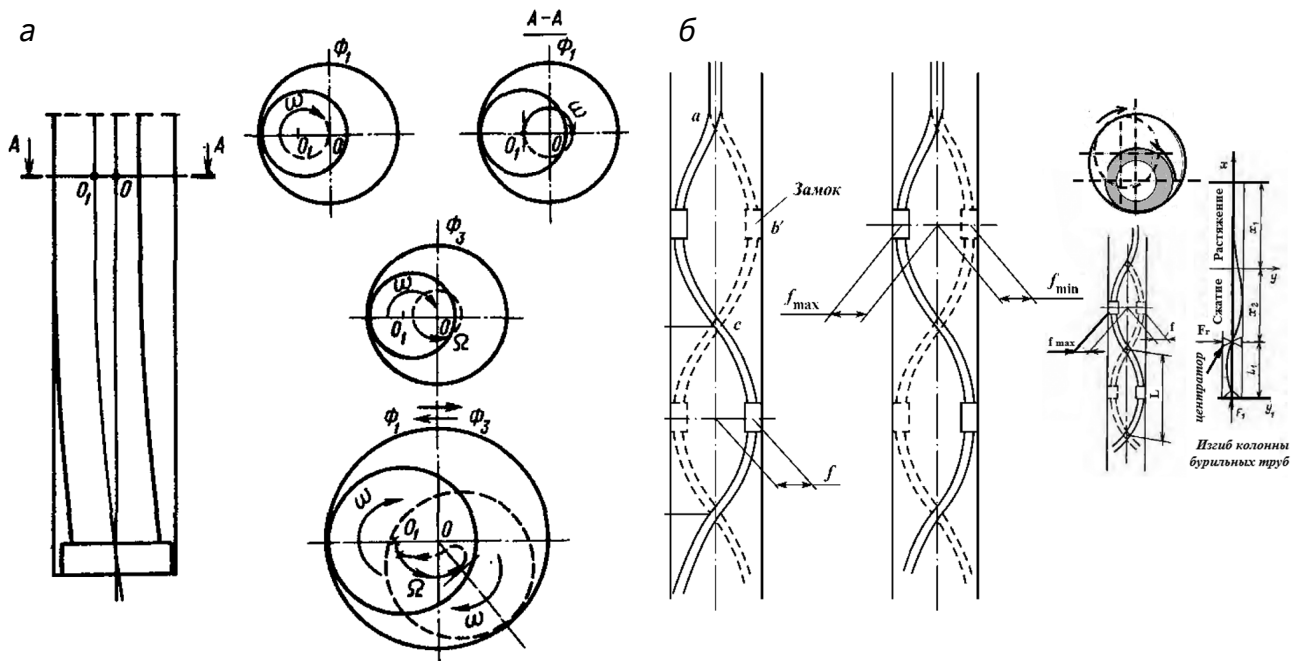


Рис. 2. Взаимодействие колонны буровых труб со стенками скважины: а) примеры форм движения (Φ_1, Φ_2, Φ_3) участка бурового снаряда в некотором произвольном сечении скважины (В.П. Зиненко [11]); б) аномальный износ поперечного сечения трубы (А.Е. Сароян [12])

Fig. 2. Interaction of the string of drill pipes with the borehole walls: а) examples of forms of movement (Φ_1, Φ_2, Φ_3) of a section of a drill string in a certain arbitrary section of the borehole (V.P. Zinenko [11]); б) abnormal wear of the pipe cross-section (A.E. Saroyan [12])

(ИПФ) объекта, т.е. сигнал $y(t)$ на выходе объекта, если входной сигнал $x(t)$ представляет собой дельта-функцию вида

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0, t > 0; \\ \infty, & \text{при } t = 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Выполнив преобразование Лапласа над интегралом свертки (2), получим уравнение связи между изображениями сигналов: $Y(p) = W(p)X(p)$, где $X(p)$ и $Y(p)$ — изображения входного и выходного сигналов; $W(p)$ — изображение ИПФ, которое называется передаточной функцией.

Передаточная функция может быть найдена также и из уравнения (1) с помощью простого преобразования $W(p) = B(p)/A(p)$, где p — комплексная переменная.

Определение оригиналов осуществляется с помощью обратного преобразования Лапласа — Фурье:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} X(p)e^{pt} dp.$$

Итак, в бурении стоит задача по наблюдаемым входным и выходным переменным определить уравнение связи (1) или переходную функцию колонны буровых труб. С помощью небольшого бурового эксперимента, меняя частоту вращения и осевую нагрузку, возможно для каждой конкретной ситуации (она меняется с увеличением длины скважины) получить график или таблицу чисел, определяющих значения сигналов на входе и выходе. Аппроксимировав аналитическим выражением полученные реализации, можно построить дифференциальное уравнение заданной типовой структуры.

При буровом эксперименте можно использовать известные ступенчатые, импульсные и гармонические входные сигналы. Последние образуются при изменении вписываемости вращающихся отдельных (искривленных) участков буровой колонны в профиль скважины с собственным искривлением (рис. 2). Очевидно, что мы имеем дело с периодической функцией от времени с периодом обратно пропорциональным скорости вращения бурового снаряда. Другими словами, она зависит от режима бурения, кривизны профиля скважины

в конкретном месте рассмотрения, конструкций скважины и бурового снаряда.

Однако при значительной длине скважины ударно прерывистый характер работы бурового снаряда в скважине не позволяет получить полные переходные функции. Отследить реакцию колонны бурильных труб (КБТ) на сигналы, несущие небольшую энергию на высоких частотах, затруднительно. КБТ является фильтром нижних частот, т.е. она значительно уменьшает амплитуды на высоких частотах. Поэтому точность определения передаточной функции в области высоких частот с помощью переходных функций весьма низка. На качестве идентификации с помощью переходных функций неблагоприятно сказываются также случайные помехи. Частично указанные недостатки устраняются при идентификации объекта частотными методами.

Метод логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик (ЛАФЧХ) возможно применить для определения коэффициентов передаточной функции колонны бурильных труб, рассматривая ее как комбинацию колебательного и апериодического звеньев. Данный метод предполагает наличие гармонического воздействия долгое время. Если рассматривать вписываемость искривленного участка колонны бурильных труб в искривленном участке скважины как источник такого сигнала, то мы можем, меняя скорости вращения, получить данные для построения ЛАФЧХ и на этой основе оценить коэффициенты типовых передаточных функций. Естественно предположить зависимость коэффициентов передаточной функции колонны бурильных труб от ее длины.

Возможность использования ударных нагрузок на колонну бурильных труб как аналог функции Дирака также не следует сбрасывать в методе пассивной идентификации работы бурового снаряда в скважине.

Далее следует понимать, где работают скоростные гигабитные технологии и медленные технологии передачи данных (промышленные протоколы типа **Modbus RTU**, **PROFIBUS**, **LON**, **CAN** и т.п.). Последние медленнее первых, потому что преследуют цель доставки качественных достоверных данных об объекте управления в ПЛК. Выше для соединения уровней автоматизации и для «общения» ПЛК между собой можно применять и высокоскоростные гигабитные технологии, в частности стандарты IEEE **802.3ah** и два гигабитных стандарта для оптоволокна: **1000BASE-LX10** и **1000BASE-BX10**.

Рассмотренный пример показывает, что для создания интеллектуального геолого-разведочного и горного производства нужно собрать информацию из производственных процессов с нижнего полевого уровня в реальном времени, произвести ее фильтрацию, обработать ее, отсеив грязные данные с помощью периферийных вычислений, и передать на верхние уровни автоматизации (рис. 1).

Большое количество зарубежных фирм в период санкций против России используют закрытые стандарты, преследуя рыночные цели получения прибыли за счет последующего совершенствования своих технологий, разрабатывая очередные новые закрытые методы, усовершенствования, переходя на новые разработки, более совершенные, и отказываясь от поддержки ранее выпущенных (устаревших технологий).

Огромное разнообразие протоколов и закрытых стандартов для работы контроллеров тормозит развитие и усложняет процесс внедрения решений по автоматизации. Поэтому появился новый стандарт TSN (Time Sensitive Networks), суть его в том, что все устройства в сети должны быть синхронизированы от общего эталона времени и образовывать единую и функционально совместимую инфраструктуру. При этом прокладывать специальные кабели не требуется, подойдут стандартные кабели «витая пара», дополнительно нужно будет в сетевых коммутаторах обновить прошивку для поддержки TSN. В 2018 году появляется такая открытая сетевая технология CC-Link IE TSN, объединяющая большинство протоколов передачи данных, которые поддерживаются различными производителями сетевого оборудования. Технология CC-Link IE TSN объединяет разные сети в единое поле передачи, позволяющее передавать большие объемы данных на сверхвысоких скоростях с привязкой к меткам времени, то есть с реализацией точной синхронизации данных по времени. Это дает возможность отслеживать большое число развивающихся событий в многочисленных часто переплетающихся между собой горных технологиях и на основе анализа полученных больших данных принимать правильные решения по управлению этими процессами в реальном времени.

Например, шахтная вентиляция, работа компрессоров, подъемных машин, освещение, электроснабжение работающих механизмов, управление горным давлением и т.д. при проходке горных выработок осуществляются одновременно. Встающие здесь задачи традиционно решались

человеком, однако лучшие решения на основе полного и быстрого учета всех данных дают современные программы искусственного интеллекта.

Эффективность современных производственных технологий определяется скоростью связи с приводами и сопоставимой скоростью процессора, обрабатывающего данные. Это, собственно, сейчас и будет влиять на новую технологию бурения скважин на твердые полезные ископаемые, когда решения по управлению магнитным полем электродвигателя привода бурового станка должны будут реализовываться за один оборот бурового снаряда и даже за его доли, на которых передаточная функция управления постоянна. На разных режимах будут свои передаточные функции, зависящие от профиля скважины, геолого-технических условий бурения и мультикасанний бурильщика сенсорных систем ввода (сенсорного экрана с мультитачем).

Для управления вращением бурового снаряда следует выбрать высокودинамичный привод [1, 2], а именно однодвигательный привод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и векторным управлением (рис. 3).

Отметим, что данный привод работает на полевом уровне современной промышленной автоматизации (рис. 4). Современная автоматика четвертого поколения отличается от остальных тем, что в ней широко поддерживаются интернет-технологии. Стирается граница между верхним и нижним уровнем управления (рис. 4). Автоматика

четвертого поколения обладает высокой степенью децентрализации, унификацией исполнения на устройствах различного типа, характеризуется кросс-платформенностью [12, 13, 5].

В третьем и четвертом поколениях автоматизируются децентрализованные полевые протоколы. В них каждый датчик и привод снабжен микроконтроллером, способным обрабатывать сигнал, реализовывать алгоритм управления и общаться по сети передачи данных не только с рабочей станцией АРМ АСУ ТП, но и между собой, и преобразователями частоты асинхронных двигателей в целях реализации оптимального алгоритма управления, например процессом геолого-разведочного бурения.

MasterSCADA — одна из ведущих отечественных SCADA- и SoftLogic-систем для АСУ ТП и MES.

После сделанного замечания о месте приводов в обобщенной структуре средств автоматизации технологического уровня, включающих приводы буровых станков, рассмотрим возможности векторного управления асинхронным электродвигателем (рис. 6) для этого конкретного случая.

Оценим возможность цифрового экстремального регулирования за время одного оборота колонны бурильных труб. Электропривод состоит из трех основных частей: электродвигателя, преобразователя и системы управления. Система управления получает входные сигналы с разных датчиков электропривода (двигателя) и от контроллеров, собирающих информацию о самом процессе бурения

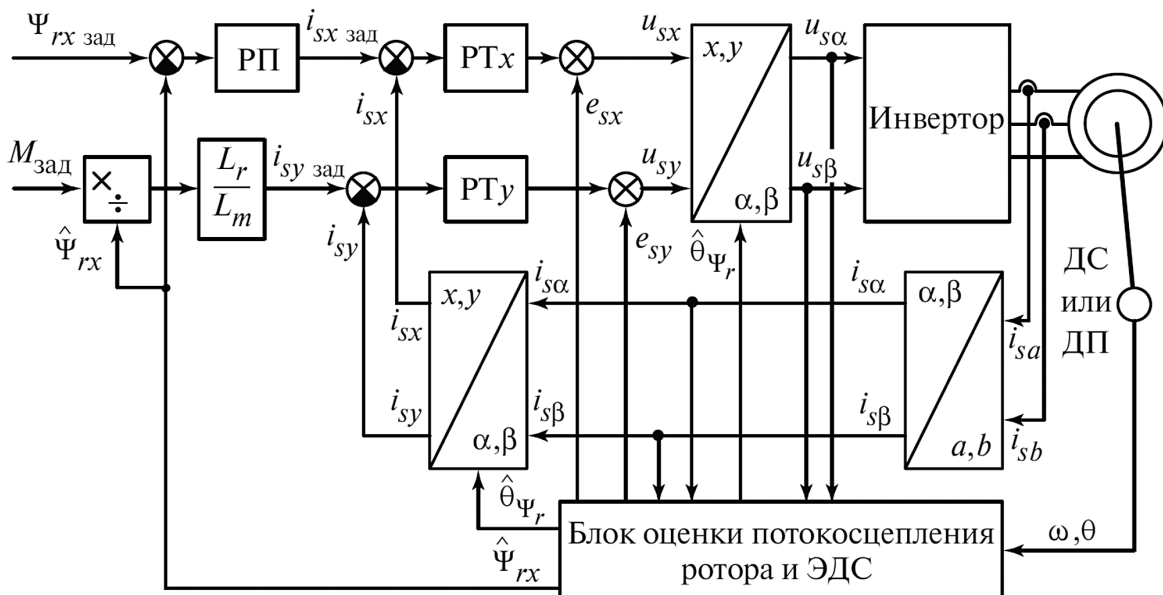


Рис. 3. Схема векторного управления асинхронным двигателем

Fig. 3. Scheme of vector control of an asynchronous motor

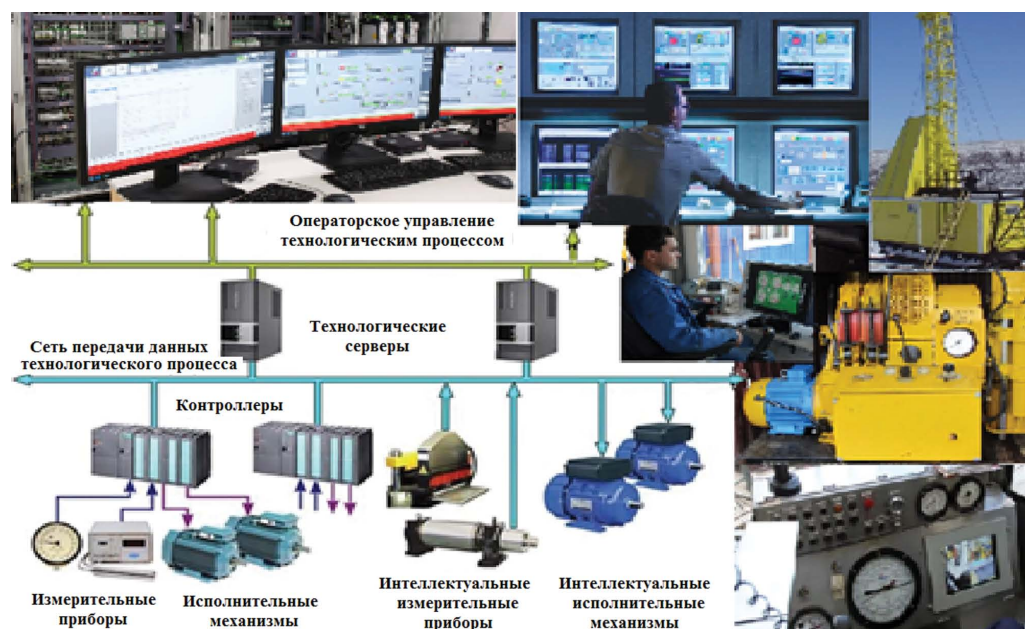


Рис. 4. Производственные уровни автоматизации АСУТП на базе автоматизации 4-го поколения
Fig. 4. Production levels of automation of process control systems based on 4th generation automation

для формирования управляющих сигналов (рис. 3, 6), и на основании этой информации формирует сигналы для инвертора, который обеспечивает (задает) требуемые амплитуду и угловое положение вектора напряжения (или тока) статора. При этом амплитуда и положение вектора потоко-сцепления ротора рассчитываются с помощью наблюдателя. Амплитуда и положение вектора потоко-сцепления ротора относятся к не измеряемым параметрам системы управления [1, 2].

Для реализации векторного управления нужно также задать параметры самого электродвигателя и параметры конструктивных особенностей. Нужно задать: количество пар полюсов, соединение обмоток двигателя (Y/Δ), сопротивления обмоток статора, индуктивности по осям d и q (рис. 6). Надо также определить момент инерции ротора, демпфирование, коэффициенты противо-ЭДС и трения. Эти параметры определяются экспериментально для каждого двигателя.

Регулирование скорости асинхронного двигателя (АД) осуществляется путем изменения частоты и текущих переменных асинхронного двигателя и взаимной ориентацией их векторов в декартовой системе координат. Система управления является многоконтурной, и необходимо оценить производительность контроллеров, чтобы они успевали рассчитывать управляющие сигналы для магнитного потока и момента двигателя. С помощью датчиков тока определяются токи фаз

статора, затем определяются токи ротора i_{rd} и i_{rq} (рис. 6) и их значения подаются на вход контроллера тока. Контроллер формирует опорные напряжения и отправляет их на широтно-импульсный преобразователь (ШИМ). ШИМ, в свою очередь, формирует команды инвертору для управления ключами. Дополнительно контроллеру токов добавляется контроллер скорости, компенсатор перекрестных связей и защита.

Рассмотренная структура должна постоянно осуществлять преобразования Кларка и Парка.

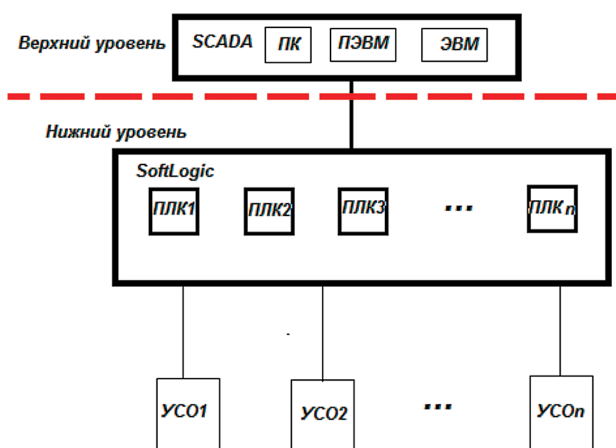


Рис. 5. Пояснение к тому, чем отличается автоматизация (управление) 3-го поколения от 4-го
Fig. 5. Explanation of how the 3rd generation automation (control) differs from the 4th

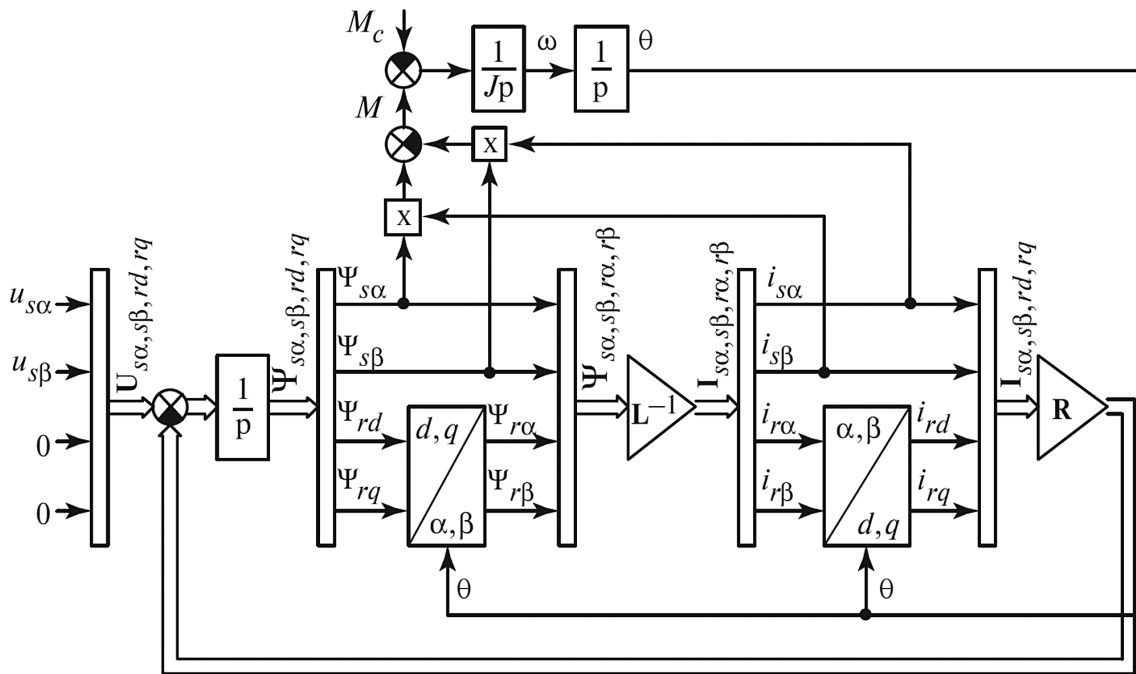


Рис. 6. Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [7]: p — оператор дифференцирования: $p = d / dt$; M_c — момент сопротивления

Fig. 6. Model of an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor [7]: p — differentiation operator: $p = d / dt$; M_c — moment of resistance

Три контроллера должны успеть выполнить свои вычисления за один оборот бурового снаряда, это за 0,03 секунды (если $\omega = 2000$ об/мин), или за 30 мс, или за 30 000 мкс. Что же дает современная электроника? Ее контроллеры работают на частоте 5 и 100 мкс, чего вполне достаточно для управления на одном обороте бурового снаряда. Современные контроллеры имеют производительность свыше 1 млн операций в секунду, обычно от десятков млн до сотен млн операций в секунду [13, 14]. Скорость передачи информации от датчиков, работающих на частоте, и их самих также достаточна для управления на «одном обороте бурового снаряда». Предполагается бездатчиковое управление, в крайнем случае использовать датчики на элементах Холла с CAN-интерфейсом.

Таким образом, в условиях автоматизации четвертого поколения возможно экстремальное регулирование работы приводов стационарных буровых установок за один оборот вращения бурового снаряда.

Расчеты параметров режима бурения по критериям оптимизации, естественно, выполняются на верхнем уровне SCADA-системы, например в отечественной системе MasterSCADA 4D. Она в рамках одного проекта позволяет программировать:

- 1) программируемые логические контроллеры (ПЛК);
- 2) локальные панели управления (HMI-панели);
- 3) рабочие места операторов (АРМ) [5, 12, 13].

Суть современной цифровой управляющей системы заключается в ее возможности перепрограммирования управляющих контроллеров на основе методов активной и пассивной идентификации многокомпонентных многосвязных объектов управления, выполняемого в режиме реального времени.

Для программируемых контроллеров разработан новый язык FCL (Flight Control Language), позволяющий использовать в управлении методы «Нечеткой логики» [5, 14]. Это контроллерный язык нечеткого управления, в котором используется новый тип данных «лингвистическая переменная» — числовая переменная, имеющая имя (давление, скорость вращения, температура и т.д.), с которой связаны лингвистические описания. Например, в бурении при смене разбуриваемых пород должна происходить своевременная инициализация значений параметров по выносимому на поверхность шламу и т.п., с учетом нечеткого геологического разреза.

Вопросу применения искусственного интеллекта для распознавания геолого-технических ситуаций в бурении будет посвящена следующая статья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.В., Козярук А.Е., Батулин С.В. Электрический привод. Моделирование приводов с векторным управлением горного оборудования: учебное пособие. СПб., 2012.
2. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.
3. Басинский В.Г., Жернаков А.П., Крылков М.Ю. Современные цифровые системы автоматического управления: учебно-методическое пособие к курсам «Автоматизация технологических процессов» и «Теория автоматического управления» для студентов специальности «горный инженер». М.: МГРИ-РГГРУ, 2018. 33 с.
4. Беляев А.К. Локальная неустойчивость вращения буровой колонны // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2008. № 1. С. 5—11.
5. Варламов И.Г. SCADA нового поколения. Эволюция технологий — революция системостроения // Автоматизированные информационно-управляющие системы в энергетике. 2016. № 2 (79). С. 2—6.
6. Воробьев Г.А. Оптимизация работы сжатой зоны буровой колонны: дисс. ... канд. техн. наук: 04.00.19. М., 1984. 302 с.
7. Горицкий А.Ю., Кружков С.Н., Чечкин Г.А. Квазилинейные уравнения с частными производными первого порядка: обобщенные решения, ударные волны, центрированные волны разряжения. Краткое учебное пособие. М.: Изд-во мехмат ф-та ВГУ, 1999.
8. Зиненко В.П. Направленное бурение: учеб. пособие для вузов. М.: Недра, 1990. 152 с.
9. Елисеев В.В. Механика упругих тел. СПб.: Изд-во С.-Петербургского политехнического университета, 1999.
10. Крылков М.Ю. Оценка информации о геологоразведочном бурении с помощью многофакторного анализа // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1981, № 4. С. 144—150.
11. Крылков М.Ю. Об оперативном управлении бурением на базе мини- и микро-ЭВМ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1981. № 7. С. 62—66.
12. Крылков М.Ю., Крылков Н.М., Латышев Г.В. Автоматизация колонкового алмазного бурения. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва: Российский государственный геологоразведочный университет, 8—10 апреля, 2015 г.): в 2 т.: доклады. Т. 1. С. 61—62. М.: МГРИ-РГГРУ, 2015. 576 с.
13. Крылков М.Ю., Крылков Н.М., Латышев Г.В. Распределенная автоматизированная система управления алмазным колонковым бурением // Математика, информатика, естествознание в экономике и обществе: труды Всероссийской научной конференции: в 2 т. М.: МФЮА, 2016. Т. 1. С. 113—117.
14. Крылков М.Ю., Оливетский И.Н. Цифровые системы управления производственными процессами. Пособие к курсу «Автоматизация технологических процессов»: учебно-методическое пособие для студентов специальности «горный инженер». М.: МГРИ-РГГРУ, 2020. 38 с.
15. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Наука, 1961. 824 с.
16. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, парадоксы и ошибки. М.: Наука, 1987. 352 с.
17. Сароян А.Е., Оганов Г.С., Ширин-Заде С.А. Проектирование и эксплуатация буровой колонны. М.: ВНИИОЭНГ, 2010. 380 с.

REFERENCES

1. Alekseev V.V., Kozyaruk A.E., Baturin S.V. Electric drive. Modeling of drives with vector control of mining equipment. St. Petersburg, 2012.
2. Anuchin A.S. Control systems for electric drives: a textbook for universities. Moscow: MPEI, 2015. 373 p.
3. Basinsky V.G., Zhernakov A.P., Krylkov M.Yu. Modern digital automatic control systems: teaching aid for the courses "Automation of technological processes" and "Theory of automatic control" for students of the specialty "mining engineer". Moscow: MGRI-RGGRU, 2018. 33 p.
4. Belyaev A.K. Local instability of the drill string rotation // Ecological Bulletin of Scientific Centers of the BSEC. 2008. No. 1. P. 5—11.
5. Varlamov I.G. SCADA of a new generation. Evolution of technologies — revolution of system engineering // Automated information and control systems in the power industry. 2016. No. 2 (79). P. 2—6.
6. Vorobyev G.A. Optimization of work of the compressed zone of the drill string: dissertation of the candidate: 04.00.19. Moscow, 1984. 302 p.
7. Goritsky A.Yu., Kruzhkov S.N., Chechkin G.A. First order quasilinear partial differential equations: generalized solutions, shock waves, centered discharge waves. A short tutorial. Publishing house of the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Voronezh State University. 1999.
8. Zinenko V.P. Directed drilling: textbook. manual for universities. Moscow: Nedra, 1990. 152 p.
9. Eliseev V.V. Mechanics of elastic bodies. St. Petersburg Polytechnic University Publishing House, 1999.
10. Krylkov M.Yu. Evaluation of information on exploration drilling using multivariate analysis Proceedings of higher educational institutions. Geology and exploration. 1981. No. 4. P. 144—150.
11. Krylkov M.Yu. On the operational control of drilling on the basis of mini- and micro-computers. Proceedings of higher educational institutions. Geology and exploration. 1981. No. 7. P. 62—66.

12. Krylkov M.Yu., Krylkov N.M., Latyshev G.V. Automation of diamond core drilling. XII International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Geosciences" (Moscow: Russian State Geological Prospecting University, April 8—10, 2015): in 2 volumes: reports. T. 1. P. 61—62. Moscow: MGRI-RGGRU, 2015. 576 p.
13. Krylkov M.Yu., Krylkov N.M., Latyshev G.V. Distributed automated control system for diamond core drilling. // Mathematics, informatics, natural science in economics and society. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference: in 2 volumes. Moscow: MFYuA, 2016. T. 1. P. 113—117.
14. Krylkov M.Yu., Olivetskiy I.N. Digital control systems of production processes: textbook for the course "Automation of technological processes": a teaching aid for students of the specialty "mining engineer". Moscow: MGRI-RGGRU, 2020. 38 p.
15. Lurie A.I. Analytical Mechanics. Moscow: Nauka, 1961. 824 p.
16. Panovko Ya.G., Gubanov I.I. Stability and oscillations of elastic systems: Modern concepts, paradoxes and errors. Moscow: Nauka, 1987. 352 p.
17. Saroyan A.E., Oganov G.S., Shirin-Zade S.A. Design and operation of the drill string. Moscow: VNIIOENG, 2010. 380 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

Mikhail Yu. Krylkov — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Ivan N. Olivetskiy — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Крылков Михаил Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, автоматизации и энергетики горных и геолого-разведочных работ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: krilkovmi@mgri.ru
тел.: +7 (925) 881-03-98
SPIN-код: 9637-9330
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0306-6238>

Оливетский Иван Николаевич* — кандидат технических наук, доцент кафедры механизации, автоматизации и энергетики горных и геолого-разведочных работ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: olivetskiyin@mgri.ru
тел.: +7 (925) 739-85-91
SPIN-код: 4753-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8320-5890>

Mikhail Yu. Krylkov — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Department of Mechanization, Automation and Energy of Mining and Geological Exploration Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: krilkovmi@mgri.ru
tel.: +7 (925) 881-03-98
SPIN-code: 9637-9330
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0306-6238>

Ivan N. Olivetskiy* — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Department of Mechanization, Automation and Energy of Mining and Geological Exploration Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: olivetskiyin@mgri.ru
tel.: +7 (925) 739-85-91
SPIN-code: 4753-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8320-5890>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ VIS-NIR-SWIR-СПЕКТРОСКОПИИ С ЦЕЛЬЮ КАРТИРОВАНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО- МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ФЛАНГАХ УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТОЛБОВОЕ (ВОСТОЧНОЕ ПРИСАЯНЬЕ)

Е.Н. КАРМАНОВ^{1,2,*}, Н.В. ЛЕДЕНЕВА¹, В.А. РАССУЛОВ¹, А.В. ТОМАШЕВ¹

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского»
31, стр. 1, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Месторождение Столбовое расположено в северной части Восточного Саяна, находится в Нижнеудинском районе Иркутской области, в пределах листа N-47-IX. Опоискование территории началось с 60-х гг. прошлого века. В результате проведенных работ по прямым признакам (радиоактивность) было найдено месторождение Столбовое. В то же время поиски не были нацелены на выявление месторождений скрытого типа под рифейским чехлом, поэтому большая часть территории осталась непоискованной.

Цель исследования. Детальное картирование и типизация проявленных околорудных гидротермально-метасоматических изменений на флангах уранового месторождения Столбовое.

Материалы и методы. В период 2018—2020 гг. сотрудниками ФГБУ «ВИМС» в рамках поисковых работ проводилось картирование околорудных изменений, в том числе с применением инновационного метода ИК-спектроскопии. Диагностика минерализации проводилась с использованием портативного спектрометра TerraSpec 4 Hi-Res. С помощью прибора было проведено измерение спектров диффузного отражения в Ultraviolet-Visible-Short-wave infrared (UV-Vis-SWIR) диапазонах и определен состав различных минеральных фаз с использованием базы данных и программного обеспечения TSGVersion 7.

Результаты. Показана эффективность применения метода для диагностики всех разновидностей глинистых (каолинит, монтмориллонит), тонкослюдистых (фенгит, серицит, парagonит и их иллитовые разновидности) минералов, карбонатов (доломит, анкерит, сидерит) и хлоритов в породе *in situ* или в образцах без предварительной пробоподготовки.

Заключение. Исследования, проведенные данным методом по керну и образцам уранового месторождения Столбовое (Восточное Присянье), позволили оперативно типизировать эпигенетические изменения пород и откартировать гидротермально-метасоматические ореолы, в том числе околорудные, образованные минерализацией, не поддающейся диагностике визуальными и оптическими методами.

Ключевые слова: уран, месторождения несогласия, UV-Vis-SWIR-спектроскопия, околорудные изменения, гидротермально-метасоматические изменения, диагностика глинистых минералов, картирование метасоматитов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: авторы благодарны Генеральному директору ЗАО «НПП GeoТестСервис» А.М. Ольховскому за предоставление для исследований спектрометра TerraSpec 4Hi-Res и программу для идентификации слюдисто-глинистой минерализации TSG ver. 7.

Для цитирования: Карманов Е.Н., Леденева Н.В., Рассулов В.А., Томашев А.В. Опыт применения VIS-NIR-SWIR-спектроскопии с целью картирования и типизации гидротермально-

метасоматических изменений на флангах уранового месторождения Столбовое (Восточное Прибайкалье). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):46—57. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-46-57>

Статья поступила в редакцию 27.05.2021

Принята к публикации 31.01.2022

Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

VIS-NIR-SWIR SPECTROSCOPIC MAPPING FOR CLASSIFICATION OF HYDROTHERMAL-METASOMATIC ALTERATIONS ON THE FLANKS OF THE STOLBOVOE URANIUM DEPOSIT (EASTERN CIS-SAYAN)

EGOR N. KARMANOV^{1,2,*}, NADEZHDA V. LEDENEVA¹, VIKTOR A. RASSULOV¹, ALEXANDER V. TOMASHEV¹

¹ All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky
31/1, Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia

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

ABSTRACT

Background. The Stolbovov deposit is located in the northern part of the Eastern Sayan, in the Nizhneudinsky district of the Irkutsk region, within the N-47-IX map sheet. The surveying of the territory began in the sixties of the last century. The Stolbovov deposit was discovered based on direct search signs (radioactivity). At the same time, the search was not aimed at revealing new deposits hidden under the Riphean cover; therefore, most of the territory remained unexplored.

Aim. To map and classify the near-ore hydrothermal-metasomatic alterations manifested on the flanks of the Stolbovov uranium deposit.

Materials and methods. During the 2018–2020 period, within the framework of prospecting work, the employees of the All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky (VIMS) carried out the mapping of ore alterations using an innovative method of Infrared (IR) spectroscopy. The diagnostics of mineralization was carried out using a portable TerraSpec 4 Hi-Res spectrometer. The instrument was used to measure diffuse reflectance spectra in the Ultraviolet-Visible-Short-Wave Infrared (UV-Vis-SWIR) ranges; the composition of various mineral phases was determined using the TSGVersion 7 database and software.

Results. This study confirmed the efficiency of the method applied for the diagnostics of all varieties of clayey (kaolinite, montmorillonite) and fine micaceous (phengite, sericite, paragonite and their illite varieties) minerals, as well as carbonates (dolomite, ankerite, siderite) and chlorites in the rock in situ or in samples without preliminary sample preparation.

Conclusions. The use of the described method for investigating cores and samples of the Stolbovov uranium deposit (East Sayan region) made it possible to classify the epigenetic changes in rocks and to map hydrothermal-metasomatic halos, including those near-ore, formed by mineralization that could not be identified by conventional visual and optical methods.

Keywords: uranium, unconformity deposits, UV-Vis-SWIR spectroscopy, rock alteration, hydrothermal-metasomatic alteration, diagnostics of clay minerals, mapping of metasomatites

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

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

Acknowledgements: the authors would like to express their thanks to the General Director of JSC NPP GeoTestService A.M. Olkhovsky for providing the TerraSpec 4hi-Res spectrometer and the program for identification of mica-clay mineralization TSG ver. 7 for research.

For citation: Karmanov E.N., Ledeneva N.V., Rassulov V.A., Tomashev A.V. VIS-NIR-SWIR spectroscopic mapping for classification of hydrothermal-metasomatic alterations on the flanks of the Stolbovoe uranium deposit (Eastern Cis-Sayan). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):46—57. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-46-57>

Manuscript received 27 May 2021

Accepted 31 January 2022

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Месторождение Столбовое тяготеет к ядру Бирюсинского горст-антиклинального внутреннего поднятия в пределах Восточного Саяна [2, 3]. В его геологическом строении выделяются два структурных этажа — нижнепротерозойский гранито-гнейсовый фундамент и перекрывающий его субплатформенный осадочный средне-верхнерифейский чехол.

Фундамент образован нижнепротерозойскими гранито-гнейсами саянского комплекса с ксенолитами интенсивно дислоцированных амфибол-биотитовых, кварц-серицитовых сланцев и гнейсов часовенской толщи нижнего протерозоя. Отложения чехла сложены красноцветными терригенно-осадочными породами карагасской серии (шангулежской, тагульской и ипситской свит). Они полого, с резким угловым и стратиграфическим несогласием, залегают на поверхности цоколя. Также в геологическом строении площади принимают участие силлы нерсинского комплекса, залегающие среди песчаников среднего рифея, и более ранние дайки предположительно ангаульского комплекса раннерифейского возраста, относящиеся к породам основного состава. Последние прорывают гранитоиды саянского комплекса и перекрываются отложениями среднего рифея.

Становление гранито-гнейсов саянского комплекса завершилось формированием кремне-калиевых метасоматитов со шлировыми выделениями, обогащенными биотитом и акцессорными ториевыми, редкоземельными, урансодержащими и урановыми минералами: цирконом, монацитом, Th-монацитом, торитом, фергусонитом и уранинитом.

Гидротермальное урановое оруденение локализовано в измененных гнейсо-гранитах и приурочено к линейным крутопадающим прожилково-метасоматическим зонам. Метасоматические изменения карбонат-тонкослюдистого состава, развитые по массе породы со слабой и средней интенсивностью, придают околорудным ореолам характерную светло-желтовато-зеленую

(оливковую) окраску. Мелкопятнистое распределение окраски в метасоматитах обусловлено избирательным замещением тонкими светлыми слюдами породообразующего плагиоклаза и биотита. Кварц и калиевый полевой шпат остаются неизменными. По мере приближения к оруденелым прожилково-метасоматическим зонам окварцевания интенсивность слюдизации возрастает, придавая породе пятнистую темно-зеленую окраску.

Слюдисто-глинистая минерализация играет ведущую роль в составе трех формационно-генетических типов ураноносных метасоматитов, связанных со средне-низкотемпературными процессами кислотного выщелачивания, — березитов, гидрослюдизитов и аргиллизитов. Им соответствует ряд диоктаэдрических слоистых алюмосиликатов (серициты — гидрослюды — смешаннослойные слюда-смектиты — смектиты), обусловленный долей разбухающих межслоев в слюдах, меняющейся от 0 до 100% от серицитов к смектитам, и отражающий понижение температурных условий минералообразования [1, 4]. Ранее диагностика слюдисто-глинистых минералов была возможна только с помощью прецизионных методов, требующих трудоемкой пробоподготовки и тщательного исследования.

Методика

Созданные в последнее время малогабаритные спектрометры UV-Vis-SWIR-диапазона, оснащенные персональными компьютерами, а также разработанные алгоритмы и реализующие их программы, которые позволяют оперативно проводить диагностику минерализации околорудных изменений в полевых условиях, привели к широкому внедрению спектроскопии диффузного отражения при проведении поисково-разведочных работ. Применение этого метода является особенно эффективным при поисках скрытых и слабо проявленных месторождений, на которых широкие ореолы изменений глинисто-слюдистого состава (березитов, аргиллизитов) могут выходить

на дневную поверхность. Высокая сходимость результатов идентификации слюисто-глинистой минерализации, диагностированной рентгенофазовым методом (РФА) и UV-Vis-SWIR-спектроскопией, доказана и продемонстрирована в некоторых зарубежных и отечественных публикациях [5]. Результаты применения UV-Vis-SWIR-спектроскопии продемонстрированы по месторождению урана Столбовое и его флангам.

Диагностика минерализации проводилась с использованием портативного спектрометра TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. Panalytical NIR Center, США) (рис. 1) без предварительного отбора материала, непосредственно на образцах керна. С помощью прибора было проведено измерение спектров диффузного отражения в Ultraviolet-Visible-Short-wave infrared (UV-Vis-SWIR) и определен состав глинисто-слюистых, карбонатных фаз и хлоритов с использованием базы данных и программного обеспечения TSGVersion 7 (CSIRO, Australia).

Замеры проводились по керну скважин через 10 см. Образцы отбирались при документации скважин и характеризуют выделенный интервал, а в пределах интервала — конкретный тип изменений. По каждому образцу прибором проводилось несколько (2—6) замеров.

Результаты и обсуждение

Поисковые скважины пробурены в пределах сохранившегося осадочного чехла. Верхние части разреза представлены терригенными осадками шангулежской свиты среднерифейского возраста, в значительной степени выдержанными по своему

литологическому составу. Среди осадочных пород преобладают слоистые песчаники, имеющие общую тенденцию к увеличению зернистости и возрастанию доли гравийно-галечного материала с глубиной. Цемент пород сложен бесцветными тонкими слюдами. Алевриты образуют немногочисленные прослои, согласные с общим направлением слоистости. Основные различия в разрезах осадочных пород заключаются в степени их проработки поздней карбонатизацией и гипергенными процессами. Нижние горизонты пород чехла в разных скважинах также различны по степени насыщенности обломками пород фундамента — от почти полного отсутствия до формирования четко выраженного горизонта базальных конгломератов.

Диагностика показала, что в составе цемента терригенных пород чехла из тонкослюистой минерализации присутствует только фенгит (рис. 2). В кристаллических породах фундамента фенгит фиксируется спорадически, обычно в интервалах неизмененных и слабо измененных пород, и не характерен для зон интенсивной метасоматической проработки.

Использование полевой спектроскопии позволило также установить, что в ряде скважин кора выветривания в гранитах либо отсутствует полностью, либо проявлена весьма незначительно.

Для иллюстрации полученных результатов нами выбраны колонки скважин № 4102, 4113 и 4109. Скважина № 4102 представлена интервалами с рудными пересечениями; №. 4109 пройдена по наименее измененным породам фундамента; №. 4113 имеет дифференцированный разрез,



Рис. 1. Портативный спектрометр TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. Panalytical NIR Center, США)

Fig. 1. Portable spectrometer TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. Panalytical NIR Center, USA)

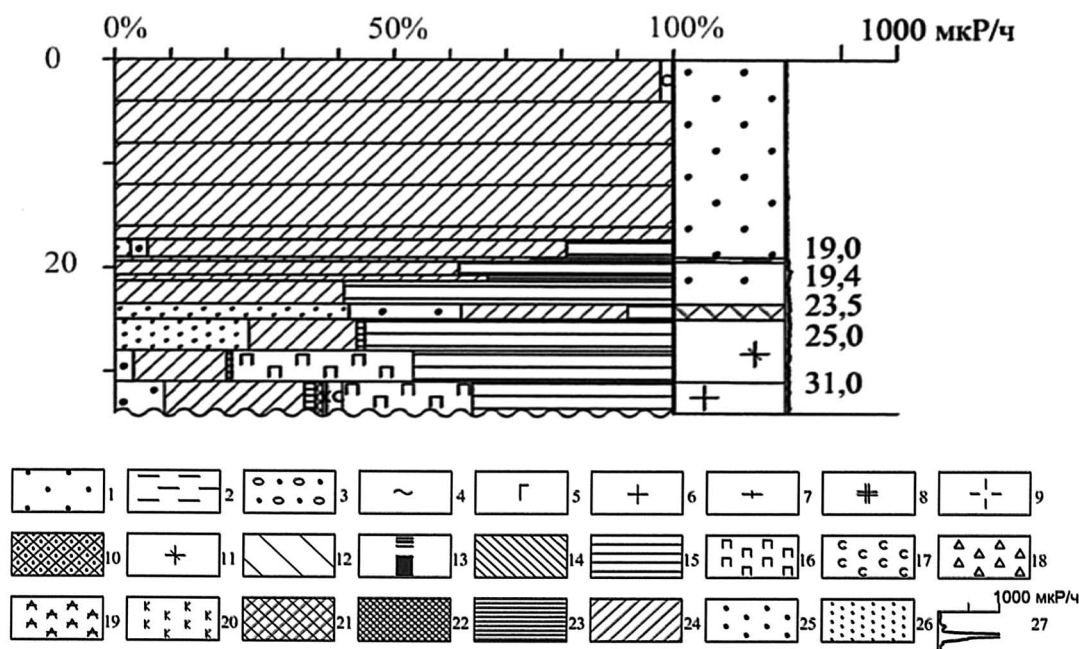


Рис. 2. В осадочных породах чехла (интервал 0—23,5 м) диагностирован фенгит, являющийся основным компонентом цемента. В гранитах фундамента в интервале 23,5—25,0 м встречены каолинит и монтмориллонит, связанные с процессами корообразования. Скв. 4102, интервал 0—34

Условные обозначения к рисункам 2—6. 1—3 — отложения шангулежской свиты ($RF_{2-3}shn$): 1 — песчаники мелко- до крупнозернистых с прослоями алевролитов и гравелитов; 2 — алевролиты; 3 — песчаники гравелистые. 4 — часовенская толща (KR_2cs_2). Сланцы биотитовые и амфибол-биотитовые. 5 — рифейские интрузивные образования. Долериты RF_{1-3} . 6—9 — раннепротерозойские интрузивные образования. Саянский комплекс гранодиорит-гранитовый (γKR_2s): 6 — граниты лейкократовые, среднекристаллические, массивные; 7 — гнейсы мелкокристаллические; 8 — граниты пегматитовые; 9 — граниты мезо- и меланократовые, крупнокристаллические, гнейсовидные, «очковой» текстуры. 10 — кора выветривания гранитов. 11 — граниты слабовыветрелые. 12 — зоны метасоматически измененных пород. 13 — зоны дробления керна. 14—26 — диаграммы результатов измерения спектров диффузного отражения: 14 — недиагностируемая часть спектра; 15 — фенгит-иллит; 16 — парагонит-иллит; 17 — сидерит; 18 — доломит; 19 — анкерит; 20 — кальцит; 21 — Fe-Mg-хлорит; 22 — Fe-хлорит; 23 — монтмориллонит; 24 — фенгит; 25 — мусковит; 26 — каолинит. 27 — кривые гамма-каротаж.

Fig. 2. In the sedimentary rocks of the cover (interval 0—23.5 m) was diagnoses phengite, which is the main component of cement. Kaolinite and montmorillonite associated with the processes of crust formation were found in the basement granites in the range of 23.5—25.0 m. Well №4102, int. 0—34

Symbols for Figures 2—6. 1—3 — deposits of the Shangulezh formation ($RF_{2-3}shn$): 1 — fine- to coarse-grained sandstones with layers of siltstones and gravelites; 2 — siltstones; 3 — gravelly sandstones. 4 — chasovenskaya strata (KR_2cs_2). Biotite and amphibole-biotite shales. 5 — Riphean intrusive formations. Dolerites RF_{1-3} . 6—9 — early Proterozoic intrusive formations. Sayan granodiorite-granite complex (γKR_2s): 6 — leucocratic, medium-crystalline, massive granites; 7 — fine-crystalline gneiss; 8 — pegmatite granites; 9 — meso- and melanocratic granites, large-crystalline, gneiss-like, "spectacled" textures. 10 — granite's weathering crust. 11 — slightly weathered granites. 12 — zones of metasomatically altered rocks. 13 — crushing zones in drill samples. 14—26 — diagrams of diffuse reflection spectra measurement results: 14 — undiagnosed part of the spectrum; 15 — phengite-illite; 16 — paragonite-illite; 17 — siderite; 18 — dolomite; 19 — ankerite; 20 — calcite; 21 — Fe-Mg-chlorite; 22 — Fe-chlorite; 23 — montmorillonite; 24 — phengite; 25 — muscovite; 26 — kaolinite. 27 — gamma ray logging curves.

в пределах которого гранитоиды чередуются с измененными сланцами и дайками долеритов.

По результатам исследования разреза породы фундамента в скважине № 4102 характеризуются преобладанием биотитовых среднезернистых гранитов с нечетко выраженной гнейсоватостью.

В верхней части разреза, до глубины 100 м, отмечаются реликты мелкозернистых гнейсов мощностью от 2 до 20 м. Изредка встречаются маломощные (до 2 м) тела крупноблоковых кварц-полевошпатовых пород пегматоидной текстуры. Контакты между перечисленными разновидностями, как правило,

постепенные. Дайки основного состава имеют разнонаправленную ориентировку — угол пересечения с осью керна составляет от 10° до 75°.

Все породы фундамента в разрезе в разной степени изменены. К числу наиболее характерных изменений относятся: окварцевание, турмалинизация, тонкая слюдизация, карбонатизация и гематитизация. В локальных местах наиболее интенсивных изменений, часто с признаками тектонической проработки, текстурно-структурный облик породы почти полностью затушевывается. По данным гамма-каротажа в скважине установлена серия рудных пересечений мощностью 0,2—1,6 м, в том числе с содержанием урана 0,132%, приуроченное к дайке долерита, и в метасоматически измененных гранитах содержания урана не превышают 0,034%.

Фенгит в породах фундамента развит спорадически, но по всему стволу скважины. Присутствие каолинита, монтмориллонита, гетита обнаружено не только на границе с осадочным чехлом, но и во внутренних зонах среди гранитоидов, где установлены признаки гипергенных процессов в виде линейных кор выветривания, развитых по тектоническим нарушениям. Рудная зона, трассирующая дайку долерита, характеризуется резким увеличением доли сидерита в составе эпигенетической минерализации (рис. 3). При этом

хлорит Fe-Mg состава тяготеет к безрудной дайке. Ниже оруденелой дайки, в измененных гранитоидах, среди слюдистой минерализации преобладает калиевая слюда — серицит, наряду с которым в локальном интервале между дайками и вблизи них, диагностировано значительное количество парагонитовой составляющей, указывающей на повышенную натровость состава тонких слюд.

В разрезе скважины № 4109 под базальным горизонтом песчаников находятся практически неизмененные лейкократовые граниты. При этом присутствие каолинита, монтмориллонита и гетита иногда фиксируется прибором в крутопадающих зонах дробления, по-видимому, являющихся линейными корами выветривания.

Породы фундамента представлены лейкократовыми биотитсодержащими крупно-среднекристаллическими гранитами, сменяющимися с отметки 205 м мезократовыми гранитами с гнейсовидной и порфиroidной «очковой» текстурой. Значительную часть среди них составляют крупноблоковые кварц-полевошпатовые породы пегматоидной текстуры и дайки долеритов, имеющие ориентировку, субперпендикулярную к оси керна.

Наложенная минерализация отличается от таковой в скважине № 4102 меньшим количеством минеральных фаз и незначительной интенсивностью развития. Фенгит отмечается в породах

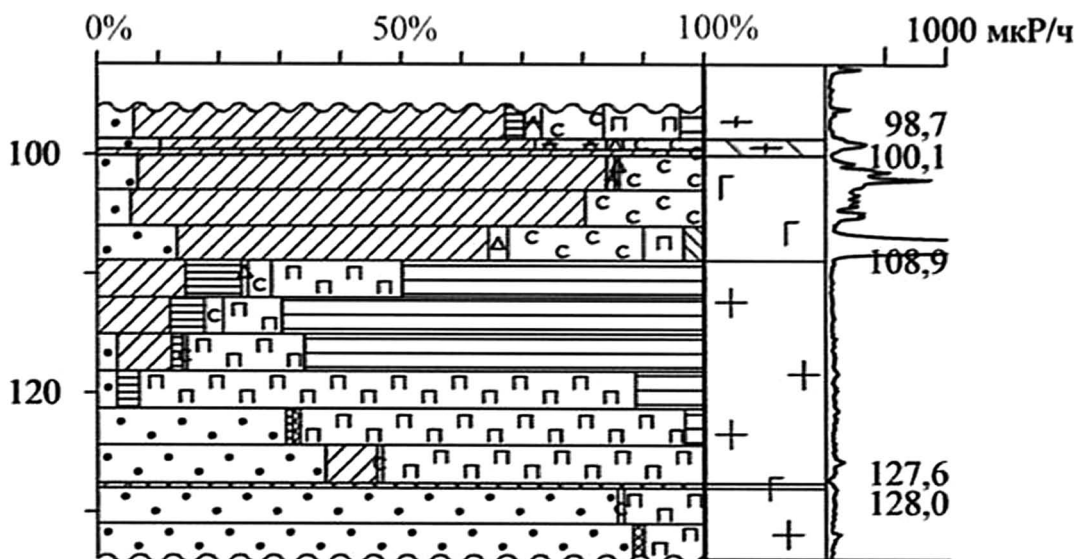


Рис. 3. Резкое увеличение доли Fe-Mg-хлорита в дайке долерита (127,6—128,0 м) и отсутствие его в оруденелой дайке в пределах интервала 100,1—108,9 м. Смена с глубиной доминирующей фенгитовой минеральной фазы на парагонит-иллитовую и далее на мусковитовую (серицитовую). Сква. 4102, интервал 96,1—134,0 м
Рис. 3. A sharp increase of Fe-Mg chlorite in the dolerite dike (127.6—128.0 m) and its absence in the ore dike within the range of 100.1—108.9 m. The change from the depth of the dominant phengite mineral phase to paragonite-illite and then to muscovite (sericite). Well No. 4102, int. 96.1—134.0 m

по всему стволу скважины, но, как и повсюду, является лучшим репером для установления границы между чехлом и фундаментом. Развитие фенгита отмечается до глубины 150 м (до 99,7 м в чехле, далее незначительно в фундаменте). Ниже этой отметки фиксируется присутствие в основном мусковита (серицит). Карбонаты появляются в базальном горизонте песчаников и равномерно присутствуют в породах по всему разрезу скважины (рис. 4). Появление хлоритов в разрезе связано с наличием дайки долерита. При этом до отметки 190 м, где изменения выражены лишь хлоритизацией по породообразующему биотиту, диагностирован Fe-хлорит. Ниже по разрезу установлено развитие Fe-Mg хлорита, который является типовым минералом гидротермально-метасоматического преобразования пород. Он, как отмечалось выше, пространственно ассоциирует с дайками и силлами основного состава, сформировавшимися на позднерифейском этапе активизации.

Повышенные содержания урана, встреченные в единичных интервалах скважины, не превышают 0,035%. Метасоматическая проработка пород весьма слабая. Четкой связи зон повышенных значений радиоактивности с какой-либо разновидностью пород или изменений в них не отмечено.

В скважине № 4113 с песчаниками чехла контактируют гранитоиды со слабыми признаками поверхностных изменений (лимонитизации), сохранившие текстурно-структурный облик и целостность.

Ниже по разрезу присутствуют каолинит, монтмориллонит, гетит в дезинтегрированных участках пород линейной коры выветривания (рис. 5).

В разрезе отмечается частое чередование крупноблоковых кварц-полевошпатовых пород пегматоидной текстуры, гранитов разного текстурно-структурного облика, в том числе мезократовых «очковых» гранито-гнейсов, и сланцев. Дайки основных пород встречены в нижней части разреза. Визуально слюдистые изменения темно-зеленого и светлого желтовато-зеленого цвета проявлены незначительно и составляют не больше 5—10% объема породы. Породообразующий биотит в гранито-гнейсах большей частью хлоритизирован. По всему стволу скважины в породах встречаются участки тонкодисперсной гематитизации.

По результатам гамма-каротажа выделены единичные интервалы мощностью до 0,3 м с аномальными содержаниями урана не более 0,018%.

Визуально породы в этой скважине проработаны сильнее, чем в предыдущей.

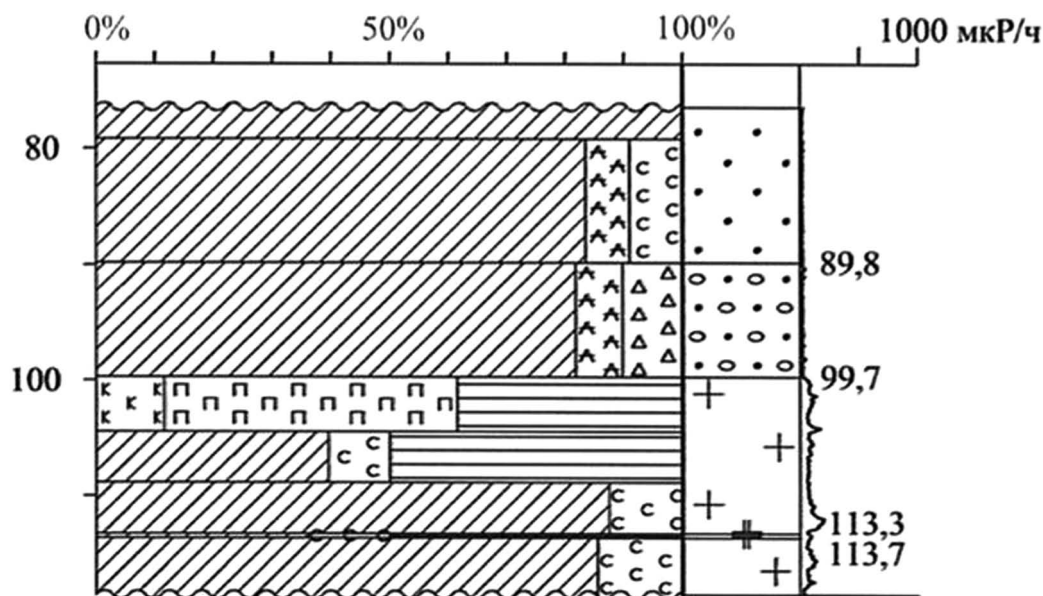


Рис. 4. В нижних горизонтах осадочного чехла в интервале 79,2—99,7 м наблюдается присутствие различных по составу карбонатов. Контакт гранитов фундамента и пород чехла (глубина 99,7 м) четкий. В гранитах отсутствуют признаки дезинтеграции и минеральные фазы, присущие процессам корообразования. Сква. 4109, интервал 76,4—118,6 м

Рис. 4. In the lower level of the sedimentary sheath in the range of 79.2—99.7 m, the presence of different composition carbonates is observed. The contact of the basement granite and the sedimentary rocks (depth 99.7 m) is clear. In granites there are no signs of disruption and mineral phases inherent in the processes of encrustation. Well №4109, int. 76.4—118.6 m

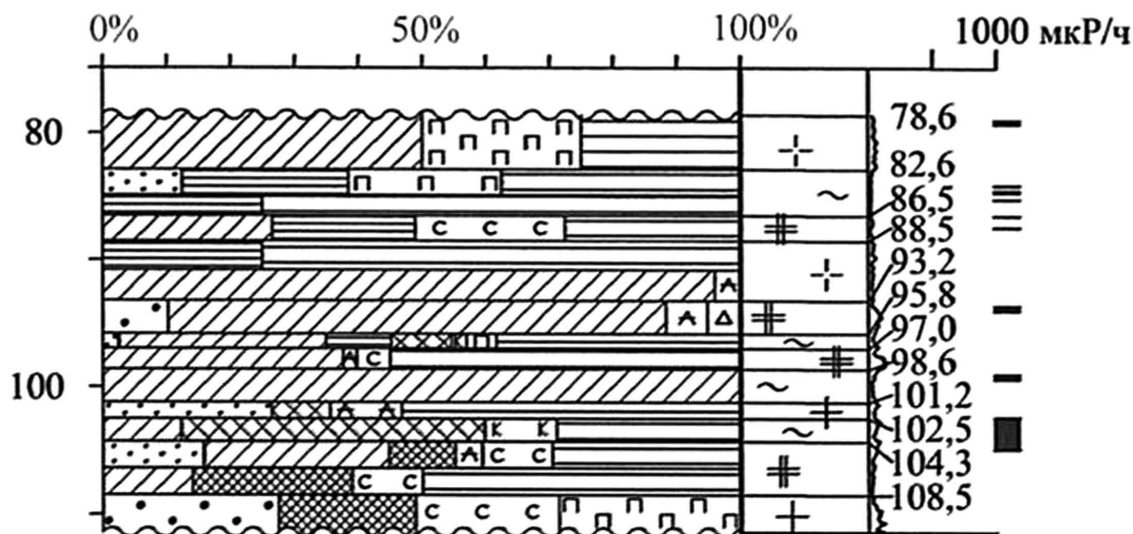


Рис. 5. Развитие каолинита и монтмориллонита маркирует серию швов зоны дробления, проявленной в интервале 84,1—104,9 м в гранитах и сланцах фундамента. Скв. 4113, интервал 78,6—111,4 м
Fig. 5. The habit of kaolinite and montmorillonite marks a series of seams of the crushed zone, expose in the range of 84.1—104.9 m in granites and slates of the basement. Well №4113, int. 78.6—111.4 m

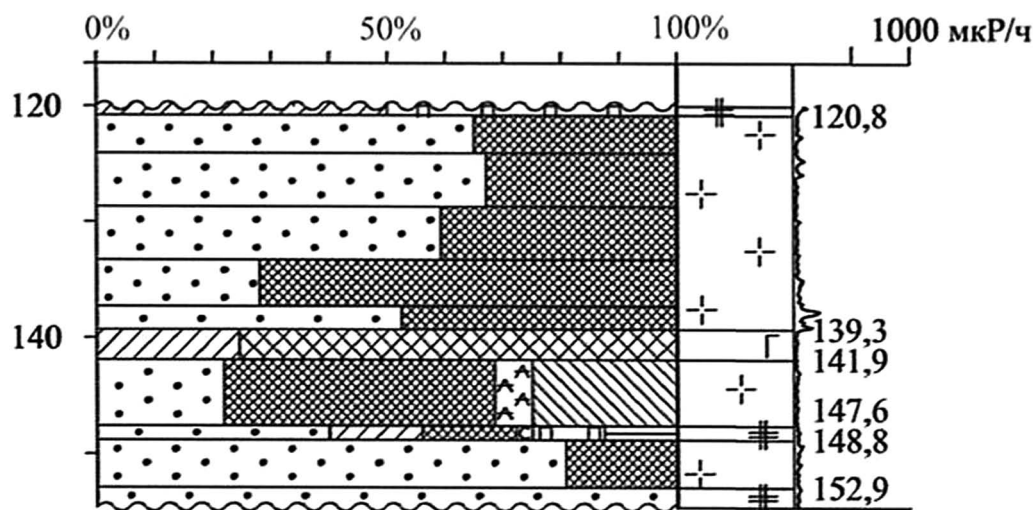


Рис. 6. Резкое увеличение доли Fe-Mg-хлоритов характерно для дайки основного состава (гл. 139,3—141,9 м). В околодайковом пространстве, в мезократовой породе «очковой» текстуры диагностирован хлорит существенно железистого состава, замещающий порообразующий биотит. Скв. 4113, интервал 120,0—154,6 м
Fig. 6. A sharp increase in the proportion of Fe-Mg chlorites is a typical for basic dikes (139.3—141.9 m). In the near-dike space, chlorite of a substantially ferruginous composition was diagnosed in the mesocratic “spectacled” texture rock, replacing the rock-forming biotite. Well №4113, int. 120.0—154.6 m

По результатам гиперспектропии состав минерализации, выявленной в скважине № 4113, аналогичен составу в других скважинах.

В интервалах, сложенных мезократовыми гранито-гнейсами, помимо серицита наблюдается заметное увеличение доли хлорита, обусловленное повышенным содержанием в них биотита (рис. 6).

Хлоритизация максимально выражена вблизи дайки долерита и постепенно затухает на удалении от нее. Следует отметить, что в составе интенсивно измененной дайки главным является хлорит Fe-Mg состава.

Минералого-петрографическими исследованиями установлено, что оруденение представлено

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

настураном и коффинитом. Как показали гиперспектроскопические исследования, оксидно-урановое оруденение пространственно приурочено к участкам развития серицита и Fe-хлорита, а присутствие в рудных зонах коффинита обычно сопровождается появлением парагонита и Fe-Mg-хлорита (табл. 1).

Определение абсолютного возраста урановых минералов показало, что настуран образовался в период 1313 ± 23 млн лет (U-Pb-метод термоионизационной масс-спектрометрии и изотопного разбавления, аналитик В.Н. Голубев, ИГЕМ). Наиболее близкими по времени образования являются дайки долеритов предположительно ангаульского комплекса, прорывающие породы фундамента, но перекрывающиеся породами осадочного чехла. Коффинит имеет более молодой возраст ≈ 700 млн лет

(Pb-Pb-термоизохронный метод, аналитик Л.В. Сумин, ВИМС), отвечающий времени внедрения базитов нерсинского комплекса (743 ± 47 млн лет Sm-Nd по Е.В. Складову и 758 ± 4 млн лет Ar-Ar по Д.П. Гладкочубу) [6, 7].

На основании данных, полученных в результате разностороннего изучения вещества с использованием новейшего диагностического метода UV-Vis-SWIR-спектроскопии, можно заключить, что на границе раннего и среднего рифея были образованы околорудные метасоматиты, основным компонентом которых являются тонкие калиевые слюды — серицит и фенгит. Близ одновременно с ними отлагались сидерит, Fe-хлорит, халцедоновидный кварц, пирит. В этих метасоматитах локально проявлена оксидно-урановая минерализация, приуроченная к пиритизированным прожилково-метасоматическим криптокварцевым зонкам.

Таблица 1. Этапы уранового рудообразования: главные минералы урана, синрудные интрузии, околорудные минералы, в том числе диагностированные методом NIR-Vis-SWIR-спектроскопии

Рудообразующие этапы Минеральные ассоциации и синрудные магматиты	Раннерифейский (RF ₁)	Средне-позднерифейский (RF ₂₋₃)
Урановая минерализация и ее абсолютный возраст (млн лет)	Настуран ($1350, 1313 \pm 23$)	Коффинит (≈ 700)
Околорудные минералы, диагностированные методом UV-VIS-NIR-спектроскопии	Серицит, фенгит, сидерит, Fe-хлорит	Парагонит, парагонит-иллит, серицит-иллит, Mg-хлорит, высокожелезистый и Mn-карбонат, кальцит
Околорудные минералы, диагностированные визуально и оптическими методами	Халцедоновидный кварц, пирит, радиогенный галенит	Марказит, халькопирит, галенит, сфалерит и флюорит
Синрудные интрузии и их абсолютный возраст (млн лет)	Дайки ангаульского комплекса (RF ₁ ?)	Силлы нерсинского комплекса ($743 \pm 47, 758 \pm 4$)

Table 1. Stages of uranium ore formation: main uranium minerals, syn-ore intrusions, near-ore minerals, including those diagnosed by NIR-Vis-SWIR spectrometry

Ore-forming stages Mineral associations and syn-ore magmatic rocks	Early Riphean (RF ₁)	Middle-Late Riphean (RF ₂₋₃)
Uranium mineralization, absolute age (million years)	Nasturan ($1350, 1313 \pm 23$)	Coffinite (≈ 700)
Near-ore minerals diagnosed by UV-VIS-NIR spectrometry	Sericite, phengite, siderite, Fe-chlorite	Paragonite, paragonite-illite, sericite-illite, Mg-chlorite, high-iron and Mn-carbonate, calcite
Near-ore minerals diagnosed by visual and optical methods	Chalcedonous quartz, pyrite, radiogenic galena	Marcasite, copper pyrite, galena, sphalerite and fluorite
Syn-ore intrusions, absolute age (million years)	Angaulsky complex dykes (RF ₁ ?)	Nersinsky complex sills ($743 \pm 47, 758 \pm 4$)

На позднерифейском этапе активизации в тектонически нарушенных зонах с силикатноурановым оруденением телескопированно происходило образование гидрослюдистых изменений со значительной примесью натровой составляющей, в которых и спектроскопически, и рентгенофазовым анализом диагностированы парагонит, парагонит-иллит. С ними ассоциируют Fe-Mg-, Mg-хлориты и высокожелезистые и Mn-карбонаты. С их отложением в рудных зонах связано частичное разрушение настурана, перераспределение урана и переотложение его в виде коффинита, с которым обычно еще ассоциируют кальцит, халькопирит, сфалерит. На позднерифейский возраст этой минерализации с парагонитовой (Na) составляющей указывает не только ее тесная пространственная связь с коффинитом, но и тот факт, что она на 50—100% замещает долеритовый силл нерсинского комплекса, локализованный в средне-верхнерифейских песчаниках, вскрытый скважиной № 23 на месторождении Столбовое. Внедрение силла сопровождается образованием специфического контактово-метасоматического адинола между двумя близлежащими силлами и в экзоконтакте одного из них. В результате контактового воздействия вмещающие кварцевые песчаники превращены в тонкозернистый альбитит или хлорит (Mg)-альбитовый метасоматит с содержанием Na_2O 5—11%. Это, вероятно, является

свидетельством того, что долериты нерсинского комплекса характеризуются щелочно-натриевой специализацией.

Заключение

Метод измерения спектров в UV-Vis-SWIR-диапазоне позволяет:

- оперативно выполнять диагностику всех глинисто-слюдистых минеральных разновидностей, карбонатных фаз и хлоритов;
- в совокупности с геологическими наблюдениями и минерало-петрографическими исследованиями осуществлять детальное минералогическое картирование околорудных ореолов и их зонального строения;
- достоверно выделять минеральные ассоциации и последовательность их образования, а также проводить необходимую типизацию эпигенетических изменений по признакам, характерным для региональных (метаморфических), постмагматических, метасоматических (приразломных) и других образований;
- фиксировать признаки площадных и глубоко проникающих линейных кор выветривания, с которыми связаны процессы окисления гипогенного оруденения;
- косвенно судить о глубине эрозионного среза выявленных образований на основе вещественной зональности метасоматических ореолов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева О.В., Русинова О.В., Воловикова И.М. Типоморфные особенности диоктаэдрических слюд и смешанослойных образований из гидротермальных околорудных метасоматитов // Минералогический журнал. 1989. № 4. С. 21—32.
2. Машковцев Г.А., Гребенкин Н.А., Мигута А.К., Щеточкин В.Н. Перспективы ураноносности южного обрамления Восточно-Сибирской плиты. Разведка и охрана недр. 2015. № 4. С. 3—15.
3. Машковцев Г.А., Мигута А.К., Тарханов А.В., Щеточкин В.Н. Урановорудный потенциал России 2015—2035. Минеральное сырье, № 33. М., 2017. С. 65—69.
4. Омеляненко Б.И., Андреева О.В., Воловикова И.М. Тонкошелушчатые диоктаэдрические калиевые слоистые силикаты ураноносных околорудных метасоматитов // Изв. АН СССР. Серия Геология. 1988. № 8. С. 79—91.
5. Рассулов В.А., Леденева Н.В., Иоспа А.В. Оперативная диагностика глинисто-слюдистой минерализации на основе спектроскопии в диапазоне UV-VIS-NIR // Разведка и охрана недр. 2018. № 10. С. 69—73.
6. Склярёв Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. и др. Дайковые рои южного фланга Сибирского кратона — индикаторы распада суперконтинента Родиния // Геотектоника. 2000. № 6. С. 59—75.
7. Гладкочуб Д.П. и др. Базитовый магматизм Сибирского кратона в протерозое: обзор основных этапов и их геодинамическая интерпретация // Геотектоника. 2012. № 4. С. 28—41.

REFERENCES

1. Andreeva O.V., Rusinova O.V., Volovikova I.M. Typomorphic features of dioctahedral micas and mixed-layer formations from hydrothermal near-ore metasomatites // Mineralogicheskij zhurnal. 1989. Issue 4. Pages: 21—32.
2. Mashkovcev G.A., Grebenkin N.A., Miguta A.K., Shhetochkin V.N. Uranonosnost's prospects of the southern frame east siberian plate. Razvedka i ohrana neдр. 2015. Issue 4. Pages: 3—15.
3. Mashkovcev G.A., Miguta A.K., Tarhanov A.V.,

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

- Shhetochkin V.N. Uranium ore potential of Russia 2015—2035. Mineral'noe syr'e. Issue 33. Moscow, 2017. Pages: 65—69.
4. Omel'janenko B.I., Andreeva O.V., Volovikova I.M. Thin-scaled dioctahedral potassium layered silicates of uranium-bearing near-ore metasomatites // Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1988. Issue 8. Pages: 79—91.
5. Rassulov V.A., Ledeneva N.V., Iospa A.V. Rapid diagnosis clay-hydrologist mineralization based on spectrometry in the range UV-VIS-NIR // Razvedka i ohrana nedr. 2018. Issue 10. Pages: 69—73.
6. Skljarov E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M. et al. Dike swarms of the southern flank of the Siberian craton are indicators of the decay of the supercontinent Rodinia // GEOTECTONICS. 2000. Issue 6. Pages: 59—75.
7. Gladkochub D.P. et al. Proterozoic basic magmatism of the Siberian Craton: Main stages and their geodynamic interpretation // GEOTECTONICS, 2012, Volume: 46 Issue: 4 Pages: 273-284

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Карманов Е.Н. — собрал полевой каменный материал для статьи, разработал концепцию статьи, внес вклад в обработку и анализ минералогических данных и в создание графической информации, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Леднева Н.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, внесла вклад в обработку и анализ минералогических и спектроскопических данных, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Рассулов В.А. — производил измерения и внес вклад в обработку и анализ спектроскопических исследований минералов и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Karmanov E.N. — during geology mapping combined rocks material for investigations, developed the article concept, contributed to the processing and analysis of geological and geochemical data and to the creation of graphical information, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ledeneva N.V. — contributed to the development of the concept of the article, contributed to the processing and analysis of geological and geochemical data, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Rassulov V.A. — made measurements and contributed to the processing and analysis of spectroscopy studies of minerals and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Карманов Егор Николаевич* — ассистент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; младший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
31, стр. 1, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

e-mail: karmanoven@mgri.ru

тел.: +7 (985) 848-77-98

SPIN-код: 1644-5430

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3980-0238>

Egor N. Karmanov* — assistant of the Department of Geology of Mineral Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, junior researcher of All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
31/1, Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia

e-mail: karmanoven@mgri.ru

tel.: +7 (985) 848-77-98

SPIN-code: 1644-5430

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3980-0238>

Леденева Надежда Викторовна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского».

31, стр. 1, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

e-mail: ledeneva@vims-geo.ru

тел.: +7 (916) 324-68-04

SPIN-код: 2770-7314

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-1772>

Рассулов Виктор Асафович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского».

31, стр. 1, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

e-mail: rassulov@mail.ru

тел.: +7 (905) 778-45-16

SPIN-код: 8736-5002

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6235-0936>

Томашев Александр Вячеславович — ведущий специалист ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского».

31, стр. 1, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

e-mail: tomashev@vims-geo.ru

тел.: +7 (905) 584-63-12

SPIN-код: 1318-1393

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7300-7172>

Nadezhda V. Ledeneva — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher of All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky

31/1, Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia

e-mail: ledeneva@vims-geo.ru

tel.: +7 (916) 324-68-04

SPIN-code: 2770-7314

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-1772>

Viktor A. Rassulov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), senior researcher of All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky

31/1, Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia

e-mail: rassulov@mail.ru

tel.: +7 (905) 778-45-16

SPIN-code: 8736-5002

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6235-0936>

Alexander V. Tomashev — senior specialist of All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky

31/1, Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russia

e-mail: tomashev@vims-geo.ru

tel.: +7 (905) 584-63-12

SPIN-code: 1318-1393

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7300-7172>



СОЗДАНИЕ И АНАЛИЗ ПЕТРОУПРУГИХ МОДЕЛЕЙ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА

Я.С. ГРИГОРЯН*, И.О. БАЮК

ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук»
10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Наличие трещин в карбонатных породах способствует движению флюида в пустотном пространстве. Каждый тип пустот имеет специфическое влияние на упругие свойства пород, что, в свою очередь, позволяет оценивать характеристики определенного вида пустот по измеренным скоростям упругих волн. В данной работе на основе петроупругого моделирования проведен анализ влияния пор и трещин на скорости упругих волн. Приведен пример решения обратной задачи, заключающейся в определении трещинной пористости и относительного раскрытия трещин по данным о скоростях упругих волн и плотности карбонатного коллектора углеводородов, полученным при геофизическом изучении скважин.

Цель. Повышение достоверности интерпретации экспериментальных данных о скоростях упругих волн, распространяющихся в карбонатных коллекторах углеводородов, в терминах характеристик пустотного пространства, представленного порами и трещинами.

Материалы и методы. Удобным аппаратом, позволяющим оценивать эффективные физические свойства, включая упругие, исходя из состава и микроструктуры породы, является теория эффективных сред (ТЭС). С использованием метода самосогласования Берримана была создана модель эффективных упругих свойств породы (петроупругая модель), пустотное пространство которой представлено изометричными порами и трещинами. Данная модель была применена к скважине, расположенной в одной из нефтегазоносных провинций Западной Сибири.

Результаты. Результатом данной работы является установление степени влияния различных параметров, характеризующих пустотное пространство пористо-трещиноватых пород на скорости упругих волн. По результатам моделирования выполнено построение поверхностей скоростей в зависимости от меняющихся параметров модели (трещинной пористости и аспектного отношения трещин). Произведено сравнение теоретических и экспериментальных данных, на основании которого определены зоны развития трещиноватости и дана оценка объемной концентрации и относительного раскрытия трещин, содержащихся в этих зонах.

Заключение. На основе петроупругого моделирования изучено влияния трещин и пор на поведение скоростей упругих волн в порово-трещинных карбонатных коллекторах. По данным геофизических исследований, проведенных в скважине нефтегазоносной провинции Западной Сибири, выделены зоны повышенной трещиноватости и определены параметры, характеризующие объемное содержание и относительное раскрытие трещин.

Ключевые слова: петроупругое моделирование, карбонатные породы, коллектор углеводородов, поровое пространство, нефтегазоносная провинция, геофизические исследования скважин, сейсморазведка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.

Для цитирования: Григорян Я.С., Баюк И.О. Создание и анализ петроупругих моделей карбонатных коллекторов с учетом особенностей строения пустотного пространства. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):58—65.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-58-65>

Статья поступила в редакцию 27.11.2021

Принята к публикации 31.01.2022

Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

PETROELASTIC MODELING OF CARBONATE RESERVOIRS IN THE VIEW OF DIFFERENT VOID TYPES

YANINA S. GRIGORYAN*, IRINA O. BAYUK

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences
10, bld. 1, B. Gruzinskaya, Moscow 123242, Russia

ABSTRACT

Background. Fractures present in carbonate rocks facilitate fluid flow within void spaces. Each type of voids can have a different effect on rock elastic properties, which, in turn, allow the characteristics of voids to be estimated by assessing the velocity of elastic waves. In this paper, an effect of pores and fractures on the velocity of elastic waves is analyzed by petroelastic modeling. An example of solving an inverse problem is presented, involving the determination of fracture porosity and relative fracture opening using the data on elastic wave velocity and hydrocarbon reservoir density obtained during geophysical well logging.

Aim. To increase the accuracy of experimental data on the velocity of elastic waves that propagate across hydrocarbon carbonate reservoirs by assessing the pore and fracture characteristics of voids.

Materials and methods. The effective medium theory was used as an efficient way to evaluate physical, including elastic, properties based on rock composition and microstructure. Using Berryman's self-consistent method, we created a model of rock elastic properties, or a petroelastic model, the void space in which was represented by isometric pores and fractures. This model was applied to a well in a petroleum province in West Siberia.

Results. The effect of characteristics determining the void space of porous-fractured rocks on the velocity of elastic waves was defined. Velocity surfaces were constructed in accordance with changing parameters of the model, i.e. fracture porosity and fracture aspect ratio. The obtained theoretical and experimental data were compared in order to determine fracture development zones and to evaluate volume concentration and relative fracture opening in these zones.

Conclusion. The effect of pores and fractures on elastic wave velocity in porous-fractured carbonate reservoirs was studied by petroelastic modeling. The zones of excessive fracturing were defined and the parameters of volume concentration and relative fracture opening were determined using the data obtained by geophysical well logging in a petroleum province in West Siberia.

Keywords: petroelastic modeling, carbonate rock, hydrocarbon reservoir, pore space, petroleum province, geophysical well logging, seismic survey

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

Financial disclosure: the work was carried out within the framework of the State assignment of the IPE RAS.

For citation: Grigoryan Ya.S., Bayuk I.O. Petroelastic modeling of carbonate reservoirs in the view of different void types. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):58—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-58-65>

Manuscript received 27 November 2021

Accepted 31 January 2022

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Карбонатные коллекторы представляют значительную часть мирового углеводородного потенциала. Данные породы характеризуются сложностью строения пустотного пространства, которое может быть представлено трещинами, порами или кавернами. Исходя из строения пустотного пространства, карбонатные коллекторы подразделяют, как правило, на трещинные, трещинно-поровые, поровые, порово-кавернозные, трещинно-порово-кавернозные и т.п. Каждый тип пустот имеет специфическое влияние на упругие свойства пород, что, в свою очередь, позволяет оценивать характеристики определенного вида пустот по измеренным скоростям упругих волн.

Данная статья посвящена изучению влияния трещин и пор на поведение скоростей упругих волн в карбонатных коллекторах с использованием петроупругого моделирования.

Методы и подходы

Теоретические оценки эффективных модулей композитных или пористых упругих материалов обычно зависят от: (1) свойств отдельных компонентов композита, (2) объемных долей компонентов и (3) геометрических характеристик формы и пространственного распределения компонентов.

Первый и самый простой подход к определению эффективных модулей — это ограничивающие методы Хашина — Штрикмана и Фойгта — Ройсса [6], которые устанавливают оценки только верхних и нижних границ, когда известны только факторы (1) и (2) без каких-либо геометрических деталей. Второй подход улучшает эти оценки, добавляя статистическую информацию о взаимном расположении неоднородностей в объеме среды с помощью использования пространственных корреляционных функций [1, 4, 7, 8]. Однако при этом форма неоднородностей не задана в явном виде. Третий подход учитывает специфические формы неоднородностей. Одним из методов, относящихся к третьему подходу, является метод самосогласования Берримана, который позволяет определять эффективные модули упругости изотропных сред, включения которых могут иметь сферическую или эллипсоидальную форму. При этом могут рассматриваться как вытянутые (иглообразные), так и сплюснутые (монетообразные) эллипсоиды [2, 6].

Большинство теоретических методов используют решение для упругой деформации одиночного включения одного материала в бесконечной фоновой среде второго материала, а затем рассматривается та или иная схема

для оценки эффективных модулей, когда есть распределение этих включений. Эти оценки обычно ограничиваются малой концентрацией включений из-за сложности определения упругого взаимодействия включений, находящихся близко друг к другу.

Относительно успешный и, безусловно, популярный метод расширения области применения этих методов для более высоких концентраций включений — самосогласованное приближение [3, 5, 10]. В этом подходе также используется математическое решение для деформации изолированных включений, но взаимодействие включений аппроксимируется заменой фоновой среды на пока не известную эффективную среду.

Объекты исследования

Для достижения поставленной цели необходимо построение универсальной петроупругой модели изотропной карбонатной породы, которая является триадой, состоящей из следующих элементов:

(а) модельной среды, представляющей собой минеральную матрицу (изотропный поликристаллический кальцит) и две системы пустот — изометричные (сферические) поры и хаотические трещины;

(б) параметров модели, включающих вещественные параметры, характеризующие упругие свойства матрицы и флюида, и морфологические параметры, включающие общую и трещинную пористость, а также аспектное отношение трещин (относительное раскрытие);

(в) уравнений связи между эффективными модулями упругости породы и параметрами модели. В настоящей работе в качестве уравнений были взяты формулы метода самосогласования Берримана [2, 6] теории эффективных сред и формула Вуда для определения эффективного модуля упругости смеси флюидов в пустотном пространстве [9].

В качестве объекта исследования использовалась модель порово-трещинного карбонатного коллектора. Пустотное пространство модели представлено изометричными порами (аспектное отношение равно 1 для сфер) и трещинами (аспектное отношение варьирует от 0,0001 до 0,1). Трещинная пористость варьирует от 0 до 2,5%. Согласно экспериментальным данным, максимальное значение общей пористости (сумма объемной концентрации сферических пор и объемной концентрации трещин) для исследованной породы не превышает 15%. В качестве минеральной матрицы взят поликристаллический кальцит с изотропными упругими свойствами.

Пустотное пространство последовательно заполнено тремя типами флюидов: метан, нефть и пластовая вода. Так как на практике редко можно встретить заполнение пустотного пространства чистой нефтью, также был рассмотрен смешанный тип флюида (метан + нефть + пластовая вода).

Результаты исследования

Для анализа зависимости скоростей упругих волн от параметров модели (прямая задача) были построены поверхности скоростей упругих волн в зависимости от изменяющихся параметров модели: трещинной пористости и аспектного отношения трещин. При построении поверхностей в качестве осей координат использовались десятичные логарифмы этих параметров, поскольку модули упругости проявляют значительную изменчивость в области тонких трещин даже при малой пористости.

Реализация прямой задачи производилась в несколько этапов. На каждом этапе анализировалось поведение скоростей упругих волн при постепенном изменении параметров модели. Во избежание возникновения артефактов при построении поверхностей решений производился подбор наилучшего разбиения области изменения значений аспектного отношения трещин и трещинной пористости.

В результате численного моделирования было выявлено, что наиболее резкое изменение скоростей наблюдается при наименьших значениях аспектного отношения. Поэтому в этом случае использовался более мелкий шаг изменения значений аспектного отношения для построения поверхности скоростей упругих волн.

Построенная петроупругая модель была применена для решения обратной задачи по определению объемной концентрации трещин, аспектного отношения трещин и типа порозаполняющего флюида в условных «зонах интереса». Экспериментальными данными для решения обратной задачи являлись результаты акустического и плотностного каротажа, полученные для карбонатных пород одного из месторождений Западной Сибири. Породы были представлены известняком (содержание кальцита не менее 90%).

В качестве «зон интереса» были выбраны интервалы глубин, в которых общая пористость 1) была мала, 2) имела средние значения, 3) достигала максимальных значений. В качестве «опорных» значений малой, средней и значительной пористости были выбраны 5, 10 и 15%. Именно для этих трех значений общей пористости

в качестве примера был выполнен анализ параметров трещиноватости на основе построенной петроупругой модели. Следует отметить, что эти значения были выбраны исходя из диапазона пористости, установленного по данным плотностного каротажа для изучаемой скважины. На практике предложенный метод может быть применен во всем интервале глубин для любых значений пористости.

Для решения обратной задачи были использованы поверхности скоростей упругих волн в зависимости от изменяющихся параметров модели: десятичного логарифма трещинной пористости и десятичного логарифма аспектного отношения трещин. При решении обратной задачи значения скоростей упругих волн сравнивались с экспериментальными значениями скоростей по данным акустического каротажа (рис. 1) для тех глубин, у которых общая пористость была близка к выбранным для анализа решения «опорным» значениям — 5, 10 и 15%.

В результате проведенного анализа результатов моделирования было выявлено, что флюид, находящийся в скважине в интервалах глубин

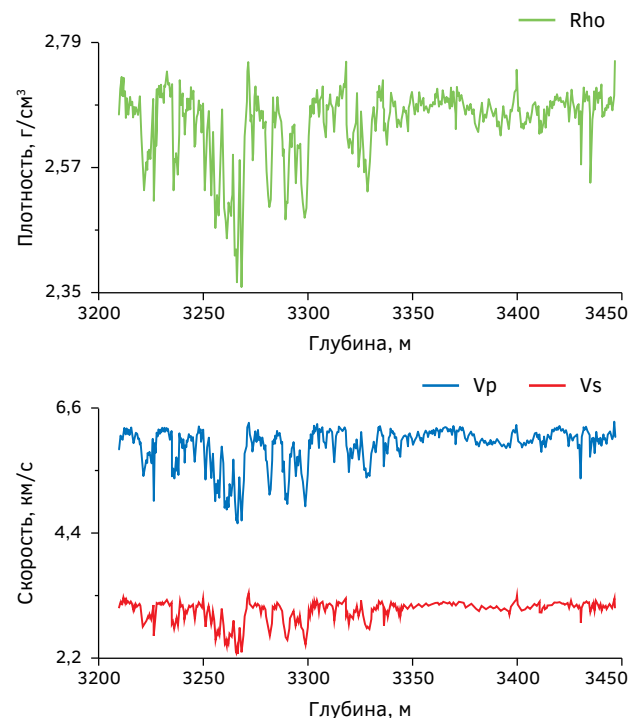


Рис. 1. Каротажные кривые, характеризующие скорости упругих волн V_p , V_s и плотность в изучаемом интервале глубин

Fig. 1. Logging curves V_p , V_s and density in the studied depth interval

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

с общей пористостью пород 5 и 10%, мог быть представлен любым из исследованных флюидов: метаном, нефтью, пластовой водой и смешанным флюидом (метан + нефть + пластовая вода). То есть для малых и средних значений пористости невозможно достоверно определить тип флюида в пустотном пространстве при помощи петроупругого моделирования.

Однако для общей пористости, равной 15%, петроупругое моделирование показало, что флюид мог быть представлен только нефтью или пластовой водой. При рассмотрении модели кальцитово-матрицы с включениями метана и модели со смешанным типом флюида, в котором процентное содержание метана, нефти и пластовой воды составляло 30, 30 и 40% соответственно, найти хорошее соответствие между прогнозными теоретическими значениями скоростей упругих волн и экспериментальными данными, определенными

по результатам каротажа скважины, не удалось. Вместе с тем соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз оказывает существенное влияние на свойства пород. Так, например, наличие газа в пустотном пространстве заметно понижает значения модуля сжатия.

При сравнении теоретических значений скоростей упругих волн и экспериментальных значений скоростей на глубинах, где общая пористость близка к 5, 10 и 15%, были выделены диапазоны возможного изменения значений аспектного отношения трещин, трещинной пористости и плотности трещин. Приемлемым расхождением теоретических и экспериментальных значений скоростей считалось значение 2%.

На рисунке 2 слева представлены поверхности скоростей продольных и поперечных волн в зависимости от десятичного логарифма трещинной пористости. Справа на рисунке 2 показана

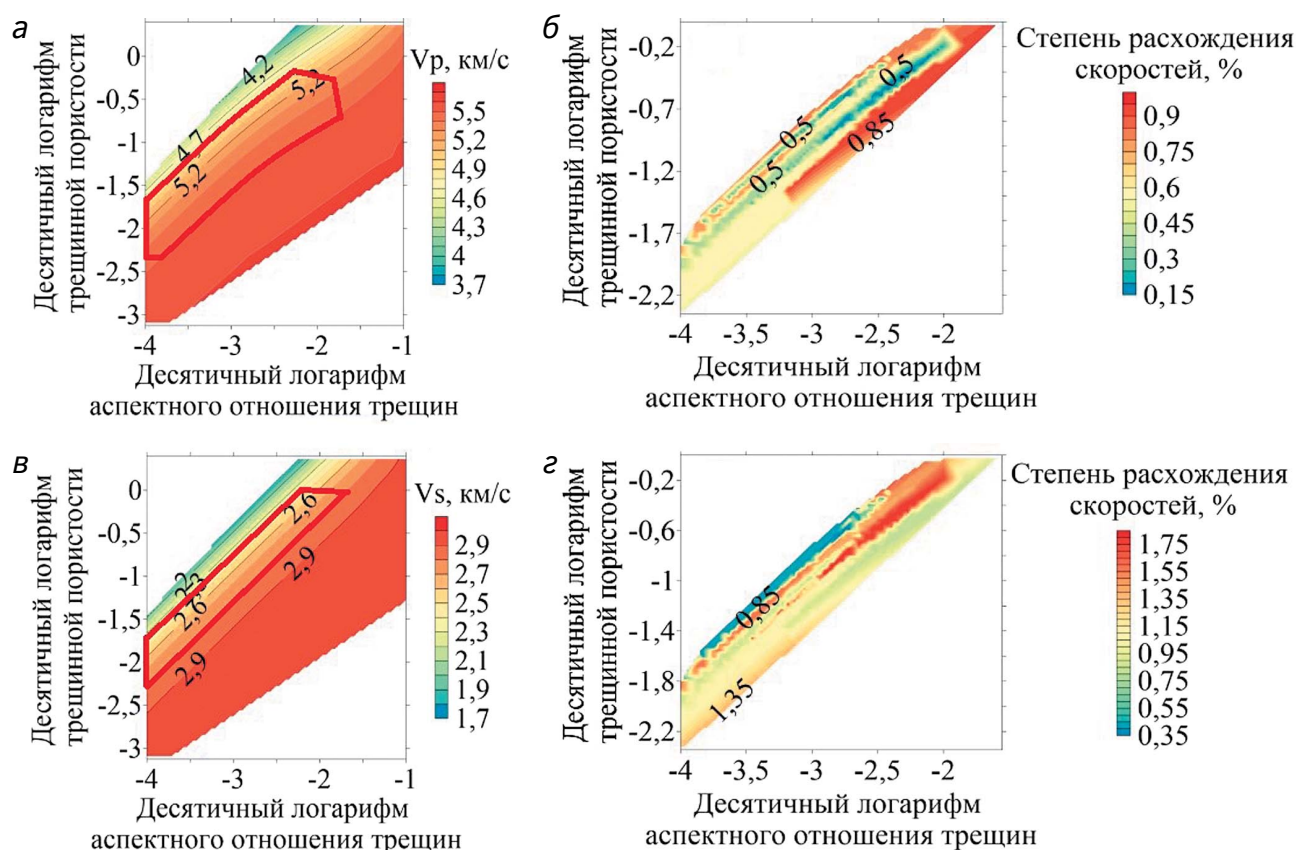


Рис. 2. Результаты петроупругого моделирования для модели с включениями нефти (общая пористость близка к 15%). Поверхности скоростей а) продольных и в) поперечных волн в зависимости от десятичных логарифмов трещинной пористости и аспектного отношения трещин; степень расхождения теоретических и экспериментальных значений скоростей б) продольных и г) поперечных волн

Fig. 2. Results of petroelastic modeling for model with oil inclusions (total porosity is close to 15%). Left panels are surfaces of P- and S-wave velocities depending on the decimal logarithms of fracture porosity and fracture aspect ratio; right panels are misfit between theoretical and experimental values of the respective velocities

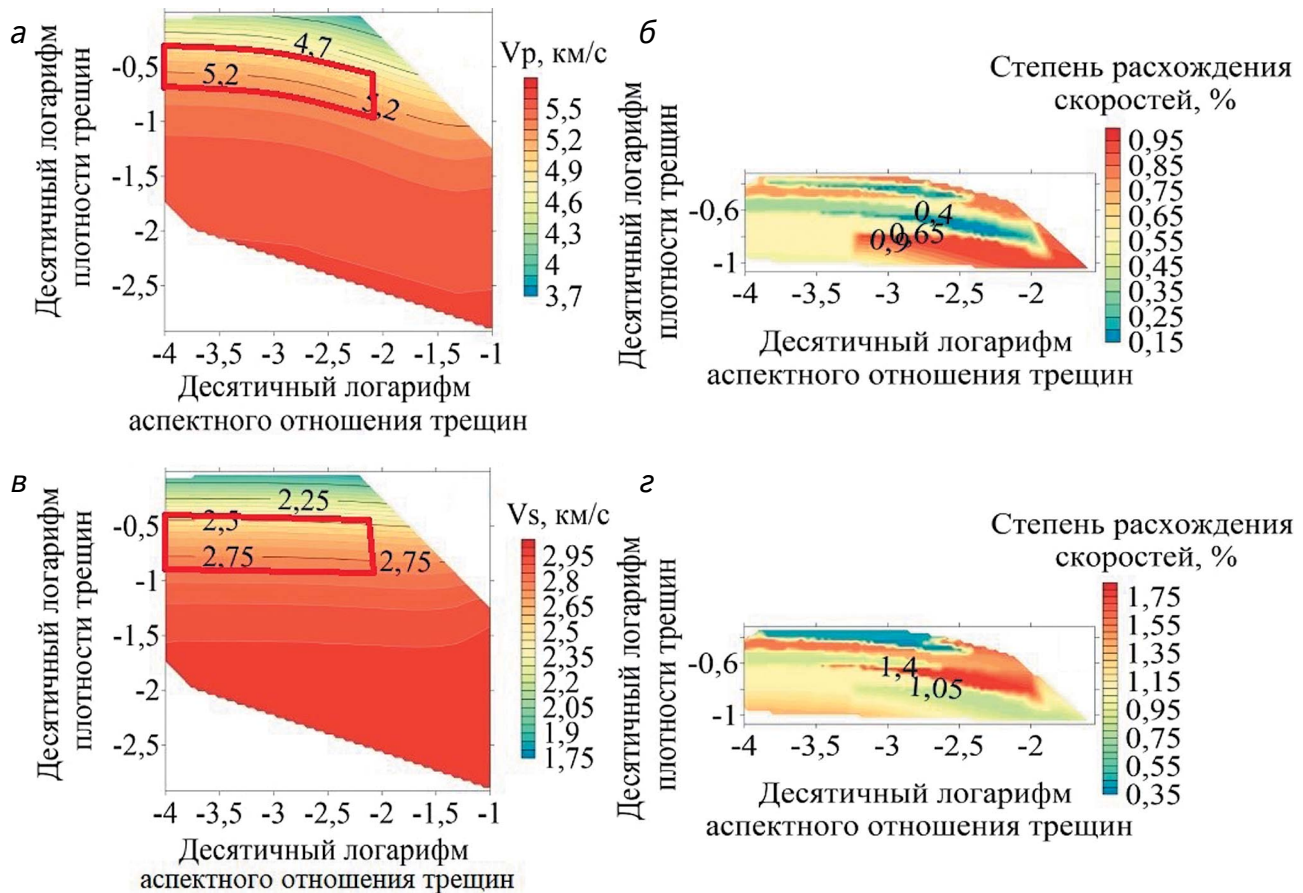


Рис. 3. Результаты петроупругого моделирования для модели с включениями нефти (общая пористость близка к 15%). Поверхности скоростей а) продольных и в) поперечных волн в зависимости от десятичных логарифмов плотности трещин и аспектного отношения трещин; степень расхождения теоретических и экспериментальных значений скоростей б) продольных и г) поперечных волн

Fig. 3. Results of petroelastic modeling for model with oil inclusions (total porosity is close to 15%). Left panels are surfaces of P- and S-wave velocities depending on the decimal logarithms of fracture density and fracture aspect ratio; right panels are misfit between theoretical and experimental values of the respective velocities

степень расхождения теоретических и экспериментальных значений этих скоростей для области, которая выделена красным цветом на поверхностях скоростей. Результаты показаны для пористости, близкой к 15%. Выделенные области соответствуют диапазонам изменения параметров модели, при которых расхождение теоретических и экспериментальных значений скоростей не превышает 2%.

На рисунке 3 представлены аналогичные зависимости, но в качестве характеристики количественного содержания трещин выбрана плотность трещин, которая в теории эффективных сред определяется по формуле $\epsilon = \frac{3\phi}{4\pi\alpha}$, где ϕ — пористость (в долях единицы), α — аспектное отношение трещин [6]. Этот параметр очень удобен

при анализе трещиноватости, поскольку показывает степень близости трещин друг к другу. На рисунке 3 все зависимости показаны от десятичного логарифма трещинной пористости. Как видим, использование плотности трещин вместо трещинной пористости позволяет сузить область неопределенности решения обратной задачи.

Обсуждение результатов

Таким образом, на основе результатов моделирования был проведен анализ влияния параметров, характеризующих пустотное пространство порово-трещинных карбонатных пород, на скорости упругих волн. Анализ выполнен с использованием метода самосогласования Берримана для трехкомпонентной модели породы (матрица + поры + трещины). По результатам моделирования

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

выполнено построение поверхностей скоростей упругих волн в зависимости от меняющихся параметров модели.

Результаты моделирования, проведенного в данной работе, находятся в соответствии с имеющимися знаниями о влиянии пористости на скорости волн, которые, как известно, уменьшаются с ростом пористости. Однако характер этого уменьшения определяется формой пустот. Так, например, если оценивать влияние трещин на скорости упругих волн для модели нефтенасыщенной породы с аспектным отношением трещин равным 0,1 (значение, часто принимаемое в качестве граничного, разделяющего «трещины» и «поры»), то можно увидеть, что пористость 2,5% (максимальное значение в данном исследовании) уменьшила скорости V_p на 4,6% и V_s на 2,3%. Однако при малых значениях аспектного отношения трещин, таких как 0,0001, влияние трещин способно уменьшить значение скоростей продольных и поперечных волн более чем на 20%.

Задача по определению характеристик пустотного пространства пород является неоднозначной, как большинство обратных задач, возникающих в геофизике и других областях знаний. Предложенный способ ее решения позволяет оценить область допустимых решений поставленной обратной задачи и тем самым

охарактеризовать область неопределенности ее решения. На практике, как правило, используют «наиболее вероятное» решение обратной задачи, которое характеризует решение, обеспечивающее минимальное значение выбранной меры расхождения экспериментальных и теоретических значений скоростей.

Важным результатом данных исследований является возможность определения зон повышенной трещиноватости. Обнаружение таких зон имеет важное практическое значение для разведочной геофизики, поскольку именно эти зоны наиболее благоприятны для движения углеводородов по сравнению с зонами, имеющими близкие значения пористости, но содержащими в основном квазиизометричные пустоты.

Выводы

Предложен метод построения поверхностей скоростей упругих волн в зависимости от параметров, характеризующих морфологию трещин. Данный метод может быть использован для обнаружения зон повышенной трещиноватости в порово-трещинных карбонатных коллекторах и характеристик этих зон в терминах параметров трещин — их содержания и степени относительного раскрытия — с использованием данных акустического и плотностного каротажа.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Beran M.J., Molyneux J. Use of classical variational principles to determine bounds for the effective bulk modulus in heterogeneous media // *Quart. Appl. Math.* 1966. № 24. P. 107—118 (In English).
2. Berryman J.G. Mixture theories for rock properties. In *Rock Physics and Phase Relations: a Handbook of Physical Constants*, ed. T.J. Ahrens. Washington, DC: American Geophysical Union. 1995. P. 205—228 (In English).
3. Budiansky B. On the elastic moduli of some heterogeneous materials // *J. Mech. Phys. Solids*. 1965. № 13. P. 223—227 (In English).
4. Corson P.B. Correlation functions for predicting properties of heterogeneous materials // *J. Appl. Phys.* 1974. № 45. P. 3159—3179 (In English).
5. Hill R. A self-consistent mechanics of composite materials // *J. Mech. Phys. Solids*. 1965. № 13. P. 213—222 (In English).
6. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. *The Rock Physics Handbook*. 2-nd Edition. Cambridge Univ. Press. 2009. (In English).
7. McCoy J.J. On the displacement field in an elastic medium with random variations in material properties. In *Recent Advances in Engineering Science*. Vol. 2. Ed. A.C. Eringen. New York: Gordon and Breach, 1970. P. 235—254 (In English).
8. Watt J.P., Davies G.F., O'Connell R.J. The elastic properties of composite materials // *Rev. Geophys. Space Phys.* 1976. № 14, 541—563 (In English).
9. Wood A.W. *A Textbook of Sound*. New York: McMillan Co. 1955 (In English).
10. Wu T.T. The effect of inclusion shape on the elastic moduli of a two-phase material // *Int. J. Solids Structures*. 1966. № 2. P. 1—8 (In English).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Баяк И.О. — разработала концепцию статьи, присоединилась к подготовке текста статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yanina S. Grigoryan — developed the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Irina O. Bayuk — developed the concept 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

Григорян Янина Сергеевна* — аспирант ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук».

10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия

e-mail: grigorian.yanina@yandex.ru

тел.: +7 (985) 476-65-16

SPIN-код: 3494-6160

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9389-2316>

Yanina S. Grigoryan* — post-graduate researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences.

10, bld. 1, B. Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia

e-mail: grigorian.yanina@yandex.ru

tel.: +7 (985) 476-65-16

SPIN-code: 3494-6160

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9389-2316>

Баяк Ирина Олеговна — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук».

10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия

e-mail: bayuk@yandex.ru

SPIN-код: 6268-4076

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1148-9609>

Irina O. Bayuk — Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Senior Scientist, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences.

10, bld. 1, B. Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia

e-mail: bayuk@yandex.ru

SPIN-code: 6268-4076

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1148-9609>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА КАМАФОРИТОВ МАССИВА ТОМТОР

Л.Н. БАРАНОВ^{1,2,*}, А.В. ТОЛСТОВ¹

¹ Научно-исследовательское геологическое предприятие Акционерная компания «АЛРОСА»
(публичное акционерное общество)

39, ул. Ленина, г. Мирный, Республика Саха (Якутия) 678174, Россия

² ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук»

3, проспект Академика Коптюга, г. Новосибирск 677007, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Получены новые данные о вещественном составе и условиях формирования апатит-магнетитовых пород (фоскоритов, камафоритов) месторождения Онкучах массива Томтор на основании исследования типоморфных особенностей магнетита.

Цель. Изучение морфологии, химического состава и взаимоотношений магнетита с ассоциирующими минералами в апатит-магнетитовых породах месторождения Онкучах массива Томтор.

Материалы и методы. В качестве материала использовался керн скважины № 801 (месторождения Онкучах массива Томтор). Общая длина составляет 177 погонных метров. Для определения состава минералов использовались: JXA-8230 (Jeol X-ray Analyzer) (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный), электронный сканирующий микроскоп с полевой эмиссией TESCAN MIRA 3 LMU, оборудованный энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450+ с детектором XMax-80 (Oxford Instruments Ltd) (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный; ИГМ СО РАН им. В.С. Соболева). Измерения проводились по стандартной методике, ускоряющее напряжение 20 kV, ток 1 nA, время счета от 60 с, размер зонда — 2 мкм. Калибровка прибора осуществляется по набору охарактеризованных искусственных соединений и природных минералов. Проверка стабильности прибора осуществляется измерением интенсивности линии Co.

Результаты. Установлены текстурно-структурные особенности магнетитовых руд и их взаимоотношения с участками фоскоритов отличного вещественного состава и с вмещающими породами. Определено влияние наложенных гидротермальных процессов. Дана подробная морфологическая характеристика магнетита, для которого установлено наличие двух генераций: первично-магматический магнетит и преобразованный при воздействии наложенных процессов. Получена представительная информация о химическом составе магнетита.

Заключение. Предполагается образование магнетита при магматическом процессе с участием кристаллизационной дифференциации. Показана связь находок благородных металлов с наложенными на магнетитовые руды гидротермальными процессами. Подтверждено участие апатит-магнетитовых руд при формировании гипергенного комплекса — железисто-фосфатных латеритных кор выветривания массива Томтор. Рекомендовано рассматривать камафориты массива Томтор как природнолегированные железные руды с возможным попутным извлечением ряда полезных компонентов.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Якутия, Томтор, камафорит, карбонатит, фоскорит, магнетит, ильменит

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проекты № 19-17-00013 и 18-17-00120).

Благодарности: авторы благодарят А.С. Иванова (НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)), Н.С. Карманова (ИГМ СО РАН), Е.В. Лазареву (ИГМ СО РАН).

Для цитирования: Баранов Л.Н., Толстов А.В. Типоморфные особенности магнетита камафоритов массива Томтор. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):66—76. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-66-76>

Статья поступила в редакцию 23.11.2020

Принята к публикации 20.03.2021

Опубликована 21.02.2022

* Автор, ответственный за переписку

TYPOMORPHIC FEATURES OF MAGNETITE FROM TOMTOR MASSIF CAMAPHORITES

LEONID N. BARANOV^{1,2,*}, ALEXANDER V. TOLSTOV¹

¹ Geo-Scientific Research Enterprise Public Joint Stock Company “ALROSA”
39, str. Lenin, Mirny 678174, Russia

² The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy
3, Acad. Koptyuga ave., Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT

Background. The paper presents new data on the material composition and formation conditions of apatite-magnetite rocks (phoscorite and camaphorites) from the Onkuchakh deposit within the Tomtor massif drawing on the study into the typomorphic features of magnetite.

Aim. To study the morphology, chemical composition, and relations of magnetite with associated minerals in apatite-magnetite rocks from the Onkuchakh deposit (Tomtor massif).

Materials and methods. The study employed core samples measuring 177 m in total length (bore-hole No. 801, Onkuchakh field, Tomtor massif). In order to determine the composition of recovered minerals, the following instruments were used: JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer (ALROSA, Mirny, Russia); TESCAN MIRA 3 LMU field emission scanning electron microscope equipped with an Oxford Instruments INCA Energy 450+ energy dispersive spectrometer with an XMax-80 detector (ALROSA, Mirny; V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS). The measurements were performed according to a standard procedure: accelerating voltage — 20 kV; current — 1 nA; counting time — from 60 s; probe size — 2 µm. Instrument calibration was carried out using a set of characterized artificial compounds and natural minerals; instrument stability was confirmed by measuring Co line intensity.

Results. The authors identified the textural and structural features of magnetite ores, as well as ascertaining their relations with the areas of camaphorites characterized by different material composition and host rocks. The impact of superimposed hydrothermal processes was determined. In addition, a detailed morphological characterization was provided for magnetite found to comprise two generations: primary magmatic magnetite and that transformed under the influence of superimposed processes. Finally, representative data on the chemical composition of magnetite were obtained.

Conclusion. It is concluded that magnetite is formed through a magmatic process involving crystallization differentiation. The occurrence of noble metal is shown to be related to hydrothermal processes superimposed on magnetite ores. The role of apatite-magnetite ores in the formation of the supergene complex — ferrous phosphate lateritic weathering crusts of the Tomtor massif — is confirmed. It is recommended to consider camaphorites from the Tomtor massif as naturally alloyed iron ores potentially extracted along with a number of valuable components.

Keywords: Siberian Platform, Yakutia, Tomtor, camaphorite, carbonatite, phoscorite, magnetite, ilmenite

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

Financial disclosure: research was carried out on the subject of the State Assignment of the GIN RAS No. 0135-2019-0073.

Acknowledgements: the authors would like to thank A.S. Ivanov (NIGP PJSC “ALROSA”), N.S. Karmanov (IGM SB RAS) and E.V. Lazareva (IGM SB RAS).

For citation: Baranov L.N., Tolstov A.V. Typomorphic features of magnetite from tomtor massif camaphorites. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):66—76. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-66-76>

Manuscript received 23 November 2020

Accepted 20 March 2021

Published 21 February 2022

* Corresponding author

Апатит-магнетитовые руды известны как фоскориты, камафориты или нельсониты, таким образом, эти термины равнозначны [2], однако в соответствии с номенклатурой в мире наиболее распространен «фоскорит».

Массив Томтор, известный по крупнейшему одноименному месторождению ниобия и редкоземельных элементов [4—9, 12, 18], включает также камафориты, образующие месторождение апатит-магнетитовых руд Онкучах с ресурсами железа свыше 1,0 млрд т [10]. Камафориты массива Томтор, помимо существенных запасов железа и фосфора, содержат Ti, V, REE, Nb, Y в достаточном количестве для их попутного извлечения [2, 10]. В последние годы в апатит-магнетитовых рудах и сиенитах установлены единичные находки благородных металлов [1, 2, 25]. Это диктует необходимость установления типоморфных особенностей, природы и минерализации апатит-магнетитовых руд с переоценкой массива Томтор на комплекс полезных компонентов, включая золото и платиноиды. Исследование типоморфных особенностей магнетита вносит существенный вклад в решение вопросов образования камафоритов, их полезной минерализации и установления их поисковых признаков.

Материалы и методы исследований

Предметом исследования является керн месторождения Онкучах (скважина № 801, длина интервала 177 пог. м, рис. 2-1). Исследования проводились при помощи оптического метода (поляризационный микроскоп Olympus BX51 XRF), методами электронной сканирующей микроскопии (Tescan MIRA 3 LMU) и микрозондового анализа (JXA-8230) по стандартной методике.

Геологическая характеристика

Массив Томтор — ультраосновной щелочной карбонатитовый комплекс (УЩК) с концентрически-зональным строением (рис. 1). Расположен в Уджинской провинции УЩК, приуроченной к одноименному сводовому поднятию на восточном склоне Анабарской антеклизы [11, 12].

Апатит-магнетитовые руды месторождения Онкучах расположены к северо-востоку от карбонатитового ядра в пределах распространения фойдитов в непосредственной близости их границы с щелочными сиенитами. Помимо месторождения Онкучах, интенсивно гипергенно-измененные апатит-магнетитовые (мартит-лимонит-франколитовые) руды обнаружены на участке Южный при оценочных работах [10, 11].

Возраст камафоритов месторождения Онкучах соответствует второму этапу становления массива (~414—385 млн лет) [3, 24].

Результаты

Формы выделения и взаимоотношения. Магнетитовые руды представлены преимущественно массивным, реже пятнистым магнетитом в горизонтальном чередовании с массивным апатитом (рис. 2-1). На границе с вмещающими фойдитами и щелочными сиенитами массивные агрегаты магнетита ассоциируют с крупно- и гигантозернистыми, зачастую идиоморфными агрегатами биотита.

Магнетит четко разделяется на две генерации: массивный (Mag-I) со структурами распада ильменита и без структур распада (Mag-II), на контакте с гидротермальными прожилками либо в обломках внутри прожилков (рис. 2), что согласуется с нашими предыдущими публикациями [2, 10].

Химический состав. Представительные химические составы магнетита отражены в таблице и на диаграммах (рис. 3—5).

Составы магнетитов месторождения Онкучах в координатах Fe^{3+} -Ti соответствуют полям составов магнетитов фоскоритов Ковдора, Соколи, Вуориярви, Каталао, Салитра и бебедуритов (биотитовые эгирин-авгитовые пироксениты) комплекса Тапира, образующим ульвешпинель-магнетитовый тренд (рис. 3a). В координатах Mn-Mg (рис. 3b) магнетиты камафоритов Томтора образуют собственный субвертикальный тренд, не характерный для магнетита фоскоритов других карбонатитовых комплексов.

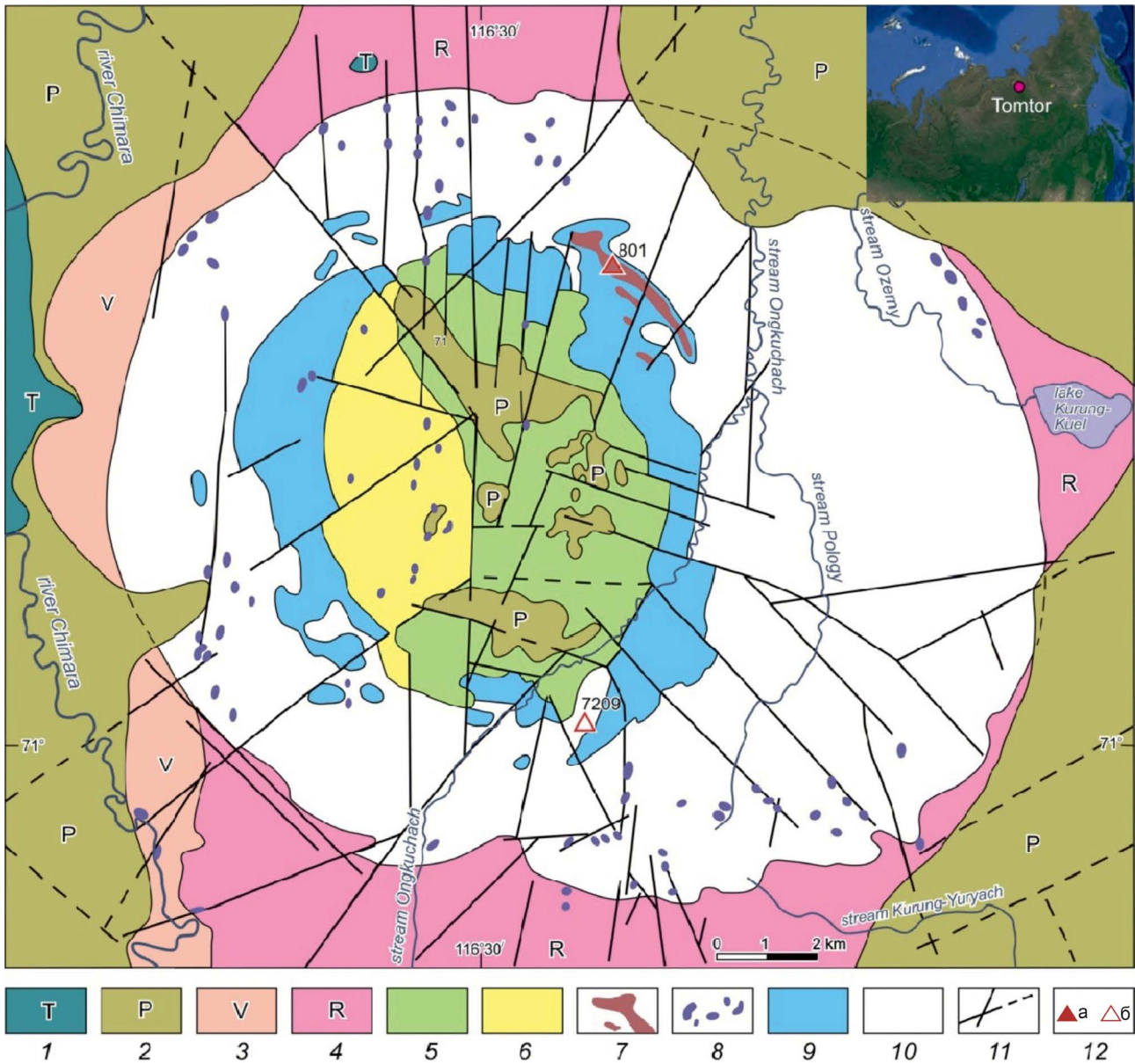


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Томторского массива на основе геологической карты доюрских образований массива Томтор по [11] с учетом материалов геологической съемки (1974—1983) и результатов работ Эбеляхской ГРП: 1 — нижнетриасовые туфы, лавы базальтов, Т; 2 — пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли, Р₁₋₂; 3 — песчаники, гравелиты, алевролиты венда, V; 4 — доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники рифея, R; 5—7 — карбонатитовый комплекс: 5 — редкометалльные, 6 — безрудные карбонатиты и 7 — камафориты; 8—10 — комплекс силикатных пород: 8 — мелкие секущие тела щелочно-ультраосновных пород, 9 — фойдолиты, 10 — щелочные и нефелиновые сиениты; 11 — тектонические нарушения; 12 — точки отбора образцов, их №; а — щелочные сиениты, б — камафориты

Fig. 1. Schematic geological map of the Tomtor massif based on the geological map of the pre-Jurassic formations of the Tomtor massif according to [11], taking into account the materials of the geological survey (1974—1983) and the results of the work of the Ebelyakhskaya GEP unit: 1 — Lower Triassic tuffs, basalt lavas, T; 2 — Permian conglomerates, gravelstones, sandstones, siltstones, coals, P₁₋₂; 3 — sandstones, gravelstones, siltstones of Vendian, V; 4 — dolomites, shales, siltstones, Riphean sandstones, R; 5—7 — carbonate complex: 5 — rare metal, 6 — barren carbonatites and 7 — camaphorites; 8—10 — complex of silicate rocks: 8 — small cutting bodies of alkaline-ultrabasic rocks, 9 — foidolites, 10 — alkaline and nepheline syenites; 11 — tectonic faults; 12 — sampling points, their No; a — alkaline syenites; b — camaphorites

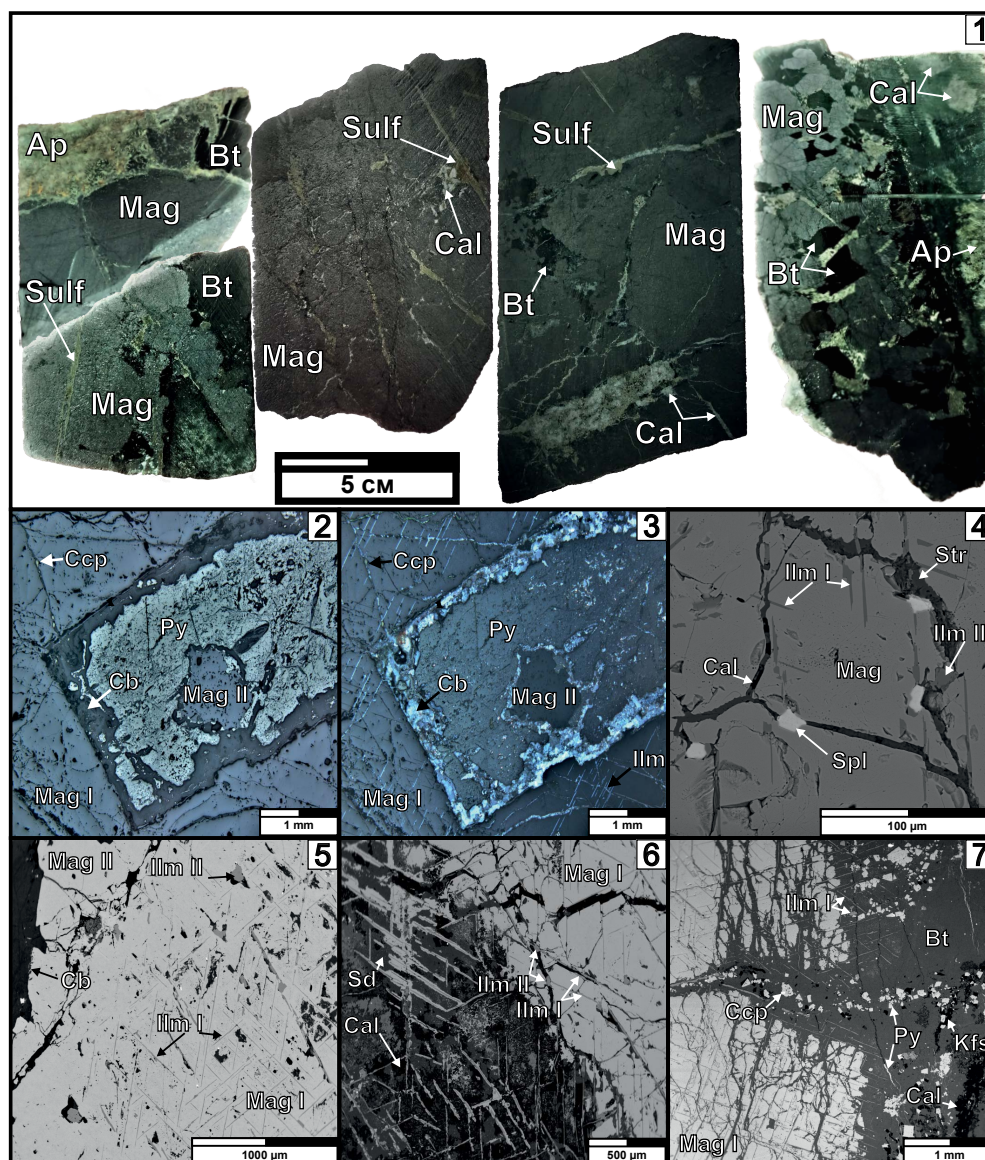


Рис. 2. Магнетитовые руды, скв. 801. 1 — магнетитовые руды месторождения Онкучах массива Томтор (кern скв. 801); 2, 3 — магнетит двух генераций в отраженном свете (2 — нескрещенные, 3 — скрещенные николи); 4—7 — сканирующий электронный микроскоп, съемка в режиме обратно рассеянных электронов (BSE): 4 — карбонатные прожилки с сульфидными вкраплениями в массивном магнетите, 5 — переход от магнетита первой разновидности со структурами распада ильменита к магнетиту второй разновидности вблизи карбонатного прожилка, 6 — растворение массивного магнетита в карбонатном прожилке, 7 — прожилок биотитового состава с сульфидной минерализацией по оси движения гидротермального раствора и массивный магнетит со следами растворения. Условные обозначения: **Ap** — апатит; **Bt** — биотит; **Cal** — кальцит; **Ccp** — халькопирит; **Cb** — карбонат; **Ilm** — ильменит; **Kfs** — калиевый полевой шпат; **Mag** — магнетит; **Py** — пирит; **Sd** — сидерит; **Str** — стронцианит; **Spl** — сфалерит; **Sulf** — сульфиды

Fig. 2. Magnetite ores, borehole 801. 1. Magnetite ores of the Onkuchakh deposit of the Tomtor massif (core well 801); 2,3. Magnetite of two generations in reflected light (2 — uncrossed, 3 — crossed nicols); 4—7 — scanning electron microscope, backscattered electron (BSE) photography: 4 — carbonate veinlets with sulfide phenocrysts in massive magnetite, 5 — transition from type I magnetite with ilmenite decay structures to type II magnetite near the carbonate vein, 6 — dissolution of massive magnetite into carbonate vein, 7 — vein of biotite composition with sulfide mineralization along the axis of motion of the hydrothermal solution and massive magnetite with traces of dissolution. Legend: **Ap** — apatite; **Bt** — biotite; **Cal** — calcite; **Ccp** — chalcopyrite; **Cb** — carbonate; **Ilm** — ilmenite; **Kfs** — potassium feldspar; **Mag** — magnetite; **Py** — pyrite; **Sd** — siderite; **Str** — strontianite; **Spl** — sphalerite; **Sulf** — sulfides

Таблица. Составы и формульные коэффициенты для магнетита месторождения Онкучах (массив Томтор)
Table. Compositions and formula coefficients for magnetite from the Onkuchakh deposit (Tomtor massif)

Представительные составы магнетита (в масс. %) / Representative compositions of magnetite (wt %)															
№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	CoO	NiO	CuO	ZnO	Nb ₂ O ₅	V ₂ O ₅	Total
1	0	1,73	0,25	0,06	98,62	0,35	0,05	0	0,51	0,04	0	0,06	0	0,55	102,3
2	0,04	2,02	0,23	0	95,74	0,92	0,13	0	0,5	0,04	0,09	0,12	0,1	0,7	100,72
3	0,02	3,47	0,21	0,04	92,98	0,77	0,07	0	0,65	0,06	0	0,1	0,01	0,66	99,23
4	0,04	0,8	0,25	0,1	92,29	0,36	0,07	0,18	0,6	0,03	0,03	0,15	0,13	0,48	95,65
5	0,04	1,93	0,08	0,03	90,22	0,08	0,02	0,24	0,71	0	0	0,15	0,01	0,55	94,2
6	0,02	1,55	0,02	0	89,4	0,71	0,02	0	0,92	0,11	0	0,04	0,07	0,57	93,53
7	0,06	2,69	0,13	0,01	87,64	0,93	0,1	0,01	0,56	0,01	0	0,3	0,04	0,57	93,06
8	0	2,14	0,15	0	89,04	0,35	0,07	0,03	0,58	0,11	0,06	0,06	0	0,59	93,18
9	0	1,87	0,25	0,07	87,89	0,84	0,1	0,03	0,66	0,08	0	0	0	0,52	92,42
10	0,11	1,57	0,08	0,07	88,72	0,48	0,05	0,01	0,64	0,01	0,13	0	0,06	0,54	92,47
11	0,04	1,32	0,25	0,19	88,38	0,39	0,07	0,03	0,61	0,03	0	0	0	0,57	92,18
12	0,06	0,65	0,19	0,04	89,73	0,23	0,07	0	0,65	0,05	0,03	0,02	0	0,55	92,37
13	0,04	2,32	0,13	0	86,92	0,8	0,1	0,01	0,69	0	0	0,1	0,1	0,57	91,98
14	0	2,62	0,11	0,04	87,01	0,28	0,03	0,04	0,6	0	0,03	0	0,06	0,68	91,76
15	0,11	1,53	0,25	0,01	87,96	0,37	0,1	0,1	0,52	0,04	0	0,22	0	0,54	91,77
Формульные коэффициенты, рассчитанные на 4 аниона / Formula coefficients calculated for 4 anions															
№	Si	Ti	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Zn	Ni	Mn	Mg	Ca	Co	Cu	V	O
1	0	0,046	0,01	0,002	1,847	1,056	0,002	0,001	0,01	0,003	0	0,009	0	0,021	4
2	0,001	0,054	0,01	0	1,815	1,05	0,004	0,001	0,028	0,007	0	0,009	0,002	0,027	4
3	0,001	0,095	0,009	0,001	1,737	1,095	0,003	0,002	0,024	0,004	0	0,012	0	0,026	4
4	0,002	0,023	0,011	0,003	1,892	1,018	0,005	0,001	0,011	0,004	0,007	0,012	0,001	0,02	4
5	0,002	0,056	0,004	0,001	1,828	1,064	0,006	0	0,003	0,001	0,01	0,014	0	0,023	4
6	0,001	0,045	0,001	0	1,851	1,04	0,001	0,004	0,023	0,001	0	0,018	0	0,024	4
7	0,002	0,078	0,006	0	1,776	1,064	0,011	0	0,031	0,006	0	0,011	0	0,024	4
8	0	0,062	0,007	0	1,811	1,069	0,002	0,004	0,011	0,004	0,001	0,011	0,002	0,025	4
9	0	0,055	0,011	0,002	1,825	1,042	0	0,003	0,028	0,006	0,001	0,013	0	0,022	4
10	0,004	0,046	0,004	0,002	1,84	1,054	0	0	0,016	0,003	0	0,013	0,004	0,023	4
11	0,002	0,039	0,012	0,006	1,845	1,05	0	0,001	0,013	0,004	0,001	0,012	0	0,025	4
12	0,002	0,019	0,009	0,001	1,893	1,033	0,001	0,002	0,008	0,004	0	0,013	0,001	0,024	4
13	0,002	0,019	0,009	0,001	1,893	1,033	0,001	0,002	0,008	0,004	0	0,013	0,001	0,024	4
14	0	0,078	0,005	0,001	1,77	1,1	0	0	0,009	0,002	0,002	0,012	0,001	0,029	4
15	0,004	0,045	0,012	0	1,836	1,047	0,008	0,002	0,012	0,006	0,004	0,01	0	0,023	4

На генетической диаграмме Аронссона [13] в координатах V-Cr (ppm) точки составов располагаются в поле магнетита магматического происхождения (рис. 4а), в то же время, согласно распределению составов магнетита на генетической диаграмме Дейра [17], магнетит имеет как магматическое, так и гидротермальное происхождение.

Распределение составов магнетита на дискриминационных диаграммах Дупиуса и Бедуина [19] позволяет выделить собственную область камафоритового магнетита (рис. 5), расположенную преимущественно внутри области, характерной для месторождений Fe-Ti и V (Садбери-Ti, Жирардвиль, Лак Дор).

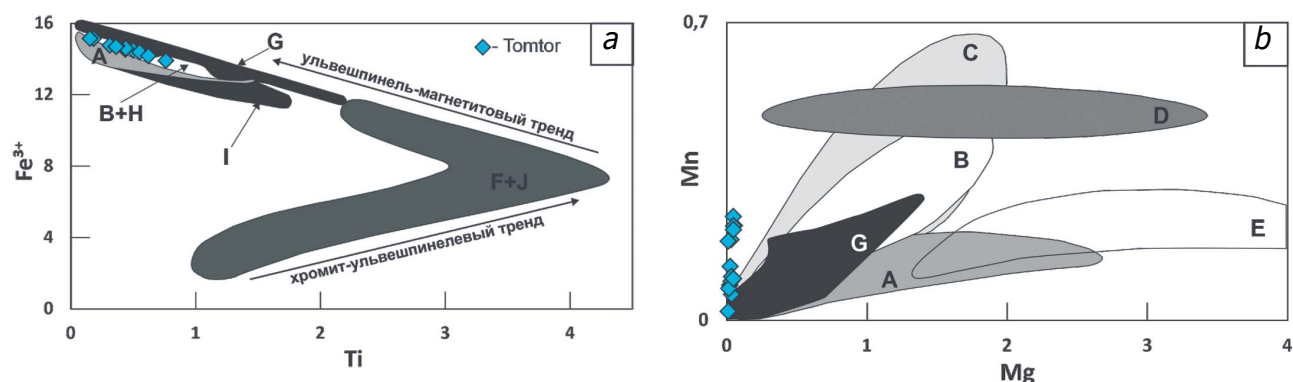


Рис. 3. Вариационные диаграммы для магнетита в катионах, рассчитанных на 32 атома кислорода по [16]. Поля магнетита: А — фоскориты Ковдора [22]; В — Сокли [23]; С — Вуориярви [21]; D — Турий Мыс [21]; E — Якупиранга [20]; G — Каталао [21]; F — флогопитовые пикриты комплекса Тапира [15]; H — фоскориты Салитра; I — бебедуриты комплекса Тапира; J — флогопитовые пикриты Альто-Паранаиба [14]
Fig. 3. Variational diagrams for magnetite in cations, calculated for 32 oxygen atoms according to [16]. Magnetite fields: A — forkorites of Kovdor [22]; B — Sokli [23]; C — Vuorijärvi [21]; D — Турий Мыс [21]; E — Yakupiranga [20]; G — Catalao [21]; F — phlogopite picrites of the Tapira complex [15]; H — forts of Salitra; I — bebedurites of the Tapira complex; J — phlogopite picrites of Alto Paranaíba [14]

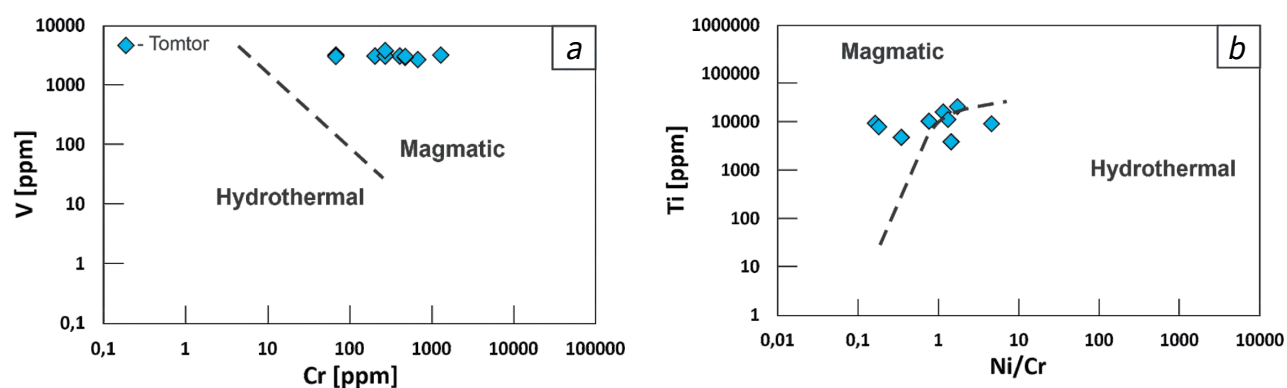


Рис. 4. Вариационные диаграммы для магнетита. а — разделение магнетита на гидротермальный и магматический в координатах V-Cr по [13]; б — разделение магнетита на гидротермальный и магматический в координатах Ti и Ni/Cr отношения по [17]
Fig. 4. Variation diagrams for magnetite. а — separation of magnetite into hydrothermal and magmatic in V-Cr coordinates according to [13]; б — separation of magnetite into hydrothermal and magmatic in the coordinates of Ti and Ni / Cr ratios according to [17]

Обсуждение результатов

Четкое субгоризонтальное разделение массивных магнетитовых и апатитовых руд свидетельствует об участии кристаллизационной дифференциации при образовании камафоритов в ходе магматического процесса.

Химический состав магнетита соответствует составу магнетитов фоскоритов других комплексов УЩК, но имеет отличительные особенности, указывающие на различия в составе и времени эволюции родительской и дочерних магм. Выделяется область составов, отличающих магнетит

камафоритов от магнетита железорудных месторождений других типов.

Положение магнетита на генетических диаграммах (рис. 4) и взаимоотношения с другими минералами указывают на его первично магматическое происхождение с последующей перекристаллизацией высокотемпературными гидротермальными растворами.

На основании проведенных исследований получены следующие выводы.

1. Магнетитовые руды камафоритов массива Томтор (месторождение Онкучах) образовались

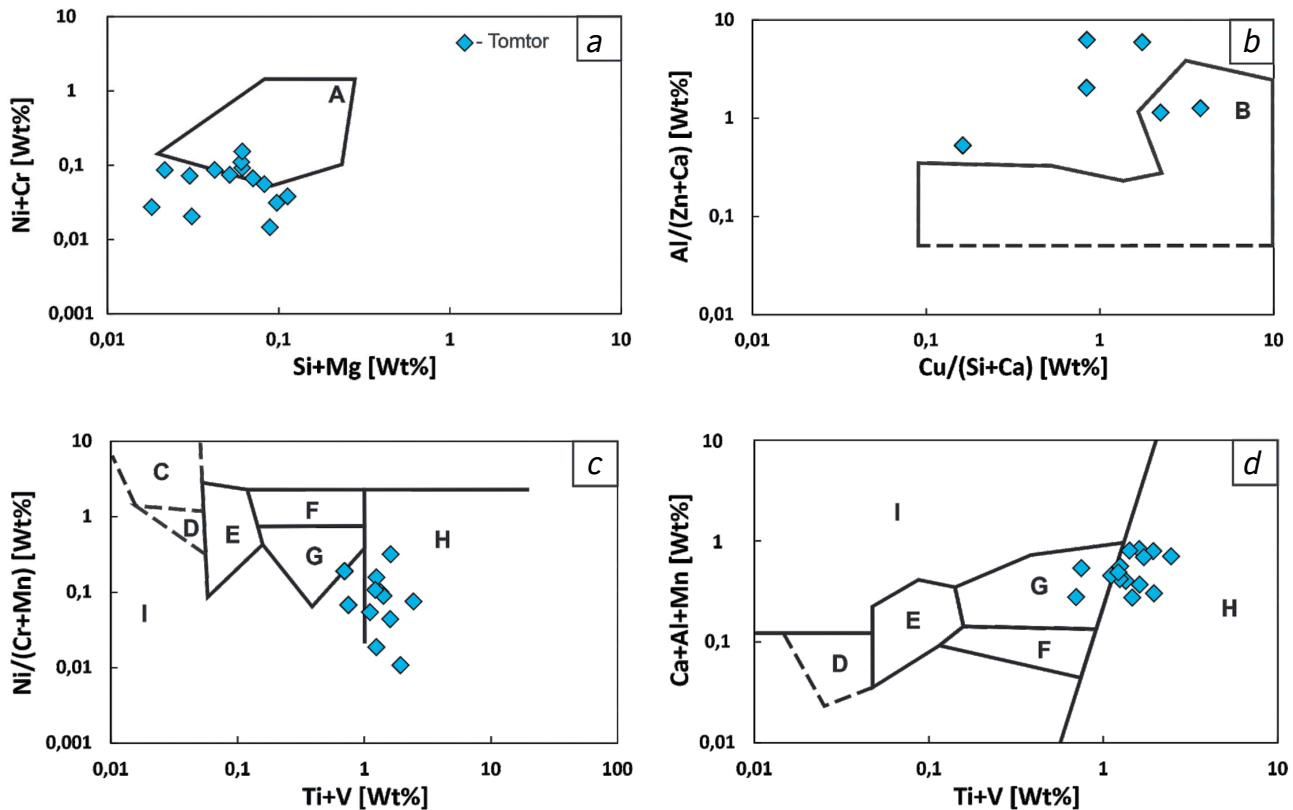


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы для магнетита из различных источников по [19]. Условные обозначения: А — месторождения Cu-Ni типа; В — вулканогенные месторождения массивных сульфидных руд; С — медные руды типа Опемиска; D — месторождения джеспилитовой формации; E — месторождения железо-медно-золотой формации; F — апатит-магнетитовые месторождения Кирунского типа; G — месторождения порфировой формации; H — месторождения Fe-Ti, V формации; I — скарновые месторождения

Fig. 5. Discrimination diagrams for magnetite from various sources according to [19]. Legend: A — Cu-Ni type deposits; B — volcanic deposits of massive sulfide ores; C — copper ores of the Opemiska type; D — deposits of the jaspilite formation; E — deposits of the iron-copper-gold formation; F — apatite-magnetite deposits of the Kiruna type; G — deposits of the porphyry formation; H — deposits of Fe-Ti, V formations; I — skarn deposits

в результате кристаллизационной дифференциации при остывании Fe-P расплава.

2. Руды камафоритов характеризуются минералогическими особенностями магнетита и аксессуарных минералов Ti и Fe, которые можно рассматривать в качестве типоморфных для УЩК.

3. Учитывая значительные запасы и ресурсы апатит-магнетитовых руд, высокие концентрации примесных элементов в них и особенно в гипергенно-измененных разностях, авторы рассматривают камафориты как источник попутных редких и, возможно, благородных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В. Благородные металлы в щелочных породах и карбонатах // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 8—10 апреля 2020 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020. С. 188—192.
2. Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В., Слепцов А.П. Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, северо-восток Сибирской платформы // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 42—54.
3. Владыкин Н.В. Модель зарождения и кристаллизации ультраосновных-щелочных-карбонатитовых магм Сибирского региона, проблемы их рудоносности, мантийные источники и связь с плюмовым процессом // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 5. С. 889—905.

4. Делицын Л.М., Мелентьев Г.Б., Толстов А.В., Магазина Л.А., Самонов А.Е., Сударева С.В. Технологические проблемы Томтора и их решение // Редкие земли. 2015. № 2(5). С. 164—179.
5. Лазарева Е.В., Жмодик С.М., Добрецов Н.Л., Толстов А.В., Щербов Б.Л., Карманов Н.С., Герасимов Е.Ю., Брянская А.В. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 6. С. 1080—1115.
6. 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.
7. Лапин А.В., Толстов А.В. Новые уникальные месторождения редких металлов в корях выветривания карбонатитов // Разведка и охрана недр. 1993. № 3. С. 7—11.
8. Округин А.В., Зайцев А.И., Борисенко А.С., Земнухов А.Л., Иванов П.О. Золотоплатиновые россыпи бассейна р. Анабар и их возможная связь с щелочно-ультраосновными магматитами Севера Сибирской платформы // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 11—20.
9. Округин А.В., Толстов А.В. Петрогеохимическая характеристика сиенит-щелочно-ультраосновного силикатного комплекса пород Томторского массива (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 56—66.
10. Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (С-З Якутия) // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 91—100.
11. Толстов А.В. Минералогия и геохимия золота С-З Якутии и перспективы золоторудности Анабарского щита // Вест. ВГУ, сер. геол. 1999. № 8. С. 194—197.
12. Энтин А.Р., Зайцев А.И., Ненашев Н.И., Василенко В.Б., Орлов А.Н., Тянь О.А., Ольховик Ю.А., Ольштынский С.П., Толстов А.В. О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (Северо-Западная Якутия) // Геология и геофизика. 1990. № 12. С. 42—50.
13. Aronsson J. Compositional variations between hydrothermal and magmatic magnetite and their potential for mineral exploration using till from Laver, Northern Sweden // Degree of Master of Science with a major in Earth Sciences. Department of Earth Sciences, University of Gothenburg. 2016. P. 47.
14. Barbosa E.S.R., Brod J.A., Cordeiro P.F.O., Junqueira-Brod T.C., Santos R.V., Dantas E.L. Phoscorites of the Salitre I complex: Origin and petrogenetic implications // Chemical Geology. 2020. No. 535. P. 1—18.
15. Brod J.A., Gaspar J.C., Diniz-Pinto H.S., Junqueira-Brod T.C. Spinel chemistry and petrogenetic processes in the Tapira alkaline-carbonatite complex, Minas Gerais, Brazil // Bras. Geociências. 2005. No. 35, P. 23—32.
16. Cordeiro P.F.O., Brod J.A., Dantas E.L., Barbosa E.S.R. Mineral chemistry, isotope geochemistry and petrogenesis of niobium-rich rocks from the Catalão I carbonatite-phoscorite complex, Central Brazil // Lithos. 2010. No. 118. P. 223—237.
17. Dare, S.A., Barnes S.J., Beaudoin G., Méric J., Boutroy E., Potvin-Doucet C. Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators // Mineralium Deposita. 2014. No. 49. P. 785—796.
18. Delitsyn L.M., Melentev G.B., Batenin V.M., Tolstov A.V. Coexistence of two immiscible liquid phases in a niobium-rareearth element-silicate-salt system // Doklady Chemistry. 2015. T. 462. № 2. С. 165—168.
19. Dupuis C., Beaudoin G. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types // Minera Deposita. 2011. No. 46. P. 319—335.
20. Gaspar J.C., Wyllie P.J. Magnetite in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil // American Mineralogist. 1983. No. 68. P. 195—213.
21. Karchevsky P.I., Moutte J. The phoscorite-carbonatite complex of Vuoriyarvi, northern Karelia // Phoscorites and Carbonatites From Mantle to Mine. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. 2004. P. 163—199.
22. Krasnova N.I., Petrov T.G., Balaganskaya E.G., Garcia D., Moutte J., Zaitsev A.N., Wall F. Introduction to phoscorites: occurrence, composition, nomenclature and petrogenesis // Phoscorites and Carbonatites from Mantle to Mine. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. 2004. P. 45—74.
23. Lee, M.J., Lee, J.I., Moutte, J. Compositional variation of Fe-Ti oxides from the Sokli complex, northeastern Finland // Geosci. 2005. No. 9. P. 1—13.
24. Skublov S G , Tolstov A. V., Baranov L. N., Melnik A.E., Levashova E. V. First data on the geochemistry and U-Pb age of zircons from the kamaphorites of the Tomtor alkaline-ultrabasic massif, Arctic Yakutia Chemie der Erde. 2019. №6. pp. 1-11.
25. Tolstov A.V. Platinum prospects of alkaline Rocks of Udzha province (NW of Yakutia) // Ore Potential of Alkaline, Kimberlite and Carbonatite Magmatism. UCTEA Chamber of Turkish Geological Engineers-Ankara Abstract book. 2014. P. 196—197.

REFERENCES

1. Aronsson J. Compositional variations between hydrothermal and magmatic magnetite and their potential for mineral exploration using till from Laver, Northern Sweden // Degree of Master of Science with a major in Earth Sciences. Department of Earth Sciences, University of Gothenburg. 2016. P. 47.
2. Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V. Noble metals in alkaline rocks and carbonatites // Geology and

- mineral resources of the North-East of Russia: materials of the X All-Russian scientific-practical conference with international participation, April 8—10, 2020. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020. P. 188—192 (In Russian).
3. Baranov L.N., Tolstov A.V., Okrugin A.V., Sleptsov A.P. New in mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, north-east of the Siberian platform // *Ores and metals*. 2018. No. 2. P. 42—54 (In Russian).
 4. Barbosa E.S.R., Brod J.A., Cordeiro P.F.O., Junqueira-Brod T.C., Santos R.V., Dantas E.L. Phoscorites of the Salitre I complex: Origin and petrogenic implications // *Chemical Geology*. 2020. No. 535. P. 1—18.
 5. Brod J.A., Gaspar J.C., Diniz-Pinto H.S., Junqueira-Brod T.C. Spinel chemistry and petrogenetic processes in the Tapira alkaline-carbonatite complex, Minas Gerais, Brazil // *Bras. Geociências*. 2005. No. 35. P. 23—32.
 6. Cordeiro P.F.O., Brod J.A., Dantas E.L., Barbosa E.S.R. Mineral chemistry, isotope geochemistry and petrogenesis of niobium-rich rocks from the Catalão I carbonatite-phoscorite complex, Central Brazil // *Lithos*. 2010. No. 118. P. 223—237.
 7. Dare S.A., Barnes S.J., Beaudoin G., Méric J., Boutroy E., Potvin-Doucet C. Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators // *Mineralium Deposita*. 2014. No. 49. P. 785—796.
 8. Delitsyn L.M., Melentev G.B., Batenin V.M., Tolstov A.V. Coexistence of two immiscible liquid phases in a niobium-rareearth element-silicate-salt system // *Doklady Chemistry*. 2015. T. 462. № 2. P. 165—168.
 9. Delitsyn L.M., Melent'ev G.B., Tolstov A.V., Magazina L.A., Samonov A.E., Sudareva S.V. Tomtor's technological problems and their solution // *Rare earths*. 2015. No. 2(5). P. 164—179 (In Russian).
 10. Dupuis C., Beaudoin G. Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types // *Minera Deposita*. 2011. No. 46. P. 319—335.
 11. Entin A.R., Zaytsev A.I., Nenashev N.I., Vasilenko V.B., Orlov A.N., Tyan O.A., Ol'khovik Yu.A., Ol'shtynskiy S.P., Tolstov A.V. On the sequence of geological events associated with the intrusion of the Tomtor massif of ultrabasic alkaline rocks and carbonatites (North-Western Yakutia) // *Geology and Geophysics*. 1990. No. 12. P. 42—50 (In Russian).
 12. Gaspar J.C., Wyllie P.J. Magnetite in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil // *American Mineralogist*. 1983. No. 68. P. 195—213.
 13. Karchevsky P.I., Moutte J. The phoscorite-carbonatite complex of Vuorijarvi, northern Karelia // *Phoscorites and Carbonatites From Mantle to Mine*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. 2004. P. 163—199.
 14. Krasnova N.I., Petrov T.G., Balaganskaya E.G., Garcia D., Moutte J., Zaitsev, A.N., Wall F. Introduction to phoscorites: occurrence, composition, nomenclature and petrogenesis // *Phoscorites and Carbonatites from Mantle to Mine*. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland. 2004. P. 45—74.
 15. Lapin A.V., Tolstov A.V. New unique deposits of rare metals in the weathering crusts of carbonatites // *Exploration and conservation of mineral resources*. 1993. No. 3. P. 7—11 (In Russian).
 16. Lapin A.V., Tolstov A.V. Oxidative and reduction stages of formation of the zone of hypergenesis of carbonatites and their ore content // *Geology of ore deposits*. 1991. T. 33. No. 4. P. 81—91 (In Russian).
 17. Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Dobretsov N.L., Tolstov A.V., Shcherbov B.L., Karmanov N.S., Gerasimov E.Yu., Bryanskaya A.V. The main ore-forming minerals of anomalously rich ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia) // *Geology and Geophysics*. 2015. T. 56. No. 6. P. 1080—1115 (In Russian).
 18. Lee M.J., Lee, J.I., Moutte J., Compositional variation of Fe-Ti oxides from the Sokli complex, northeastern Finland // *Geosci*. 2005. No. 9. P. 1—13.
 19. Okrugin A.V., Tolstov A. V. Petrogeochemical characteristics of the syenite-alkaline-ultrabasic silicate complex of rocks of the Tomtor massif (north-east of the Siberian platform) // *Otechestvennaya Geologiya*. 2017. No. 5. P. 56—66 (In Russian).
 20. Okrugin A.V., Zaytsev A.I., Borisenko A.S., Zemnukhov A.L., Ivanov P.O. Gold-platinum placers of the river basin Anabar and their possible connection with alkaline-ultrabasic magmatites of the North of the Siberian platform // *Otechestvennaya geologiya*. 2012. No. 5. P. 11—20 (In Russian).
 21. Skublov S.G., Tolstov A. V., Baranov L. N., Melnik A.E., Levashova E. V. First data on the geochemistry and U-Pb age of zircons from the kamaphorites of the Tomtor alkaline-ultrabasic massif, Arctic Yakutia *Chemie der Erde*. 2019. №6. pp. 1-11.
 22. Tolstov A.V. Mineralogy and geochemistry of gold in NW Yakutia and prospects for gold ore of the Anabar shield // *Vest. VSU, ser. geol.* 1999. No. 8. P. 194—197 (In Russian).
 23. Tolstov A.V. Peculiarities of mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif (NW Yakutia) // *Geology and geophysics*. 1994. No. 9. P. 91—100 (In Russian).
 24. Tolstov A.V. Platinum prospects of alkaline Rocks of Udzha province (NW of Yakutia) // *Ore Potential of Alkaline, Kimberlite and Carbonatite Magmatism*. UCTEA Chamber of Turkish Geological Engineers-Ankara Abstract book. 2014. P. 196—197.
 25. Vladyskin N.V. Model of nucleation and crystallization of ultrabasic-alkaline-carbonatite magmas of the Siberian region, problems of their ore content, mantle sources and connection with the plume process // *Geology and Geophysics*. 2016. Vol. 57. No. 5. P. 889—905 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Баранов Л.Н. — подготовил образцы для исследования, изучил описанными методами, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Baranov L.N. — prepared samples for research, studied using the described methods, developed the concept of the article, prepared the text of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Tolstov A.V. — provided samples, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Баранов Леонид Николаевич* — научный сотрудник лаборатории прогнозно-методического сопровождения геологоразведочных работ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО); инженер-исследователь лаборатории рудоносности щелочного магматизма ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук».

39, ул. Ленина, г. Мирный 678174, Россия

3/1, проспект Академика Коптюга, г. Новосибирск 630090, Россия

тел.: +7 (913) 205-97-13

E-mail: BaranovLN@alrosa.ru

SPIN-код: 2228-3296

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6526-3635>

Leonid N. Baranov* — Research Fellow, Laboratory for Predictive and Methodological Support of Geological Exploration, NIGP PJSC ALROSA; Research Engineer, Laboratory of Ore Content of Alkaline Magmatism, The V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy.

39, str. Lenin, Mirny 678174, Russia

3/1, Akademician Koptuyug ave., Novosibirsk 630090, Russia

tel.: +7 (913) 205-97-13

E-mail: BaranovLN@alrosa.ru

SPIN-code: 2228-3296

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6526-3635>

Толстов Александр Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, директор НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО).

39, ул. Ленина, г. Мирный 678174, Россия

тел.: +7 (913) 252-86-12

E-mail: TolstovAV@alrosa.ru

SPIN-код: 7895-6601

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

Alexander V. Tolstov — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Director of NIGP PJSC ALROSA.

39, st. Lenin, Mirny 678174, Russia

tel.: +7 (913) 252-86-12

E-mail: TolstovAV@alrosa.ru

SPIN-code: 7895-6601

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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА РУДНЫХ РАЙОНОВ ДЛЯ ПОИСКА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.М. НЕКРАСОВ

ФГУНПП «Аэрогеология»
8, стр. 2, ул. Академика Волгина, г. Москва 117485, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В 2020 г. Счетная палата РФ на основании представительного доклада своих экспертов-аналитиков М. Меня и А. Каульбарса предложила расширить поиски месторождений ряда металлов, и в том числе золота. В связи с тем что фонд легко открываемых месторождений золота, выходящих на дневную поверхность, значительно сократился, встала необходимость выбора рудных районов, наиболее перспективных на обнаружение руд золота.

Цель работы. В связи с изложенной задачей в пределах известных в настоящее время золоторудных провинций наиболее целесообразно наметить территории, на которых при минимальных затратах времени и средств удалось бы обнаружить предпосылки и признаки золотых руд и заверить их проявление бурением.

Материалы и методы. Материалами проведенного исследования служили подсчеты долей мировых запасов золота, приходящихся на каждый тип выделенных месторождений, размещающихся в различных породах. Из опыта многолетних поисковых работ, проведенных в последние десятилетия и завершившихся открытием мирового лидера золоторудных месторождений Мурунтау в Узбекистане и отечественных крупнейших месторождений и месторождений-гигантов: Наталкинского, Сухоложского, Нежданинского, Дегдеканского, Майского, Октябрьского, месторождений Павлик, Купол, а также Бакырчик в Казахстане и др., со всей очевидностью вытекает, что наиболее перспективные и крупные месторождения избирательно локализируются в благоприятных породах и масштабных разрывных нарушениях — разломах. Для выявления благоприятных пород было проанализировано размещение мировых запасов золота в различных породах, а также распределение запасов на участках крупнейших месторождений в рудоносных разломах как в наиболее благоприятном типе разрывов, вмещающих максимально мощные и протяженные золоторудные тела.

Результаты. Сопоставление долей запасов показало, что наиболее перспективными для поисков выступают комплексы пород, заключающие максимально высокие доли мировых запасов золота. В статье приводится распределение долей мировых запасов золота для близповерхностных и глубокосформированных месторождений различных типов. Показывается, что главная доля мировых запасов золота в глубокосформированных месторождениях сосредоточена в фанерозойских толщах песчанико-глинистосланцевого состава и в прослоях легкозамещаемых карбонатных и амфиболитовых сланцев, развитых в протерозойских кварцито-филлитовых породах. Запасы близповерхностных золото-серебряных и золото-теллуридных руд избирательно размещаются в молодых мезозойско-кайнозойских вулканитах базальт-андезитового состава, сопровождающихся дайками, субвулканическими штоками и трубками эксплозивных брекчий с приуроченными к ним масштабными золоторудными телами. Таким образом, наиболее перспективными для поисков новых месторождений выступают районы, сложенные названными комплексами пород и пересеченные рудоносными разломами, в зонах которых сосредотачиваются главные наиболее масштабные рудные тела.

Заключение. Проведенное исследование распределения мировых запасов золота в месторождениях различных типов, а также избирательной локализации руд на месторождениях с главными и масштабными рудными телами в зонах рудовмещающих разломов (а соответственно, и содержащими сосредоточение главной доли запасов на конкретном месторождении) позволит с наименьшими затратами времени и средств обнаружить новые месторождения благородного металла и увеличить ресурсную базу Российской Федерации.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / USEFUL MINERALS, METHODS OF THEIR PROSPECTING AND EXPLORATION

Ключевые слова: запасы, ресурсы, месторождения, типы месторождений, золото, разломы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Некрасов Е.М. Принципы выбора рудных районов для поиска золоторудных месторождений. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):77—86. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-77-86>

Статья поступила в редакцию 15.12.2020

Принята к публикации 06.09.2021

Опубликована 21.02.2022

PRINCIPLES GOVERNING THE SELECTION OF ORE REGIONS FOR GOLD DEPOSIT SEARCH

EVGENIY M. NEKRASOV

*The Federal state unitary enterprise "Aerogeologiya"
8, bld. 2, Akademika Volgina str., Moscow 117385, Russia*

ABSTRACT

Background. In 2020, the Auditing Chamber of the Russian Federation, based on a representative report by its expert analysts M. Men' and A. Kaulbars, proposed expanding the search for deposits of a number of metals, including gold. Since the fund of easily discovered gold deposits coming to the surface has been significantly reduced, prospecting of ore regions most promising in terms of gold deposits becomes highly relevant.

Aim. In connection with the above task, it seems expedient to outline territories within the currently known gold provinces, where the prerequisites and signs of gold ores could be detected with minimal expenditures for their subsequent verification by drilling.

Materials and methods. The study involved calculating the shares of the world's gold reserves attributable to each type of distinguished deposits located in various rocks. The extensive experience of prospecting work carried out in recent decades and culminated in the discovery of the Muruntau deposit in Uzbekistan, a world leader in the development of gold deposits, and Russian largest and giant deposits – Natalka, Sukholozhskoe, Nezhdaninsky, Degdekansky, Maisky, Oktyabrsky, Pavlik, Kupol, as well as the Bakyrchik deposit in Kazakhstan and others, clearly shows that the most promising and largest deposits are selectively localized in favourable rocks and large-scale disjunctive dislocations, or faults. To identify favourable rocks, the distribution of the world's gold reserves in various rocks was analysed, as well as the distribution of reserves in the areas of the largest deposits in ore-bearing faults as the most favourable fault types containing the most powerful and extended gold ore bodies.

Results. A comparison of the shares of reserves has shown that the most promising for prospecting are those rock complexes containing the highest proportions of the world's gold reserves. The article presents the distribution of shares of the world's gold reserves for near-surface and deep-formed deposits of various types. The main share of the world's gold reserves in deeply formed deposits is shown to be concentrated in the Phanerozoic strata of sandy-clayey composition and in the interlayers of easily replaceable carbonate and amphibolite shales developed in the Proterozoic quartzite-phyllite rocks. The reserves of near-surface gold-silver and gold-telluride ores are selectively located in the young Mesozoic-Cenozoic volcanic rocks of basalt-andesite composition, accompanied by dikes, subvolcanic stocks and the pipes of explosive breccias with large-scale gold ore bodies confined to them. Thus, the most promising areas for prospecting new deposits are those composed of the mentioned rock complexes and crossed by ore-bearing faults, in the zones of which the main largest ore bodies are concentrated.

Conclusion. The conducted study into the distribution of the world's gold reserves in the deposits of various types, as well as the selective localization of ores in deposits with the main and large-

scale ore bodies in the zones of ore-bearing faults (and, accordingly, containing the concentration of the main share of reserves in a particular deposit), provides a basis for discovering new deposits of the precious metal with minimal expenditures, thus contributing to increasing the resource base of the Russian Federation.

Keywords: reserves, resources, deposits, types of deposits, gold, faults

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: Nekrasov E.M. Principles governing the selection of ore regions for gold deposit search. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):77—86. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-77-86>

Manuscript received 15 December 2020

Accepted 06 September 2021

Published 21 February 2022

В 2020 г. М. Мень и А. Каульбарс — эксперты-аналитики Счетной палаты РФ — составили представительный отчет [8], в котором показали, что поиски и разведка рудных месторождений в стране значительно отстают от темпов роста производства металлов, в том числе и благородных. В связи с изложенным, по мнению Счетной палаты, объемы поисков должны быть существенно увеличены и финансово обеспечены. Учитывая это решение, автор посчитал необходимым учесть все достижения последних десятилетий поисков золоторудных объектов при выборе рудных районов.

В настоящее время большинство проявлений золота, обнаруженных при проведении плановых съемок, либо достаточно надежно изучено и проверено, либо ревизовано и оценено как не представляющее промышленного интереса. При этом фонд сравнительно легко открываемых месторождений, выходящих на поверхность, существенно сократился. К обнаруженным точкам минерализации, видимо, следует относиться как к проявлениям возможного скрытого и слепого оруденения.

В связи с этим поиск и переоценку подобных точек минерализации наиболее рационально проводить в рудных районах, максимально перспективных на образование золоторудных месторождений. При выборе таких районов необходимо использовать весь накопленный опыт многолетних поисков месторождений. Именно поэтому автор решил напомнить о двух подтвержденных главных правилах или фактически принципах (постулатах), подтвердившихся в результате многолетних поисково-разведочных работ. Автор надеется, что подавляющая часть геологов согласится с ними. Перед изложением их необходимо

напомнить, что мировой знаток рудных месторождений В.М. Крейтер [7] считал, что все эндогенные месторождения золота, включая скарновые и пластовые, проявленные в районах Бендиги, Шотландии, а в настоящее время — и в районе Карлин (США), являются трещинными объектами, размещающимися в разрывных нарушениях, оказавшихся доступными для золотосодержащих растворов. Эти разрывы либо наложены на смятые в складки породы, либо использовали пластовые трещины, приоткрывшиеся в процессе оруденения. Последние нередко расположены вблизи секущих рудоконтролирующих разрывов и ответвляются от них.

Итак, первый вывод: эндогенные золоторудные месторождения избирательно используют для локализации наиболее благоприятные комплексы пород.

Этот вывод вытекает из анализа размещения мировых запасов и ресурсов золота в различных породах. Необходимо заметить, что подобный анализ не всегда опирается на опубликованные и достаточно достоверные данные, но, по мнению автора и многих других специалистов, оперирование огромными величинами запасов «сглаживает» эффект частных ошибок. Расчеты, проведенные автором и его помощниками [9, 10], показали, что на конец 2015 г. существенная доля запасов «эндогенного» золота (13,5 тысяч тонн из примерно 90 тысяч тонн мировых) сосредоточена в однородных и мощных толщах песчанико-глинистосланцевых фанерозойских и протерозойских кварцито-филлитовых пород. В частности, в однородных и мощных песчанико-сланцевых толщах развиты такие месторождения, как Мурунтау — лидер золоторудных месторождений по запасам, а также мало уступающие ему отечественные

месторождения Сухой Лог, Наталкинское, Неждановское, Благодатное и др. [4, 10].

Если в указанной рудовмещающей среде заключены пласты и пачки хрупких песчаников, пояса даек, интрузивных и субвулканических штоков, а также пласты пористых и поэтому легко замещаемых карбонатных, карбонатсодержащих и туфогенных пород, а в районах развития близповерхностных руд — оруденелые трубки эксплозивных брекчий, то в них и вдоль их контактов (пример: крупнейшие месторождения Кочбулак, Паскуа-Лама, Багио, Рошиа-Монтанэ и др.) широко проявляются трещинные залежи контактовых и протяженных пластовых, а также линзо- и трубообразных рудных тел. В совокупности они образуют крупные и крупнейшие месторождения (по убыванию суммы запасов): Голдстрайк и Донлин-Крик, отработанный Хомстейк, Карлин и Кортез, Олимпиадинское и Майское месторождения, Бакырчик и др., а также руды рядовых скарных месторождений (Тарор, Синюхинское, Новогоднее Манто и др.). Месторождения в сланцевых и филлитовых толщах заключают не менее 15% мировых запасов и ресурсов золота, а рудные районы с широким проявлением таких пород чрезвычайно перспективны для поиска в них руд золота.

Сопоставимые со сланцевыми запасы золота (не менее 14 тысяч тонн) установлены в рудных районах проявления близповерхностных месторождений, таких как Янакоча, Лихир, Крипл-Крик и Пуэбло-Вьехо, Купол и др. Месторождения этого типа отличаются проявлением оруденения в пределах одного рудоносного участка на двух рудоносных уровнях — на верхнем и с небольшим перерывом — на нижнем. Обычно разведываются только руды верхнего уровня — золото-серебряные и золото-теллуридные, так как они обнаруживаются всего в нескольких сотнях метров (и меньше) от древней палеоповерхности. Это ритмично-полосчатые, друзовые, крустификационные, кокардовые и вкрапленные образования. Руды нижнего уровня, обнаруженные на месторождениях Янакоча и Крипл-Крик, а также в глубокой скважине Карамкена, в капитальной штольне (ныне затопленной) Тасеевского и других месторождений — золото-теллуридные и золото-медно-порфиновые брекчиево-цементирующей, сетчатой и штокверковой, порфировой, вкрапленной, прожилковой или массивной текстур обычно не разведываются, так как они размещаются очень глубоко — в 600—1000 м ниже современной поверхности, и есть риск не вскрыть

их первыми скважинами, а значит существенно «затянуть» разведку и вызвать финансовые затруднения. Кроме того, обнаружение их на значительных глубинах, как это случилось на месторождениях Янакоча, Крипл-Крик и Тасеевском, не всегда дает возможность извлекать и перерабатывать их с достаточной выгодой (что показали предварительные (но, скорее всего, завышенные) подсчеты затрат для этих месторождений; в подсчеты не принимали во внимание уже осуществленные затраты на инфраструктуру объекта, а также поиск и разведку месторождения). Возможно, по этой причине на эксплуатирующихся отечественных месторождениях Купол, Многовершинное, Тасеевское, Двойное и др. не делается даже попыток обнаружить руды нижнего уровня.

Значительные запасы золота (3 или даже около 5 тысяч тонн) разведаны также в джаспероидных месторождениях тонкого золота, развитых в терригенно-карбонатных толщах раннего палеозоя. В частности, такие месторождения давно эксплуатируются на Американской платформе, в пределах ее южного Калифорнийско-Колорадского сегмента, в штате Невада [20, с. 104—105]. Отечественное однотипное месторождение Ольча в Омолонской золотоносной провинции (Северо-Западная Камчатка) разведано недостаточно [10] и не оценено. В последнее десятилетие геологи вернулись также к поискам новых и ревизии заброшенных месторождений, считавшихся выработанными, размещающихся в протяженных поясах кварц-хлорит-серицитовых и амфиболовых сланцев позднего архея. Считается, что в этих структурных постройках заключено более 6 тысяч тонн запасов и ресурсов золота [11]. В России поиск и разведка архейского золота в значительных масштабах ведется только в золотоносных районах Кольского полуострова. Здесь в приграничном районе Финляндии — Киттила (всего в 100—120 км западнее границы с Россией) много лет разведывается крупнейшее месторождение с ресурсами не менее 400 т золота. Проявленные в его пределах богатые золоторудные зоны оказались приуроченными к мощным разрывным нарушениям, унаследовавшим осевые плоскости сжатых субмеридианальных антиклиналей. Аналогичная обстановка может быть обнаружена и на примыкающей обширной российской территории.

Таким образом, в комплексах максимально благоприятных пород, заключающих крупнейшие запасы и ресурсы золота, обнаружение

новых месторождений самого различного масштаба намного более перспективно в сравнении с другими рудными районами иного строения. Конечно, известны случаи обнаружения золотых руд в ином комплексе пород, а песчанико-глинисто-сланцевые образования фанерозоя оказывались совершенно безрудными и неперспективными или очень слабо рудоносными. Но если собрать воедино ресурсы и запасы всех месторождений золота от самых мелких до крупных, крупнейших и месторождений-гигантов, залегающих в однородной песчанико-глинисто-сланцевой фанерозойской среде или в кварц-филлитовых образованиях позднего протерозоя, то они перевесят все частные примеры противоположного значения. Максимально перспективными на проявление руд золота и наиболее часто встречающимися окажутся руды, локализующиеся в однородной фанерозойской песчанико-глинисто-сланцевой среде и руды в кварцито-филлитовых образованиях протерозоя, особенно когда в них заключены прослои карбонатсодержащих пород (известняков и доломитов), а также и сланцев (например, сидероплезитовых или куммингтонитовых). Запасы и ресурсы буквально одного-двух месторождений, выявленных в названных продуктивных средах, превысят запасы всех проявлений в иной геологической обстановке опосредованного района.

Второй вывод, с которым согласятся почти все геологи-поисковики и особенно разведчики, также следует из результатов прошлых многолетних полевых работ. Он может быть сформулирован следующим образом: все крупные и крупнейшие месторождения золота и, особенно месторождения-гиганты, сформировались только в пределах протяженных и мощных зон плавно изгибающихся рудоносных разломов (любого возраста, вплоть до кайнозойского). При этом оруденению, как правило, подвергаются плавно изгибающиеся интервалы разломов со «сглаженными» тектоническими швами, в пределах которых отсутствуют геологические элементы, которые могли бы «тормозить» движение тектонических блоков вдоль главных пограничных плоскостей разломов (см. рис. 1). Руды золота приурочиваются к зонам дробления разломов или брекчиям метасоматитов [14], как правило, сложного внутреннего строения. Обычно они развиваются на рудоносных участках, где колленчатые интервалы разломов постепенно сменяются сглаженными протяженными и мелкоизогнутыми интервалами нависающих тектонических

(обычно глинистых) швов главного пограничного висячего (иногда и лежащего) бока разломов. На этих участках отсутствуют поперечные дислокации и в первую очередь мелкие поперечные разрывы и апофизы даек и штоков, которые могли бы «тормозить» движение тектонических блоков вдоль разрывов в период оруденения (см. рис. 1).

Напомним [10, 14], что такие наиболее благоприятные (и нередко с «уникально-богатыми» рудами) мелко и плавноизогнутые участки мощных нарушений отличаются специфическим *внутренним строением*. В их пределах между пограничными плоскостями висячего и лежащего бока развилась: 1) продольные оруденелые зоны дробления с мощными и выдержанными рудными телами нередко богатых вкрапленно- жильнопрожилковых и жильных руд, непрерывно протягивающиеся на многие сотни метров — 2000 м и более в плане (и свыше 1000—1500 м по падению, например на Калгурли в Австралии, Хомстейке в США и Бакырчике (рис. 2) в Казахстане), под нависающими и, очевидно, экранирующими тектоническими плоскостями висячего бока разломов; и 2) две системы соединительных разрывов, связывающих пограничные плоскости висячего и лежащего боков разлома: одна — сравнительно протяженных *субпродольных* (названных автором «длинными») оруденелых разрывов, другая — «коротких», почти поперечных трещин (смещителей «длинных», см. рис. 1). Обычно названные разрывы также залечиваются богатыми рудами, но состоящими сравнительно маломощные, чаще короткие (первые метры в плане и разрезе) прожилковые и жильно-линзовидные золоторудные кварцевые и карбонатно-кварцевые образования массивного облика с пучками «своих» оруденелых мелких и непротяженных оперяющих отрывов и сколов-апофиз, в совокупности образующих *золоторудные гнезда трещинного типа*. В результате геолог-разведчик обычно обнаруживает золоторудные гнезда богатых руд, представленные сравнительно мощными жильными, либо прожилковыми или обильно-вкрапленными образованиями в однородной рудовмещающей среде, либо контактными телами на границе различных пород, но всегда «скрывающими» концентрацию мелкого и тонкого золота — золото-содержащих или собственных минералов золота. Все упомянутые оруденелые разрывы, развившиеся в зоне дробления, как и стержневые разрывы (по Н.В. Петровской [15]), вмещающие основную массу гнезд на конкретном месторождении,

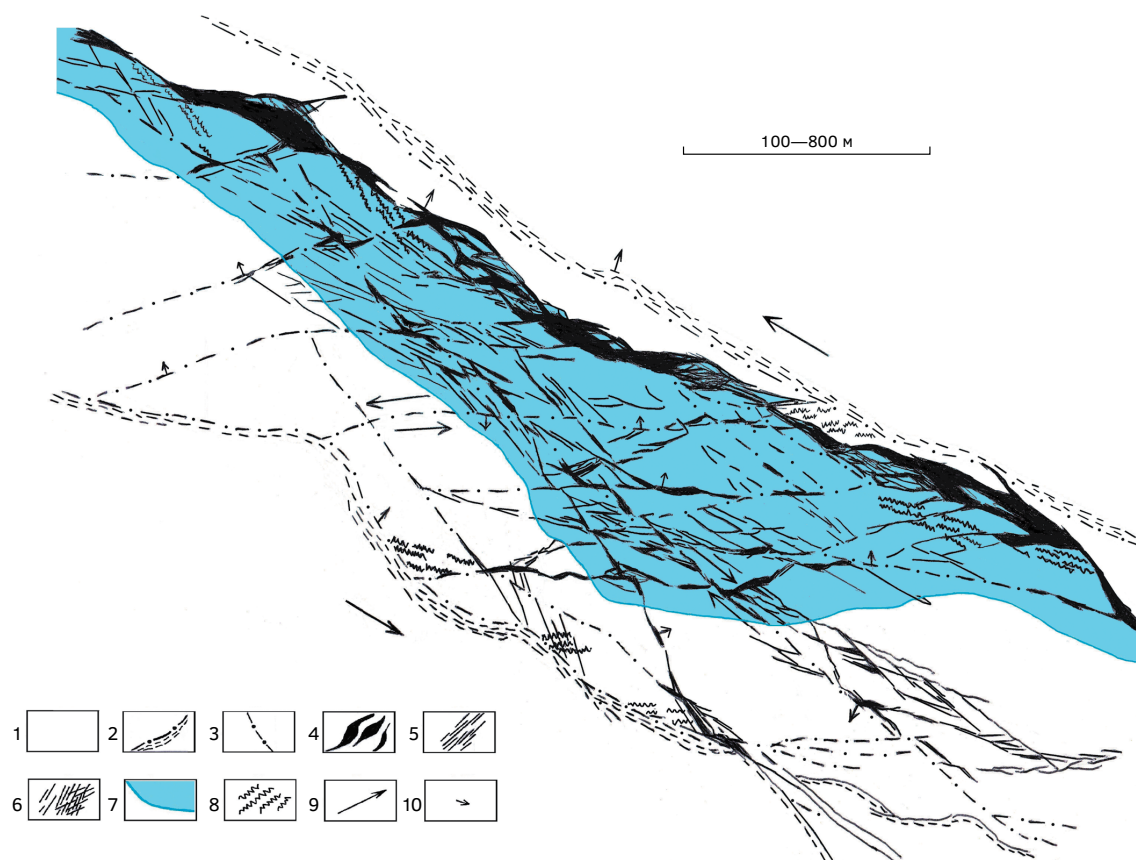


Рис. 1. Фрагмент обобщенной схемы внутреннего строения мощной оруденелой зоны дробления рудоносного разлома, заключающего в однородной среде крупнейшие запасы золота (на примерах месторождений Мурунтау, Наталкинское, Нежданинское, Ашанти, Калгурли, Комшток и др.). План. Приведен условный масштаб: от крупных до крупнейших объектов. 1 — рудовмещающие песчанико-глинистосланцевые породы; 2 — главные (пограничные) тектонические швы разлома с гидротермально-измененной глиной трения; 3 — разрывные нарушения в рудоносной зоне дробления разлома; 4 — массивные золоторудные жилы, линзы и зоны сульфидно-кварцевого, сульфидно-теллуридно-кварцевого или карбонатно-кварцевого состава; 5 — прожилковые и тонкопрожилковые зоны аналогичного состава, преимущественно залечивающие боковые оперяющие сколы; 6 — непротяженные участки и гнезда прожилковых, сетчатых и штокверковых сравнительно богатых руд; 7 — протяженная продольная и мощная зона вкрапленных сравнительно богатых руд, представленных обильной вкрапленностью сульфидов (в том числе золотосодержащих, а также мелким и тонким золотом) или сульфидами, сульфосолями и теллуридами (в том числе золота и серебра), протягивающаяся под экранирующей тектонической поверхностью глинистого шва висячего бока разлома; 8 — золоторудные прожилки, залечивающие оперяющие трещины отрыва; 9 — возможные направления относительных перемещений пород по разрывам в зоне дробления рудоносного разлома; 10 — направления падения пограничных тектонических глинистых швов рудоносного разлома, прочих разрывов в его зоне, жил, жильных и прожилковых зон

Fig. 1. A fragment of a generalized scheme of the internal structure of a powerful mineralized zone of crushing of an ore-bearing fault containing the largest gold reserves in a homogeneous medium (using the examples of Muruntau, Natalkinskoye, Nezhdaninskoye, Ashanti, Kalgoorlie, Komshtok, and other deposits). Planar view. Relative scale: covering objects from large to the largest. 1 — ore-bearing sandstone-clay-shale rocks; 2 — main (boundary) tectonic fault seams with hydrothermally altered friction clay; 3 — discontinuous faults in the ore-bearing fracture zone of the fault; 4 — massive gold veins, lenses, and zones of sulfide-quartz, sulfide-telluride-quartz, or carbonate-quartz composition; 5 — veined and thin-veined zones of similar composition, mainly filling lateral feathering chips; 6 — short length areas and nests of veined, reticulated, and stockwork relatively rich ores; 7 — longitudinal long and powerful area interspersed with relatively rich ores, represented by abundant disseminated sulphides (including gold-bearing, as well as small and fine gold) or by sulfides, sulfosalts and tellurides (including gold and silver), which extends under the shielding tectonic surface of the clay seam of the hanging side of the fault; 8 — gold-ore veins filling the feathering cracks of the separation; 9 — possible directions of relative movement of rocks along breaks in the crushing zone of an ore-bearing fault; 10 — directions of falling of boundary tectonic clay seams of an ore-bearing fault, other breaks in its zone, veins, vein and veinous zones

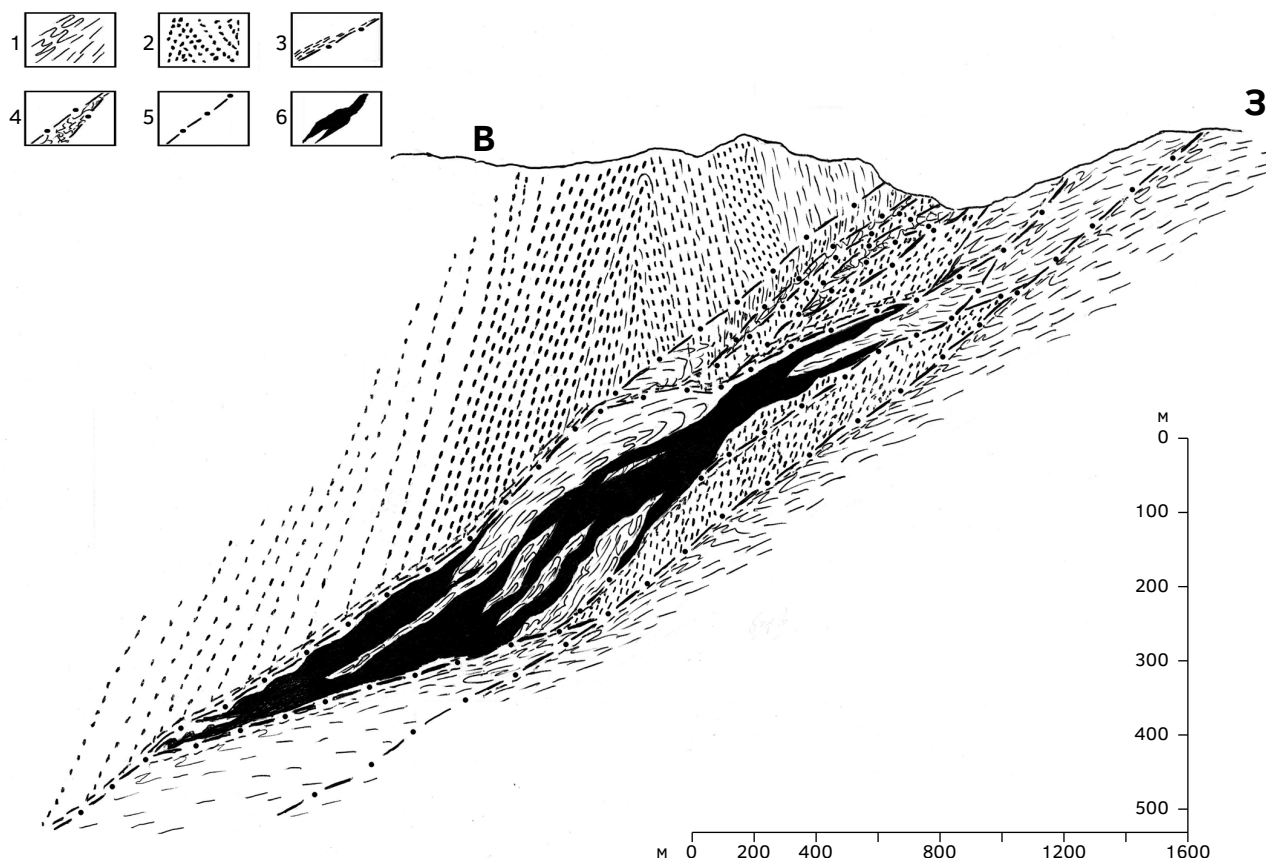


Рис. 2. Месторождение Бакырчик. Поперечный разрез. Внутреннее строение зоны дробления мощного рудоносного надвига (разлома). По В.М. Яновскому. Рудовмещающие породы каменноугольного возраста: 1 — углеродсодержащие алевритовые сланцевые породы различного состава, тонко переслаивающиеся с песчаниками; 2 — песчаники; 3 — главные сглаженные и выдержанные мощные пограничные швы (висячего и лежащего боков разлома); 4 — участки дробления и расланцевания; 5 — прочие разрывы; 6 — выдержанные протяженные и мощные золоторудные тела вкрапленных и подчиненных жильно-прожилковых руд

Fig. 2. Bakyrchik gold deposit. Cross-section. Internal structure of the crushing zone of a powerful ore-bearing thrust fault. By V.M. Yanovsky. Ore-bearing rocks of Carboniferous age: 1 — carbon-containing siltstone shale rocks of various compositions, thinly interbedded with sandstones; 2 — sandstones; 3 — main smoothed and sustained strong boundary seams (of the hanging and lying sides of the fault); 4 — crushing and spreading sections; 5 — other faults; 6 — sustained extended and powerful gold-ore bodies of interspersed and subordinate vein and small vein ores

при оконтуривании мощных и сверхмощных (более 100 м) рудных тел по низким бортовым содержаниям золота (от 0,4 до 1,0 г/т) повышают его концентрацию в золоторудных столбах в 2—4 раза и более сравнительно со средними содержаниями золота, а в пределах *рядовых рудоносных участков* разломов, по крайней мере до промышленных значений его (например, на Приморском месторождении [4]).

Но главная особенность оруденелых участков разломов — это широкое развитие *межпрожилковой* и *межжильной* рудной вкрапленности, то обильной на стыках разноориентированных нарушений, то более редкой при ее проявлении

вдоль зон разрывов (см. рис. 1). Таким образом, оруденелые участки протяженных разломов оказываются обычно представленными метасоматитами и их брекчией (нередко кварцевого или альбит-карбонатно-кварцевого состава) с рудными прожилками и короткими жилами. Они сопровождаются то обильной, то сравнительно редкой вкрапленностью сульфидов, сульфосолей и теллуридов (в близповерхностных месторождениях), местами со скоплениями мелкого или тонкого (от десятых до сотых и тысячных долей мм) золота. Железо- и медьсодержащие сульфиды и сульфосоли, особенно ранние пирит, арсенопирит, халькопирит, борнит, сульфосоли меди и железистый

сфалерит, нередко содержат золото, которое находится в микропрожилках кварца, иногда рудных минералов, цементирующих микрообломки названных минералов. В результате участки рудоносных разломов с описанным внутренним строением (т.е. с благоприятным строением их «внутриразломных зон») выступают по представлению известных геологов [1, 2, 4—6, 10, 13, 15, 16, 20] и тектонофизиков [3, 17, 19], структурными ловушками для поступающих золотосодержащих растворов и подвергаются масштабному оруденению (рис. 1 и 2, см. также [12]). Очевидно, после обнаружения в пределах района поиска разлома с признаками минерализации следует изучить и провести картирование его зоны, ответвляющихся от него разрывов и примыкающей к ним территории. Обнаружение участков разлома с интервалами плавного мелкоизогнутого облика должно рассматриваться в качестве предпосылки возможной локализации руд [5, 18] в пределах опрашиваемой территории.

Краткое заключение

Из приведенных материалов следует:

При выборе перспективных районов для поисков золотых глубоко сформированных руд максимально благоприятными являются территории с преобладанием однородных мощных песчанико-глинистосланцевых толщ фанерозоя и кварцито-филлитовых толщ позднепротерозойских пород, заключающих прослои известняков и доломитов, а также сидероплезитовых и куммингтоновых сланцев.

При обнаружении в названных комплексах пород разломов: 1) с отделяющимися мощными боковыми ветвями и 2) с узлами пересечения разломов иного направления или других поперечных дислокаций на подобных участках необходимо проведение детальных поисков

с применением всех методик опрашивания. При обнаружении признаков минерализации и, тем более, «пятен» карбонат-кварцевых метасоматитов и их брекчий необходимо более детальное изучение поисковой площади, сопровождающееся бурением скважин для заверки обнаруженных точек минерализации.

Аналогично изложенной последовательности поисковых работ в районах предполагаемого развития близповерхностных месторождений наиболее перспективно проведение поисков на территориях развития молодых мезозойско-кайнозойских андезитовых и базальт-андезитовых вулканитов с сопровождающими их «местными» (локальными) узкими поясами даек и малых магматических (и субвулканических) штоков сиенитовых, диорит-сиенитовых, основных и риолитовых пород, а также трубок взрывных брекчий.

Обнаружение указанных геологических элементов с признаками минерализации в областях возможного развития как глубинного, так и близповерхностного оруденения должно рассматриваться как предпосылка выявления золотых руд *на глубине*. В этом случае следует провести детальное изучение и прослеживание возможно минерализованных зон дробления в разломах и на прилегающей к ним территории, в пределах которых, наряду с рудоконтролирующими, могут проявляться и рудовмещающие разрывы и руды.

При обнаружении на поверхности окисленных рудных минералов, а в отобранных пробах пробирного анализа — весовых значений золота подобный участок становится кандидатом для выявления руд золота промышленного масштаба. В этом случае необходимо провести как поисковые работы на поверхности, так и бурение на глубину не менее 200—400 м от современной поверхности, не забывая о возможности обнаружения руд на нижнем рудоносном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структуры и геологической перспективной оценки месторождений золота. М.: Труды ЦНИГРИ, 1960. Вып. 35. 417 с.
2. Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Месторождения золота // Главнейшие типы рудных месторождений. М.: Недра, 1982. С. 274—302.
3. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
4. Константинов М.М. Золоторудные месторождения России. М.: Акварель, 2010. 349 с.
5. Кинг Ф.Б. Вопросы тектоники Северной Америки. М.: изд. МГУ, 1969. 251 с.
6. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 355 с.
7. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 332 с.
8. Мень М., Каульбарс А. Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации // Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации. 2020. № 5 (270). 250 с.

9. Некрасов Е.М., Дудкин Н.В. Запасы и добыча золота в начале XXI века из месторождений различных геолого-промышленных типов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 6. С. 45—56.
10. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин В.Н. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: Астрей-центр, 2015. 191 с.
11. Некрасов Е.М., Косовец Т.Н. Возможный рост ресурсов золота на трех отечественных месторождениях — Бамском, Многовершинным, Ольча // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2017. № 6. С. 73—78.
12. Некрасов Е.М. Поиски и разведка золоторудных месторождений на основе структурных предпосылок // Руды и металлы. 2019. № 1. С. 26—36.
13. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В., Косовец Т.Н. Систематика, структура и запасы золоторудных месторождений. М.: Астрей-центр, 2019. 241 с.
14. Некрасов Е.М. Локализация руд золота в разломах различных типов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 6. С. 33—43.
15. Петровская Н.В., Бернштейн П.С., Мирчинк С.Г., Андреева М.Г. Геологическое строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балеysкого рудного поля (Восточное Забайкалье) // Труды ЦНИГРИ. 1961. Вып. 45. Ч. 1. 93 с. Ч. 2. 128 с.
16. Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. и др. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск: изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005. 291 с.
17. Смирнов В.И. Гидротермальные месторождения // Геология месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. С. 234—345.
18. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. Т. 1. 295 с.
19. Шерман С.И., Семинский К.Ж. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи. Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 1. С. 4—23.
20. Хиллс Ш.А. Элементы структурной геологии. М.: Иностранная литература, 1967. 478 с.

REFERENCES

1. Borodayevskiy N.I. Materials on Methods of Structural Study and Perspective Geological Evaluation of Ore Deposits. Moscow: Transactions of CNFGSS, 1960. Iss. 35. 417 p.
2. Vol'fson F.I., Druzhinin A.V. Gold Deposits // Major types of gold deposits. Moscow: Nedra, 1982. P. 274—302.
3. Gzovskiy M.V. Tectonophysics Foundations. Moscow: Nauka, 1975. 535 p.
4. Konstantinov M.M. Gold Deposits of Russia. Moscow: Aquarel Ltd, 2010. 349 p.
5. King F.B. On tectonics of North America. Moscow: MSU publ., 1969, 251 p.
6. Konstantinov M.M. Gold provinces of the World. Moscow: Scientist World, 2006. 355 p.
7. Krejter V.M. Search and exploration of mineral deposits. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1960. 332 p.
8. Men' M., Kaulbars A. Analysis of reproduction of the mineral resource base of the Russian Federation // Bulletin of the Audit Chamber of the Russian Federation. 2020. No. 5 (270). 250 p.
9. Nekrasov E.M., Dudkin N.V. Gold reserves and production at the beginning of the XXI century from deposits of various geological and industrial types // Izvestiya vuzov. Geology and exploration. 2013. No. 6. P. 45—56.
10. Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A., Dudkin N.V. Specific Geology and Structure of the Largest Ore Deposits of Endogenic Class. Moscow: Astrea-Center Ltd, 2015. 191 p.
11. Nekrasov E.M., Kosovets T.N. Possible growth of gold resources at three domestic deposits — Bamskoye, Mnogovershinnoye, Olcha // Izvestia vuzov. Geology and exploration. 2017. No. 6. P. 73—78.
12. Nekrasov E.M. Prospecting and exploration of gold deposits based on structural assumptions. Moscow: Ores and metals, 2019. No. 1. P. 26—36.
13. Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A., Dudkin N.V., Kosovets T.N. Systematics, structure and reserves of gold deposits. Moscow: Astrea-Center Ltd, 2019. 241 p.
14. Nekrasov E.M. Localization of gold ores in various types of faults // Izvestiya vuzov. Geology and exploration. 2019. No. 6. P. 33—43.
15. Petrovskaya N.V., Bernshtein P.S., Mirchink S.G., Andreeva M.G. Geological structure, mineralogy, and genesis specifics of gold deposits in the Baleysskoye ore field (Eastern Transbaikalia) // Transactions of CNFGSS. 1961. Iss. 45. Vol. 1. 93 p. Vol. 2. 128 p.
16. Seminskiy K.Z., Gladkov A.S., Lunina O.V. et al Internal structure of continental fault zones. Applied aspect. Novosibirsk, SB RAS Publ., "Geo" branch, 2005. 291 p.
17. Smirnov V.I. Hydrothermal deposits / Geology of mineral deposits. Moscow: Nedra, 1976. P. 234—345.
18. Sher S.D. Metallogeny of gold (North America, Australia and Oceania). Moscow: Nedra, 1972. Vol. 1. 295 p.
19. Sherman S.I., Seminskiy K.Z. Tectonophysical Studies in the Institute of the Earth's Crust SB RAS: Major Achievements and Actual Problems. Geodynamics and Tectonophysics. 2010. V.1. No 1. P. 4—23.
20. Hills S.A. Elements of structural Geology. Moscow: "Foreign Literature" publ., 1967. 478 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Nekrasov E.M. — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Некрасов Евгений Михайлович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий специалист ФГУНПП «Аэрогеология».

8, стр. 2, ул. Академика Волгина, г. Москва 117485, Россия

Тел.: 8 (495) 610-73-53, 8 (915) 231-12-86

E-mail: nekrasov@ibdc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-5776>

Evgeniy M. Nekrasov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., leading specialist of the Federal state unitary enterprise “Aerogeologiya”.

8, bld. 2, Akademika Volgina str., Moscow 117385, Russia

Tel.: 8 (495) 610-73-53, 8 (915) 231-12-86

E-mail: nekrasov@ibdc.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-5776>



МЕХАНИЗМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

О.С. КОРОБОВА

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Обобщение имеющихся сведений об объемах накопленных на территории России отходов недропользования и их использовании в настоящее время крайне актуально. Соответственно, необходимо проанализировать существующий уровень использования накопленных отходов недропользования, а также действующих механизмов стимулирования вовлечения данных отходов в хозяйственный оборот.

Цель. Обоснование внедрения адекватных и работоспособных механизмов стимулирования деятельности по реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования.

Материалы и методы. Данная публикация выполнена на основе системного анализа действующей нормативно-правовой базы в области обращения с отходами недропользования, научных исследований по заявленной тематике, а также данных государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации».

Результаты. Установлено, что уровень использования накопленных отходов недропользования, несмотря на их высокий ресурсный потенциал, в два раза ниже, чем в экономически развитых странах мира. Приведен анализ причин низкого уровня вовлечения различных видов отходов недропользования в хозяйственный оборот. Отмечается, что основными причинами сложившейся ситуации являются наличие административных барьеров при получении права пользования отходами недропользования, отсутствие налоговых льгот и преференций, а также механизмов получения льготных кредитов для недропользователей, реализующих проекты по переработке таких отходов. Указывается на необходимость совершенствования действующего порядка получения права пользования объектами отходов недропользования путем введения заявительного порядка получения таких прав. Выполнен анализ действующих механизмов налогового стимулирования, гарантийной, лизинговой и финансовой поддержки компаний, реализующих проекты переработки отходов недропользования, отмечена недостаточность этих механизмов и необходимость предоставления дополнительных налоговых льгот и преференций таким предпринимателям, в том числе введения дифференцированных ставок НДС. Проведен анализ возможности использования механизмов «зеленого» финансирования для стимулирования реализации проектов по переработке техногенных месторождений, привлечения «длинных» и «дешевых» кредитных ресурсов на российском и международном рынке заемного финансирования.

Заключение. Предложены механизмы стимулирования реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования, предусматривающие введение упрощенного (заявительного) порядка предоставления малому и среднему бизнесу права пользования участками недр, представленными техногенными объектами, без проведения торгов и разовых платежей, дифференцированного подхода к взиманию НДС при разработке техногенных месторождений, а также использование механизмов «зеленого» финансирования для привлечения льготных кредитных ресурсов на реализацию таких проектов.

Ключевые слова: механизмы стимулирования, отходы недропользования, права пользования участками недр, налоговые льготы, кредитные ресурсы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Коробова О.С. Механизмы стимулирования реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):87—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-87-94>

Статья поступила в редакцию 17.02.2021

Принята к публикации 12.11.2021

Опубликована 21.02.2022

MECHANISMS STIMULATING MINERAL RESOURCE WASTE MANAGEMENT

OL'GA S. KOROBova

*Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia*

ABSTRACT

Background. The generalization of available information on the volumes of mineral resource waste accumulated in Russia and its use presents a relevant research task. In this regard, an analysis of the current level of use of accumulated mineral resource waste, as well as existing approaches to stimulating the involvement of that waste in economic circulation, is required.

Aim. To substantiate the introduction of adequate and working mechanisms that would stimulate activities for the implementation of projects in the field of mineral resource waste management.

Materials and methods. The present study is based on a systematic analysis of the current Russian regulatory framework in the field of the management of mineral resource waste, relevant scientific publications, as well as the data from the State reports "On the state and protection of the environment of the Russian Federation".

Results. The level of use of the accumulated mineral resource waste, despite its high resource potential, is two times lower than that in economically developed countries. An analysis of the reasons behind the low level of involvement of various types of mineral resource waste in economic circulation is provided. These reasons include the presence of administrative barriers in obtaining the right to use mineral resource waste and the lack of tax benefits and preferences, as well as the absence of mechanisms for obtaining preferential loans for mineral resource users implementing projects for the processing of such waste. The need to improve the current procedure for obtaining the right to use mineral resource waste objects by introducing a relative declarative is indicated. An analysis of the current mechanisms of tax incentives, guarantee, leasing and financial support for companies implementing projects for processing mineral resource waste is carried out. The insufficiency of these mechanisms and the need to provide additional tax benefits and preferences to such entrepreneurs is pointed out, including the introduction of differentiated MET (mineral extraction tax) rates. In addition, the possibility of using "green" financing mechanisms to stimulate the implementation of projects for the processing of man-made deposits, attracting "long" and "cheap" credit resources in the Russian and international debt financing markets, is analysed.

Conclusion. Stimulating mechanisms for the implementation of projects in the field of mineral resource waste management are proposed, providing for the introduction of a simplified (declarative) procedure for granting small and medium-sized businesses the right to use mineral resource plots represented by man-made objects without bidding and one-time payments, as well as a differentiated approach to the collection of mineral extraction tax in the development of man-made deposits, and the use of "green" financing approaches to attracting concessional credit resources for the implementation of such projects.

Keywords: incentive mechanisms, subsoil use waste, rights to use subsoil plots, tax incentives, credit resources

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

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

For citation: Korobova O.S. Mechanisms for stimulating the implementation of projects in the sphere subsurgery waste handling. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):87—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-87-94>

Manuscript received 17 February 2021

Accepted 12 November 2021

Published 21 February 2022

В результате деятельности предприятий по добыче и первичной переработке полезных ископаемых в России ежегодно образуется значительное количество отходов недропользования (отвалов вскрышных и вмещающих горных пород, шламов, хвостов обогащения полезных ископаемых и иных отходов), которые составляют порядка 95% от общего объема образуемых отходов производства и потребления¹.

За последние 10 лет этот объем увеличился более чем в 2,2 раза (с 3066 до 6851 млн т), при этом уровень использования таких отходов составляет 52%, что практически в 2 раза ниже, чем в экономически развитых странах мира (в основном отходы недропользования используются для закладки в выработанное пространство шахт, карьеров или при рекультивации земель).

Большая часть накопленных отходов содержит ценные минеральные компоненты, представляющие с учетом истощающихся запасов полезных ископаемых потенциальный экономический интерес. Кроме того, техногенные отходы оказывают значительное отрицательное воздействие на окружающую природную среду, в связи с чем минимизация их объемов позволит получить не только экономическую выгоду, но и сократить экологический ущерб в районах их размещения.

Однако проведенный анализ показал, что геологическая изученность большинства отходов недропользования недостаточна для принятия недропользователями инвестиционных решений, отсутствует единый государственный кадастр отходов недропользования, а действующая нормативно-правовая база в области обращения с отходами недропользования противоречива, не выделяет такие отходы в отдельную категорию объектов правового регулирования и не стимулирует вовлечение отходов недропользования в промышленную переработку [2, 5—9].

В целях снижения объемов накопления отходов недропользования и создания условий для их

активного вовлечения в переработку необходима выработка и реализация единой государственной политики в сфере обращения с отходами недропользования, направленной на создание экономических механизмов стимулирования недропользователей к реализации проектов по переработке таких отходов.

Результаты и обсуждение

Примеры переработки и вторичного использования отходов недропользования с извлечением из них полезных компонентов и производством строительных материалов или другой товарной продукции носят единичный характер, несмотря на огромные объемы таких отходов, накопленных в результате прошлой хозяйственной деятельности горнодобывающих компаний (более 100 млрд т) и их высокий ресурсный потенциал, сопоставимый в отдельных случаях по запасам и содержанию полезных компонентов с природными месторождениями.

Накопление больших объемов отходов недропользования приводит к изъятию из хозяйственного оборота ценных земель (порядка 3,0—3,7 тыс. кв. км), ухудшению экологической обстановки в регионах их размещения, дополнительным затратам недропользователей на их безопасное хранение.

Одна из основных причин низкого уровня промышленного использования накопленных отходов недропользования заключается в недостаточной привлекательности для потенциальных инвесторов действующей системы лицензирования пользования недрами, а также экономического стимулирования инвестиционных проектов, направленных на утилизацию и рекультивацию таких отходов.

Особенностью инвестиционных проектов по извлечению полезных компонентов из техногенного минерального сырья является их относительно низкая рентабельность, связанная с пониженным содержанием полезных компонентов в отходах недропользования по сравнению с их содержанием в природных месторождениях, недостаточная геологическая изученность техногенных объектов, а также потребность в привлечении «дешевых»

¹ По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» количество отходов недропользования составило 6,85 млрд т.

и «длинных» кредитных ресурсов для финансирования проектов.

Для экономического стимулирования вовлечения отходов недропользования в хозяйственный оборот представляется целесообразным:

- ввести особый порядок предоставления права пользования участками недр, представленными отходами недропользования;
- ввести систему особых налоговых льгот и преференций для недропользователей, реализующих проекты по добыче полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования;
- создать специализированные механизмы получения доступа недропользователей к относительно «дешевым» и «длинным» кредитным ресурсам.

В части совершенствования порядка предоставления права пользования техногенными объектами

В соответствии с законодательством о недрах порядок предоставления в пользование техногенных объектов (отходов недропользования) ничем не отличается от порядка предоставления в пользование природного месторождения.

Действующий порядок лицензирования пользования недрами не предусматривает особенностей предоставления права пользования техногенными объектами (отходами недропользования) и техногенными месторождениями.

Переработка отходов недропользования может осуществляться либо по лицензии на добычу полезных ископаемых, либо по самостоятельной лицензии², предоставляемой по результатам проведения конкурса или аукциона.

В случае использования лицензии на добычу полезных ископаемых для переработки отходов недропользования владельцы лицензии, как правило, самостоятельно не занимаются переработкой отходов, а заключают договоры с малыми и средними хозяйствующими субъектами, имеющими технологию, достаточные мощности и опыт извлечения полезных компонентов из техногенного минерального сырья.

В случае получения самостоятельной лицензии на переработку отходов недропользователи должны уплачивать разовые платежи за пользование недрами, а также сборы за участие в конкурсе или аукционе.

² Положение о порядке лицензирования пользования недрами, утвержденное постановлением Верховного Совета Российской Федерации от 15 июля 1992 г. № 3314-1.

При этом расчет размера разового платежа основывается на неточной и часто не актуальной информации о содержании полезных компонентов в техногенном объекте, которая впоследствии не подтверждается результатами геологического изучения и геологоразведки [4].

Затраты недропользователей на геологическое изучение отходов недропользования, а также на НИОКР по разработке технологии извлечения полезных ископаемых и полезных компонентов из техногенного минерального сырья, имеют значительный удельный вес в структуре инвестиционных затрат и без оказания соответствующей государственной поддержки делают разработку техногенных месторождений экономически нецелесообразной [4].

В этой связи введение заявительного порядка предоставления права пользования техногенными объектами для их геологического изучения, оценки запасов содержащихся в них полезных ископаемых (полезных компонентов) и последующего вовлечения в промышленную переработку позволило бы субъектам малого и среднего предпринимательства получить упрощенный порядок доступа к объектам отходов недропользования без проведения торгов и оплаты разовых платежей за пользование недрами.

В части обеспечения налоговых льгот и преференций

Система налогообложения недропользователей, реализующих проекты по добыче полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, должна стимулировать комплексное использование минеральных ресурсов и наиболее полное извлечение полезных компонентов из техногенного сырья.

В этой связи определенный интерес представляет использование механизма льготного налогообложения участников региональных инвестиционных проектов (РИП)³, объемы капитальных вложений которых превышают 50 млн рублей в срок до 3 лет или 500 млн рублей в срок до 5 лет.

При этом к участникам РИП предъявляются определенные требования — это должна быть российская организация, зарегистрированная на территории субъекта РФ, в котором реализуется инвестиционный проект, не применяющая специальных налоговых режимов, не являющаяся некоммерческой организацией, участником консолидированной группы налогоплательщиков, резидентом ОЭЗ или ТОР.

³ Глава 3.3 Налогового кодекса Российской Федерации.

Для участников РИП применяются льготы по налогу на прибыль (0% в части, подлежащей зачислению в федеральный бюджет, — по ставке 3%, от 0 до 10% в части, уплачиваемой в региональный бюджет, — по ставке 17%), а также льготный режим уплаты НДС (с применением понижающих коэффициентов) на период реализации проекта.

Программы гарантийной, финансовой и лизинговой поддержки субъектов МСП, реализуемые Корпорацией МСП, предусматривают широкую линейку продуктов, форм и видов поддержки высокотехнологичных проектов в приоритетных отраслях экономики, включая предоставление гарантий Корпорации, стимулирование льготного кредитования по ставке 9,1—10,1%, льготный лизинг оборудования (по ставкам 6% — для российского оборудования, 8% — для иностранного оборудования).

Однако эти программы не распространяются на организации МСП, осуществляющие добычу и реализацию полезных ископаемых, в том числе из отходов недропользования.

В соответствии с Налоговым кодексом РФ при разработке техногенных месторождений взимается НДС в том же объеме, как и при разработке высокоэффективных природных месторождений, что не учитывает более низкое содержание полезных компонентов в отходах недропользования и делает вовлечение их в переработку экономически нецелесообразным.

Ряд экспертов предлагает ввести дифференцированный подход к определению НДС при разработке техногенных месторождений с учетом различных факторов (горно-геологических, технологических, экономических и др.) [10—12].

Наиболее детально этот вопрос исследован в работе [1], в которой предложен дифференцированный подход к определению размера НДС с учетом основных рентаобразующих факторов — содержание полезного компонента в минеральном сырье и величина промышленного извлечения полезного компонента в готовую продукцию.

Однако реализация такого подхода осложняется необходимостью иметь кадастр всех техногенных месторождений, включающий горно-геологические условия, содержание полезных компонентов в минеральном сырье, величины извлечения полезных компонентов в готовую продукцию, цены, затраты, объемы переработки и т.п. [1].

Применение дифференцированного подхода к определению и взиманию НДС при разработке месторождений техногенного сырья поз-

волит повысить рентабельность таких проектов и сделать их экономически привлекательными для малого и среднего бизнеса.

В части механизмов льготного кредитования проектов переработки отходов недропользования

Одним из перспективных финансовых механизмов привлечения инвестиций в проекты по утилизации и рекультивации отходов недропользования и освоению техногенных месторождений могут стать механизмы «зеленого» финансирования, получившие в последние годы широкое распространение на международном финансовом рынке.

В России пока не развиты финансовые инструменты, обеспечивающие доступ недропользователей к «дешевым» и «длинным» кредитам, необходимым для реализации проектов по утилизации и рекультивации отходов недропользования, которые, как правило, низкорентабельны, имеют длительные сроки реализации и требуют значительных финансовых затрат.

В отличие от мировой экономики в России только формируется инфраструктура «зеленого» финансирования и отечественная методологическая база для анализа, оценки и сертификации таких проектов.

Целью внедрения механизмов «зеленого» финансирования является создание экосистемы, объединяющей государственное и частное ответственное инвестирование в проекты, направленные на решение экологических и социальных проблем.

Для инвестирования «зеленых» проектов могут использоваться различные финансовые инструменты, в том числе «зеленые» облигации, кредиты, инвестиционные фонды, страховые и лизинговые продукты и др.

Основным условием применения таких финансовых инструментов является соответствие проекта единым требованиям по экологичности и энергоэффективности (учет ESG-факторов), правилам и стандартам, предъявляемым к «зеленым» проектам на международном и национальном уровнях.

В октябре 2019 года рабочей группой при Банке России подготовлена Концепция организации в России методологической системы по развитию зеленых финансовых инструментов и проектов ответственного инвестирования, в которой приведена «дорожная» карта по развитию системы и предусматривается создание Национального совета по зеленому финансированию и устойчивому развитию и Методологического центра «Зеленая книга РФ».

Национальный совет будет определять стратегию и приоритетные направления развития системы зеленого финансирования на основе согласования интересов государства, бизнеса и общества в области обеспечения устойчивого развития и экологической безопасности.

В качестве рабочего органа Национального совета предполагается на базе ГК «ВЭБ.РФ» создать Методологический центр «Зеленая книга РФ», который будет обеспечивать методическую, организационную и информационную поддержку создания национальной системы зеленого финансирования на основе международных требований и опыта, в том числе разрабатывать критерии отнесения проектов к категории «зеленых», требования к организациям — верификаторам таких проектов, инструменты финансирования и механизмы государственной поддержки проектов, вести реестр реализуемых «зеленых» проектов и финансирующих их организаций.

С 2019 года сферы применения механизмов «зеленого» финансирования на международном уровне были расширены — к проектам по возобновляемым источникам энергии и обеспечению энергоэффективности добавлены, в том числе, проекты по управлению отходами и повышению эффективности использования природных ресурсов.

Наиболее отработанный на международном уровне механизм «зеленых» облигаций уже реализуется в рамках национального проекта «Экология» (федеральный проект «Внедрение наилучших доступных технологий»), которым предусматривается субсидирование части (от 70 до 90%) затрат на выплату купонного дохода по облигациям, выпущенным для реализации инвестиционных проектов по внедрению НДТ⁴ на объектах, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду.

На эти цели до 2024 года планируется направить из федерального бюджета 27 млрд рублей, в том числе в 2020 году — 3 млрд рублей, в 2021 — 2024 годах — по 6 млрд рублей ежегодно.

По итогам 2019 года механизмом «зеленых» облигаций воспользовались пять российских эмитентов, которые разместили зеленые

облигации на 7,55 млрд рублей и 55 млн евро и привлекли финансирование для реализации проектов в сфере обращения с ТКО, возобновляемых источников энергии, экологичного транспорта и зеленых технологий в коммерческой недвижимости.

В настоящее время Минпромторгом России подготовлены предложения по расширению и дополнению механизма зеленых облигаций механизмом субсидирования «зеленых» кредитов, что должно существенно упростить и облегчить недропользователям доступ к кредитным ресурсам при реализации проектов по освоению техногенных месторождений.

ГК «ВЭБ.РФ» совместно с Банком России и заинтересованными министерствами с учетом международного опыта разрабатывает национальный стандарт финансирования «зеленых» проектов, который определит критерии и требования, предъявляемые к таким проектам, а также меры их государственной поддержки.

Прежде всего, предполагается оказывать поддержку «зеленым» проектам в сфере утилизации отходов, энергетики, строительства, промышленности, транспорта, водоснабжения, лесного хозяйства, сохранения ландшафта и биоразнообразия, вспомогательных информационных систем [3].

Одним из критериев отнесения инвестиционного проекта к категории «зеленых» могло бы стать добровольное использование недропользователями национальных и межгосударственных стандартов⁵ в сфере ресурсосбережения и обращения с отходами недропользования, которые разработаны и введены в действие Росстандартом России. При разработке этих национальных стандартов учитывался опыт нормативного правового регулирования обращения с отходами горнодобывающей промышленности в странах Европейского союза.

Для российских компаний-недропользователей использование инструментов «зеленого» финансирования открывает доступ к относительно дешевому международному рынку зеленых инвестиций в рамках Международной Ассоциации рынков капитала ISMA, объединяющей

⁴ Постановление Правительства РФ от 30.04.2019 № 541 «Об утверждении правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на возмещение затрат на выплату купонного дохода по облигациям, выпущенным в рамках реализации инвестиционных проектов по внедрению наилучших доступных технологий».

⁵ ГОСТ Р 55100-2012 Национальный стандарт РФ «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами в горнодобывающей промышленности».
ГОСТ Р 57677-2017 Национальный стандарт РФ «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования».

крупнейшие банки мира, объем которого в последние годы демонстрирует бурный рост⁶.

Реализация проектов по переработке отходов недропользования снижает негативное воздействие на окружающую среду и повышает эффективность использования природных ресурсов, следовательно, такие проекты могут быть отнесены к категории «зеленых» в случае соответствия правилам и стандартам, предъявляемым к таким проектам на международном и национальном уровнях.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ показал, что необходимыми условиями стимулирования деятельности по реализации проектов в сфере

обращения с отходами недропользования являются: введение упрощенного (заявительного) порядка предоставления права пользования участками недр, представленными отходами недропользования; разработка системы особых налоговых льгот и преференций для недропользователей, реализующих проекты по добыче полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, к которым следует отнести льготное налогообложение участников региональных инвестиционных проектов, прежде всего льготы по налогу на прибыль и льготный режим уплаты НДС с применением понижающих коэффициентов на период реализации проекта; использование механизмов «зеленого» финансирования, позволяющих получить «дешевые» и «длинные» кредиты, необходимые для реализации проектов по утилизации и рекультивации отходов недропользования.

⁶ По данным Climate Bonds Initiative (CBI) емкость рынка «зеленых» облигаций в мире выросла с \$2,6 млрд в 2012 году до \$ 255 млрд в 2019 году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блошенко Т.А.* Определение дифференцированных налоговых ставок по налогу на добычу полезных ископаемых при добыче полезных компонентов из техногенных и природных месторождений // *Экономика и предпринимательство*. 2017. № 4, ч. 2 (81-2). С. 235—240.
2. *Игнатьева И.А.* Исправление технических ошибок в лицензии на пользование недрами: правовое регулирование и проблемы // *Бизнес, менеджмент и право*. 2017. № 1—2. С. 68—75.
3. *Мирошниченко А.В.* Долговые рынки ждет озеленение // *Коммерсантъ*. Приложение «Регенерация». 2020. № 52. С. 4.
4. *Надымов Д.С.* Разработка организационно-экономического механизма освоения техногенных месторождений с привлечением потенциала государственных институтов развития: дис. ... канд. экон. наук. С.-Петербург, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015.
5. *Полянская И.Г., Юрак В.В., Стровский В.Е.* Повышение уровня сбалансированности недропользования в регионе с помощью учета отходов недропользования // *Экономика региона*. — 2019. — Т. 15, вып. 4. — С. 1226—1240.
6. *Просвирина И.И., Довбий Н.С.* Выбор источников традиционного и «зеленого» финансирования наилучших доступных технологий // *Финансовый журнал*. 2020. Т. 12. № 4. С. 101—116.
7. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий: монография / коллектив авторов под науч. ред. д.э.н., проф. Ф.Д. Ларичкина, д.э.н., проф. В.А. Кныша. Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019. 252 с.
8. *Уланов А.Ю., Бахмин В.И., Коробова О.С.* О совершенствовании системы обращения с отходами недропользования // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020. № 6. С. 48—55.
9. *Шайдулова А.А.* Использование опыта Китая в области финансирования зеленых проектов на пути к устойчивому развитию экономики России // *Финансовые рынки и банки*. 2020. № 2. С. 45—50.
10. *Юмаев М.М.* Налогообложение добычи полезных ископаемых: от дифференциации к новой концепции // *Налоговая политика и практика*. 2011. № 11. С. 60—64.
11. *Юмаев М.М.* Основные положения новой концепции налогообложения минерально-сырьевого комплекса в условиях развития инновационной экономики // *Финансы*. 2010. № 12. С. 34—39.
12. *Юхимова Я.Я.* Налогообложение добычи твердых полезных ископаемых: мировой и отечественный опыт // *Горный журнал*. 2008. № 5. С. 23—28.

REFERENCES

1. Bloshenko T.A. Determination of differential tax rates on the tax on the extraction of minerals in the extraction of useful components from technogenic and natural deposits // *Economy and Entrepreneurship*. 2017. No. 4, part 2 (81-2). P. 235—240.
2. Ignatieva I.A. Correction of technical errors in the license for the use of subsoil: legal regulation and problems // *Business, management and law*. 2017. No. 1—2. P. 68—75.
3. Miroshnichenko A.V. Greening awaits debt markets // *Kommersant*. Appendix "Regeneration". 2020. No. 52. P. 4.
4. Nadymov D.S. Development of an organizational and economic mechanism for the development of technogenic deposits with the involvement of the potential of state development institutions. / Dissertation for the degree of Cand. econom. sciences. St. Petersburg, National Mineral Resources University "Mining", 2015.
5. Polyanskaya, I. G., Yurak, V. V. & Strovsky, V. E. (2019). Considering Mining Wastes as a Factor of Increasing the Balance Level of Subsoil Management in Regions. *Ekonomika regiona [Economy of region]*. 2019. T. 15. No. 4. P. 1226—1240.
6. Prosvirina I.I., Dovby N.S. Choice of sources of traditional and "green" financing of the best available technologies // *Financial Journal*. 2020. T. 12. No. 4. P. 101—116.
7. Rational use of secondary mineral resources in conditions of greening and implementation of the best available technologies: monograph / team of authors; under scientific. ed. d. e. D., prof. F.D. Larichkina, Doctor of Economics D., prof. V.A. Knysha. Apatity: Publishing house of the Federal Research Center of the KSC RAS, 2019. 252 p.
8. Ulanov A.Yu., Bakhmin V.I., Korobova O.S. On the improvement of the subsoil waste management system // *Mining information and analytical bulletin*, 2020. No. 6. P. 48—55.
9. Shaidurova A.A. Using the experience of China in the field of financing green projects on the way to sustainable development of the Russian economy // *Financial Markets and Banks*. 2020. No. 2. P. 45—50.
10. Yumaev M.M. Mineral extraction taxation: from differentiation to a new concept // *Tax policy and practice*. 2011. No. 11. P. 60—64.
11. Yumaev M.M. The main provisions of the new concept taxation of the mineral resource complex in the context of development innovative economy // *Finance*. 2010. No. 12. P. 34—39.
12. Yukhimova Ya.Ya. Taxation of mining solid minerals Fossils: World and Domestic Experience // *Mining Journal*. 2008. No. 5. P. 23—28.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Korobova O.S. — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Коробова Ольга Сергеевна — доктор экономических наук, профессор кафедры «Прикладная экология» ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов».

6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

Тел.: +7 (916) 167-30-41

E-mail: Olga-mggu@yandex.ru

SPIN-код: 5474-9347

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-4675>

Olga S. Korobova — Dr of Sci. (Econ.), Prof., Department of Applied Ecology, Peoples' Friendship University of Russia.

6, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia

Tel.: +7 (916) 167-30-41

E-mail: Olga-mggu@yandex.ru

SPIN-code: 5474-9347

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-4675>

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ / BOOK REVIEW

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-95-97>
УДК 655.552 (550.822.2)



ПОЛЕЗНОЕ ИЗДАНИЕ

А.И. КУДРЯШОВ

*Пермский государственный национальный исследовательский университет
15, Букирева ул., г. Пермь 614990, Россия*

АННОТАЦИЯ

Статья является рецензией на книгу П.А. Игнатова и К.В. Новикова «Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя» (Мирный: АЛРОСА, 2019). В книге изложена новая методика (дополнительно к традиционной) документации керна поисковых скважин, пройденных в пределах Накынского кимберлитового поля Якутской алмазонасной провинции. Особый интерес вызывает детальная классификация и характеристика тектонических, магматических, флюидоразрывных и минералогических признаков, способствующих повышению достоверности прогнозирования кимберлитовых тел. Предложенная методика может быть использована при документации керна скважин других назначений.

Ключевые слова: рецензия книги, керна, поисковые признаки, кимберлитовые тела, Якутия

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кудряшов А.И. Полезное издание. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(6):95—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-95-97>

Статья поступила в редакцию 13.09.2020

Принята к публикации 20.03.2021

Опубликована 21.02.2022

USEFUL PUBLICATION

ALEXEY I. KUDRYASHOV

*Perm State National Research University
15, Bukirev str., Perm 614990, Russia*

ABSTRACT

This article provides a review of the book co-authored by P.A. Ignatov and K.V. Novikov entitled “Field diagnostics of tectonic disturbances and fluid-fracturing formations in kimberlite-containing deposits of the lower Paleozoic” (Mirny: ALROSA, 2019). The book describes a new technique for core sample documentation (along with the conventional technique). The described prospecting wells were drilled within the Nakyn kimberlite field of the Yakutsk diamondiferous province. Of particular interest is the detailed classification and characteristics of tectonic, magmatic, fluid-fracturing and mineralogical features, which contributes to the reliability of kimberlite bodies forecasting. The proposed technique can be used to document core samples from wells of other utility types.

Keywords: book review, core sample, prospecting shows, kimberlite bodies, Yakutia

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

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

For citation: Kudryashov A.I. Useful publication. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(6):95—97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-6-95-97>

Manuscript received 13 September 2020

Accepted 20 March 2021

Published 21 February 2022

В конце 2019 г. вышла в свет небольшая по объему книга П.А. Игнатова и К.В. Новикова «Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя (методическое руководство)» под общей редакцией д.г.-м.н. А.В. Толстова (Мирный: АЛРОСА, 2019. 79 с.) [1].

Книга предваряется кратким очерком геологического строения Накынского кимберлитового поля, входящего в состав Средне-Мархинского алмазодносного района Якутской алмазодносной провинции, занимающей центральную часть Сибирской платформы. Приведены морфология и размеры известных кимберлитовых тел, а также их структурное положение относительно разрывных нарушений разных масштабов. Далее излагается методика специальной документации керна скважин (дополнительно к традиционной), которая заключается в фиксировании тектонических, магматических и флюидоразрывных признаков, а также признаков вторичной минерализации. В целях более компактной документации керна предложено каждый из обнаруженных признаков обозначать специальными значками, представляющими собой прописные и строчные буквы греческого алфавита. Значки проставляются рядом с литологической колонкой напротив соответствующей глубины.

Ядром работы является более подробная классификация и детальная характеристика иско-

признаков. Текст этой части книги (75 % объема) сопровождается большим количеством иллюстраций, представленных в основном качественными фотографиями керна. Здесь же изложены закономерности пространственного распределения всех типов признаков относительно алмазодносных кимберлитов Накынского поля, которые увязаны с современными генетическими представлениями. В основу этих представлений положены результаты 25-летних научных разработок авторов, значительная часть которых опубликована и приведена в списке использованной литературы.

Информация, полученная в ходе предложенной специальной документации керна скважин, в совокупности с результатами традиционных геологических, геофизических и лабораторных исследований вместе с применением современных ГИС-технологий, несомненно, повысит эффективность геолого-разведочных работ при прогнозировании кимберлитовых тел. Она будет полезна при поисках не только кимберлитовых тел, но и месторождений других видов полезных ископаемых. Пригодится она также при чтении ряда дисциплин в учебных заведениях геологической направленности.

Недостатком издания является его малый тираж (всего 100 экз.). Однако книга находится в открытом доступе — и все желающие могут найти ее на сайте <https://elibrary.ru/item.asp?id=41829013>.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатов П.А., Новиков К.В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях

нижнего палеозоя: методическое руководство. Мирный: Акционерная компания «АЛРОСА», 2019. 79 с.

REFERENCES

1. Ignatov P.A., Novikov K.V. *Polevaya diagnostika tektonicheskikh narushenij i fljuidorazryvnykh obrazovanij v kimberlitovmeshhajushhih otlozhenijah nizhnego paleozoja (Metodicheskoe rukovodstvo)* [Field

diagnostics of tectonic faults and fluid fractures in kimberlite-hosting deposits of the Lower Paleozoic: a methodological guide]. Mirnyy: "ALROSA" JSC., 2019. 79 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Кудряшов А.И. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Kudryashov A. I. — prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Кудряшов Алексей Иванович — доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры динамической геологии и гидрогеологии геологического факультета, Пермский государственный национальный исследовательский университет
15, Букирева ул., Пермь 614990, Россия
e-mail: 2qiq@mail.ru
тел.: 8-909-116-15-88
Scopus Author ID: 35830119700
SPIN-код: 6948-7300
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2130-3281>

Alexey I. Kudryashov — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Senior Researcher, Prof. of the Department of Dynamic Geology and Hydrogeology of the Geological Faculty, Perm State National Research University
Perm State National Research University
15, Bukirev str., Perm 614990, Russia
e-mail: 2qiq@mail.ru
tel.: +7-909-116-15-88
Scopus Author ID: 35830119700
SPIN-code: 6948-7300
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2130-3281>



ВАЛЕНТИНУ МИХАЙЛОВИЧУ ГРИГОРЬЕВУ — 101 ГОД!

5 июня 2021 года Валентину Михайловичу Григорьеву исполнился **101 год!** Валентин Михайлович Григорьев — профессор кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Московского государственного геологоразведочного университета (МГРИ — МГГА — РГГРУ — МГРИ), доктор геолого-минералогических наук, заслуженный геолог Российской Федерации, почетный академик Международной академии минеральных ресурсов, лауреат премии Совета Министров СССР, участник Великой Отечественной войны, награжден тремя боевыми орденами, 12 боевыми и юбилейными медалями, имеет 2 медали ВДНХ. За многолетний добросовестный труд в области геологии и в воспитании геологических кадров, в связи со 100-летием со дня рождения Валентин Михайлович Григорьев награжден Почетной грамотой Федерального агентства по недропользованию.

Валентин Михайлович родился в 1920 году в городе Баку Азербайджанской ССР. В 1941 году он с отличием окончил МГРИ, где учился на геологоразведочном факультете. В октябре 1941 г. добровольцем ушел на фронт в составе Краснопресненского Коммунистического батальона. С октября 1941 по сентябрь 1944 г. воевал в составе 3-й Московской Коммунистической стрелковой дивизии сначала разведчиком, потом комиссаром разведбатальона 130-й стрелковой дивизии, гвардии майором.

В. М. Григорьев участвовал в тяжелых боях при обороне Москвы и в наступлении по линии

Химки — Солнечногорск. Он участвовал в боях по ликвидации 6-й армии противника на Северо-Западном фронте, воевал на Западном, Ленинградском и 3-м Белорусском фронтах, был тяжело ранен.

В качестве политрука группы разведчиков совершил дерзкий 20-дневный рейд по тылам врага, выводя наших десантников из Демянского котла, за что был награжден орденом Красного Знамени (1942). Участвовал в наступательных боях по освобождению Ельни и Смоленска (осень 1943 г.), воевал на Карельском перешейке (июнь 1944 г.). На Западном фронте был инструктором политотдела армии по комсомолу, на Ленинградском — помощником начальника политотдела 21-й армии. За участие в освобождении Выборга был награжден орденом Красной Звезды (1944).

За мужество и подвиги на фронтах Великой Отечественной войны Валентин Михайлович награжден не только орденами Красного Знамени, Красной Звезды, Отечественной войны II степени (1975), но и медалями «За оборону Москвы» и «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.», а также юбилейными медалями.

Демобилизовавшись в 1946 году, он работал начальником партии Карпатской экспедиции НИСа МГРИ (1946—1949). В 1949—1958 гг. преподавал на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ, в 1950 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1968 году — докторскую. Затем работал в аппарате Мингео СССР,

в Госплане СССР, в ВИМСе (1958—1976), после чего вновь вернулся во МГРИ, где работал заведующим кафедрой полезных ископаемых (1976—1994), а впоследствии (1992—2001) был профессором той же кафедры и читал курс лекций «Геология месторождений полезных ископаемых». Он соавтор известных учебников «Геология и полезные ископаемые Африки», «Месторождения металлических полезных ископаемых» (1998), «Курс рудных месторождений» (1981, 1986), который был издан на английском и болгарском языках. Валентин Михайлович — автор и соавтор более 200 печатных и 37 рукописных работ, в том числе 19 монографий, 7 учебников и 11 учебных пособий. Валентин Михайлович подготовил 19 кандидатов наук, в том числе 9 из зарубежных стран, а трое из них стали докторами наук. В 1954 году во время командировки в КНДР он работал советником декана в Пхеньянском политехническом институте.

В ВИМСе Валентин Михайлович работал с 1954 г. зав. лабораторией, затем зав. сектором в отделе черных металлов. Был активным пропагандистом комплексного использования минерального сырья, организатором ревизионных работ по опробованию железорудных месторождений на цветные, редкие и рассеянные элементы в 22 территориальных геологических управлениях страны. Работая в ВИМСе (1954—1976), он изучал вещественный состав, редкометалльность, германиеносность основных железорудных месторождений СССР, в том числе месторождений Украины (Кривого Рога) и КМА, а также железо-висмутовых месторождений Средней Азии. Под его руководством проведена оценка перспектив магнетитовых кварцитов на Южном Урале и железных руд Центрального Казахстана, а также открыты и оценены крупнейшие месторождения перспективного Чаро-Токинского железорудного района Якутии. Он обосновал вулканогенно-осадочное происхождение железистых кварцитов и магнетит-гематитовых руд атасуйского типа. Участвовал в оценке рудных месторождений Болгарии, ГДР, Нигерии, Пакистана, Сьерра-Леоне, Северной Кореи и др. Долгие годы он в «Росгеолфонде» редактировал Государственные балансы РФ по железу и другим полезным ископаемым. Им были разработаны методические указания по разведке и промышленной оценке попутных компонентов железных руд.

Валентин Михайлович предложил новые классификации (генетическую и промышленную) месторождений полезных ископаемых. Совместно с технологами ВИМСа занимался разработкой методов технологического картирования железорудных месторождений.

Тезисы докладов Валентина Михайловича Григорьева опубликованы в трудах Международного геологического конгресса в Дели, Париже и Москве, Международного семинара ООН по минеральным месторождениям докембрия, симпозиума Фрайбергской академии, многочисленных всесоюзных и региональных совещаний по геологии рудных месторождений, в энциклопедиях и геологических журналах.

Общие работы с корифеями МГРИ, ВИМСа, МГУ, ИМГРЭ посвящены комплексному использованию минерального сырья, усилению роли редких и рассеянных элементов в промышленности и экономике, а также увеличению их запасов в стране. Особая роль отводилась германию.

В. М. Григорьев занимает достойное место в отечественной геологии. Его общий стаж в отрасли составляет более 55 лет. Он — живая легенда МГРИ, герой-фронтовик, боевой офицер, кавалер боевых орденов. Профессионал высочайшего класса, замечательный ученый и практик, талантливый геолог и преподаватель, человек глубокой порядочности, излучающий доброжелательное отношение к людям, Валентин Михайлович вызывает чувство искреннего уважения и восхищения! Для всех выпускников МГРИ он является примером преданности профессии геолога, уважаемым педагогом и наставником, учителем с большой буквы. Кавалер трех боевых орденов, 12 боевых и юбилейных медалей, двух медалей ВДНХ, он до сих пор встречается с молодежью, рассказывает студентам и школьникам о выпускниках и студентах, которые в начале Великой Отечественной войны ушли добровольцами на фронт.

От всей души сердечно поздравляем Валентина Михайловича со 101-м днем рождения! Искренне желаем Вам крепкого здоровья, долгих лет активной жизни, бодрости, оптимизма и удачи! Все его ученики, друзья и коллеги гордятся, что им довелось учиться у Валентина Михайловича, работать и дружить с таким выдающимся человеком и талантливым ученым.

Ректорат
Российского Государственного Геологоразведочного Университета
имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ — МГРИ)
Геологоразведочный факультет МГРИ
Кафедра геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ
Редколлегия журнала «Известия вузов. Геология и разведка»

