

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

2023

Том 65, № 2
Vol. 65, #2

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

2

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 65, № 2
2023

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. 65, No. 2
2023

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

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

Заместители главного редактора

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Иностранные члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

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

Члены редакционного совета

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

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

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

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

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

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

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	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	100 экз.
Дата выхода в свет	25.05.2023
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2023
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

FOCUS AND SCOPE

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. 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, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, 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

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

Foreign members of the Editorial Board

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

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

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

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

Gurban J. Yetirmishli, Corresponding 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

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

Shaopeng Huang, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA

Yury V. Shestopalov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

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

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

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

Members of the Editorial Council

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

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

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

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

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

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	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	100 copies
Publication date	25.05.2023
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 ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 9 ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ НИЖНЕГАРЬСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО
РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА ПРИАМУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ**
В.А. СТЕПАНОВ, А.В. МЕЛЬНИКОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 21 ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ
В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНО-ТАМБЕЙСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**
А.А. РАССКАЗОВ, Г.Н. ПОТЕМКИН
- 33 ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ
ОТЛОЖЕНИЯХ АКВАТОРИИ ЮЖНОГО КАСПИЯ**
У.С. СЕРИКОВА, М.А. АЛЛАНАЗАРОВА
- 47 ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ОРГАНОГЕННЫХ ПОСТРОЕК
ПОЗДНЕДЕВОНСКОГО ВОЗРАСТА (ВОРОНЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА) ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**
А.Р. РЯЗАНОВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 56 ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТУРМАЛИНА ИЗ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ СКАРНОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР**
А.К. ЛИТВИНЕНКО, Е.И. РОМАНОВА, О.А. ЯКУШИНА

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 67 ОПЫТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВ В ДИАПАЗОНЕ 0,05—0,5 Гц
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГРАВИМЕТРА ГНУ-КВ**
А.П. БЕЛОВ, А.М. ЛОБАНОВ, А.М. ЕРОХИН

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 74 КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**
С.М. САЛЬМАНОВ, З.М. НАЗАРОВА, Ю.А. ЛЕОНИДОВА

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 85 ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**
Б.А. ОВЕЗОВ

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- 92 Л.В. ПУСТОВАЛОВ И СТАНОВЛЕНИЕ НАУКИ ОБ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ В НАШЕЙ СТРАНЕ**
В.Г. КУЗНЕЦОВ

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

9 GOLD-BEARING PROSPECTS OF THE NIZHNEGARSKY ORE-PLACER NODE IN THE PRIAMUR PROVINCE*VITALY A. STEPANOV, ANTON V. MELNIKOV*

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

21 GEOLOGICAL STRUCTURE AND OCCURRENCE CONDITIONS OF THE BAZHENOV FORMATION WITHIN THE SOUTH TAMBEY GAS CONDENSATE FIELD*ANATOLIY A. RASSKAZOV, GRIGORIY N. POTEKIN***33 OIL AND GAS PROSPECTS IN DEEP DEPOSITS OF THE SOUTH CASPIAN WATER AREA***ULYANA S. SERIKOVA, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA***47 PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF ORANOGENIC CARBONATE ROCKS OF LATE DEVONIAN AGE (VORONEZH HORIZON) IN ORENBURG REGION***ALEKSANDR R. RYAZANOV*

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

56 GENETIC FEATURES OF TOURMALINE FROM THE MAGNESIAN SKARNS OF KUHILAL DEPOSIT, SOUTHWESTERN PAMIR*ANDREY K. LITVINENKO, EKATERINA I. ROMANOVA, OLGA A. YAKUSHINA*

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

67 EXPERIENCE OF AMPLITUDE-FREQUENCY ESTIMATION OF GROUND VIBRATIONS IN THE RANGE OF 0,05—0,5 HZ USING THE SENSING ELEMENT OF THE GNU-KV GRAVIMETER*ALEXEY P. BELOV, ALEXANDER M. LOBANOV, ALEXANDR M. EROKHIN*

ECONOMY OF MINERAL RAW MATERIALS AND GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS

74 MANAGEMENT CONCEPTS FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES*SERGEI S. SALMANOV, ZINAIDA M. NAZAROVA, YULIYA A. LEONIDOVA*

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

85 APPROACHES TO RATIONAL DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHODS FOR MINERAL RAW MATERIALS AND PRODUCTS OF THEIR PROCESSING*BATYR A. OVEZOV*

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

92 L.V. PUSTOVALOV AND THE ESTABLISHMENT OF SEDIMENTARY RESEARCH IN RUSSIA*VITALY G. KUZNETSOV*



Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» поздравляет с награждением Почетной грамотой Президента Российской Федерации Путина В.В. (распоряжение № 156-рп от 24 мая 2023 года) главного редактора, заведующего кафедрой геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), заслуженного геолога Российской Федерации, доктора геолого-минералогических наук, профессора Керимова В.Ю.



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-9-20>
УДК 553.411 (571.61)



ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ НИЖНЕГАРЬСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА ПРИАМУРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

В.А. СТЕПАНОВ^{1,*}, А.В. МЕЛЬНИКОВ²

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведено описание геологического строения и золотоносности впервые выделенного Нижнегарьского потенциального рудно-россыпного узла Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской провинции.

Цель. Определение перспектив Нижнегарьского потенциального рудно-россыпного узла на рудное золото, а также на комплексное использование россыпей.

Материалы и методы. Авторами проанализированы литературные и фондовые материалы по геологическому строению, золотоносности и добыче золота Нижнегарьского узла.

Результаты. Впервые выделен самостоятельный Нижнегарьский потенциальный рудно-россыпной узел, на площади которого расположены промышленные россыпи золота. Источниками их формирования служат в южной части узла золотосодержащие месторождения железа и колчеданных руд раннепротерозойского возраста, а в северной — предположительно золото-медно-молибден-порфировое оруденение позднемезозойского возраста. Оценены перспективы золотоносности Нижнегарьского узла на рудное золото. Из россыпей узла кроме золота возможно попутное извлечение циркона и ильменита, из некоторых — минералов элементов платиновой группы (сперрилит и иридомины), а также шеелита.

Ключевые слова: провинция, металлогеническая зона, рудно-россыпной узел, месторождение, россыпь, самородное золото

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Степанов В.А., Мельников А.В. Перспективы золотоносности Нижнегарьского потенциального рудно-россыпного узла Приамурской провинции. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):9—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-9-20>

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

GOLD-BEARING PROSPECTS OF THE NIZHNEGARSKY ORE-PLACER NODE IN THE PRIAMUR PROVINCE

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

¹ Scientific Research Geotechnological Center of the FEB RAS
30, North-Eastern highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia

² Institute of Geology and Environmental Management of the FEB RAS
1, Relochny, Blagoveshchensk 675000, Russia

ABSTRACT

Background. The geological structure and gold-bearing capacity of the recently identified Nizhnegarsky potential ore-placer node of the North Bureinsky metallogenic zone of the Priamur province are investigated.

Aim. To define the gold-bearing prospects of the Nizhnegarsky potential ore-placer node and to determine its potential for integrated use.

Materials and methods. Available publications and stock materials on the geological structure and gold-bearing capacity of the Nizhnegarsky node were analyzed.

Results. An independent Nizhnegarsky potential ore-placer node with industrial placers of gold has been identified for the first time. In the southern part of the node, the gold sources are represented by gold-bearing deposits of iron and pyrite ores of early Proterozoic age. In the northern part, the gold sources presumably include the gold-copper-molybdenum-porphyry mineralization of Late Mesozoic age. The gold-bearing prospects of the Nizhnegarsky node in terms of lobe gold are estimated. In addition to gold, the possibility of associated extraction of zircon and ilmenite, some minerals of the platinum group (sperrilite and iridosmines), and scheelite is demonstrated.

Keywords: province, metallogenic zone, ore-placer node, deposit, placer, native gold

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

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

For citation: Stepanov V.A., Melnikov A.V. Gold-bearing prospects of the Nizhnegarsky ore-placer node in the Priamur province. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):9—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-9-20>

Manuscript received 25 January 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

* Corresponding author

Нижнегарьский потенциальный рудно-россыпной узел (РРУ) расположен на западном фланге Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской золотоносной провинции, между Октябрьским и Нижнеселемджинским РРУ. Ранее в виде самостоятельного золотоносного узла не выделялся, а включался в состав Нижнеселемджинского РРУ. Своеобразие Нижнегарьского узла заключается в том, что в его пределах известен ряд россыпей золота, но проявления рудного золота не выявлены. Источниками золота в россыпях южной части узла служат железорудные (Гаринское, Лебедихинское, Имчиканское), а также

колчеданные (Каменушкинское) месторождения и проявления, руды которых содержат примесь золота, а в северной — предположительно золото-содержащее медно-молибденовое оруденение.

Геологическое строение узла

В геолого-структурном плане Нижнегарьский узел приурочен к Мамыньскому выступу раннепротерозойских и палеозойских образований на северной окраине Амурского геоблока, являющегося сложно-построенной мозаично-глыбовой частью Северо-Китайской платформы [1]. В металлогеническом плане он находится на восточном

фланге Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской золотоносной провинции [9]. В целом Нижнегарьский узел представляет

собой блок раннепротерозойских сланцевых и интрузивных образований, слабо вытянутый в меридиональном направлении (рис. 1).

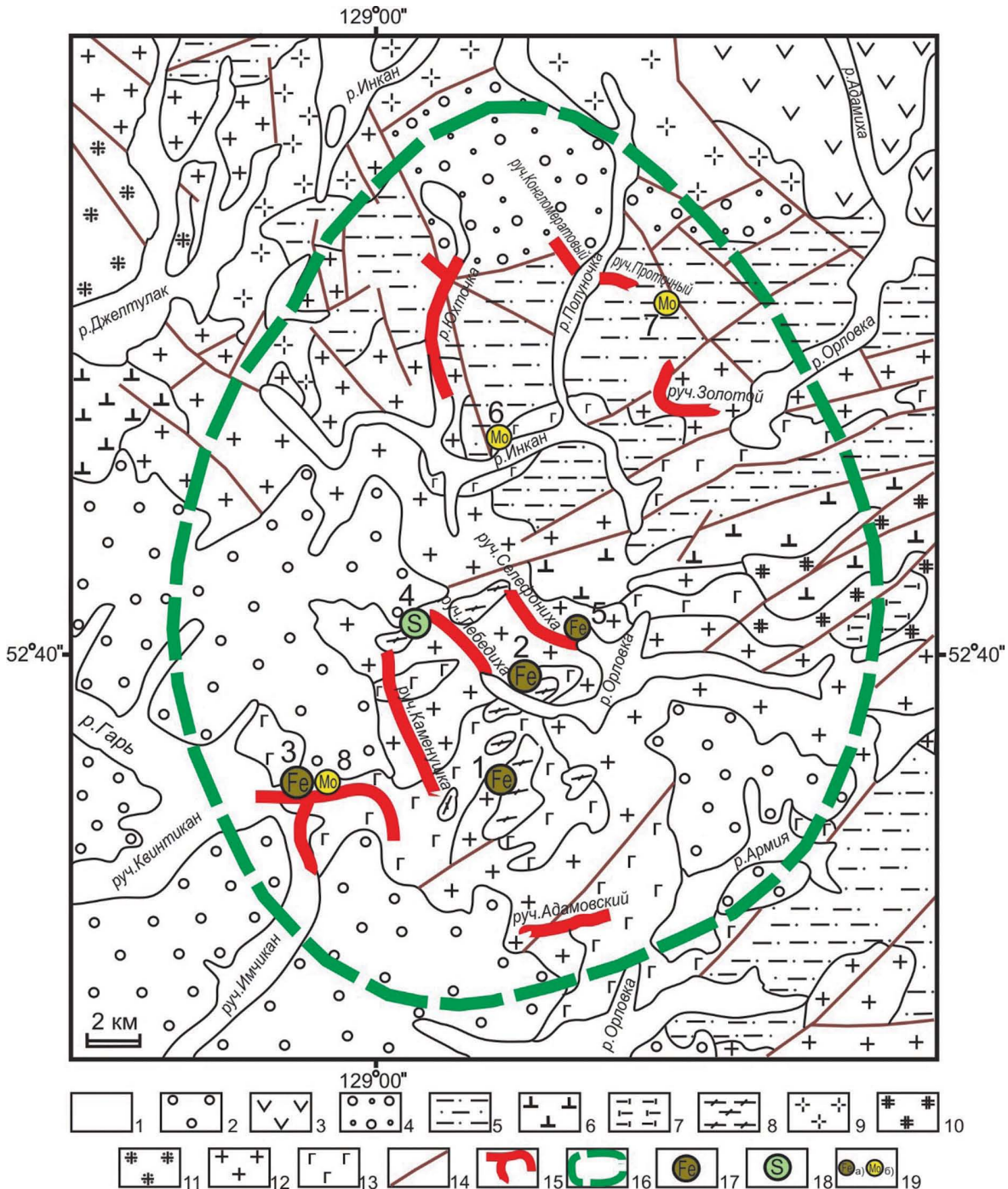


Рис. 1. Геологическое строение и рудоносность Нижнегарьского рудно-россыпного узла. 1 — аллювиальные песчано-галечные отложения кватерна; 2 — отложения белогорской свиты плиоцен-неоплейстоцена: каолинизированные пески, глины, суглинки; 3 — талданская свита: андезиты, трахиандезиты, дациандезиты и их туфы раннего мела; 4 — перемыкинская свита: конгломераты, гравелиты, песчаники раннего мела; 5 — майнская свита: песчаники, гравелиты, алевролиты, туфопесчаники силура; 6 — октябрьская толща: риодациты, дациты, риолиты, андезиты и их туфы ордовика; 7 — косматинская толща: алевролиты, известняки,

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

мергели, доломиты кембрия, 8 — гармаканская свита: сланцы кварц-серицитовые, кварц-хлорит-альбитовые, амфибол-биотитовые раннего протерозоя; 9 — гранодиориты, кварцевые монзониты буриндинского комплекса раннего мела, 10 — сиениты, граносиениты, кварцевые монзониты харинского комплекса поздней перми — раннего триаса; 11 — граниты тырмо-буреинского комплекса среднего-позднего карбона, 12 — граниты, лейкограниты, гранодиориты октябрьского комплекса ордовика, 13 — пироксениты, габбро, горнблендиты, дуниты, перидотиты раннего протерозоя, 14 — разломы, 15 — россыпи золота, 16 — контур Нижнегарьского узла, 17 — месторождения железа (1 — Гаринское, 2 — Лебедихинское, 3 — Имчиканское); 18 — месторождения колчеданных руд (4 — Каменушинское); 19 — проявления: а) железа (5 — Селефониха), б) медно-молибденовые (6 — Инканское, 7 — Полуночка, 8 — Имчиканское)

Fig. 1. Geological structure and ore content of the Nizhnegarsky ore-placer node. 1 — alluvial sand and pebble deposits of the quarterland; 2 — deposits of the Belogorskaya formation of the Pliocene-Neopleistocene: kaolinized sands, clays, loams; 3 — Taldan formation: andesites, trachyandesites, dacandesites and their tuffs of the Early Cretaceous; 4 — Peremykin formation: conglomerates, gravelites, sandstones of the Early Cretaceous; 5 — Mamyn formation: sandstones, gravelites, siltstones, tuff sandstones of Silurian; 6 — October strata: rhyodacites, dacites, rhyolites, andesites and their Ordovician tuffs; 7 — the Kosmatinskaya strata: siltstones, limestones, marls, dolomites of the Cambrian, 8 — the Garmakan formation: quartz-sericite, quartz-chlorite-albite, amphibole-biotite shales of the early Proterozoic; 9 — granodiorites, quartz monzonites of the Burindinsky complex of the Early Cretaceous, 10 — syenites, granosienites, quartz monzonites of the Kharinsky complex of the late Permian-early Triassic; 11 — granites of the middle-late Carboniferous Tyrmo-Bureinsky complex, 12 — granites, leucogranites, granodiorites of the October Ordovician complex, 13 — pyroxenites, gabbro, hornblendites, dunites, peridotites of the early Proterozoic, 14 — faults, 15 — gold placers, 16 — contour of the Nizhnegarsky node, 17 — iron deposits (1 — Garinskoye, 2 — Lebedikhinskoye, 3 — Imchikanskoye); 18 — deposits of pyrite ores (4 — Kamenushinskoye); 19 — manifestations: a) iron (5 — Selephonikha), b) copper-molybdenum (6 — Incan, 7 — Midnight, 8 — Imchikanskoye)

К наиболее древним стратиграфическим подразделениям отнесены кварц-серицитовые, кварц-хлорит-альбитовые и амфибол-биотитовые сланцы гармаканской свиты. Они образуют небольшие ксенолиты и останцы в кровле гранитоидных интрузий ордовика, реже в интрузиях основного и ультраосновного состава раннего протерозоя в южной части узла. Выше располагаются отмеченные в восточной части узла алевролиты, известняки, мергели и доломиты косматинской толщи кембрийского возраста. В узких блоках субширотного простирания располагаются риодациты, дациты, риолиты, андезиты и их туфы октябрьской толщи ордовика. Но наиболее развиты в северной и юго-восточной частях узла терригенные породы мамынской свиты силура, представленные песчаниками, гравелитами, алевролитами и туфопесчаниками. Раннемеловые стратифицированные образования представлены терригенными породами перемыкинской свиты (конгломераты, гравелиты, песчаники), слагающими отдельный ареал в северной части узла, а также эффузивами талданской свиты (андезиты, трахиандезиты, дациандезиты и их туфы), располагающимися в северо-восточной его части. На юго-западной периферии узла широко развиты рыхлые плиоцен-неоплейстоценовые осадки (каолинизированные пески, глины, суглинки) белогорской свиты. В долинах рек присутствуют аллювиальные песчано-галечные отложения четверта [6].

Из интрузивных комплексов наиболее древними являются пироксениты, габбро, горнблендиты, дуниты и перидотиты раннего протерозоя, слагающие крупные с извилистыми очертаниями тела в южной части узла. Наибольшим распространением в центральной части узла пользуются граниты, лейкограниты и гранодиориты октябрьского комплекса ордовика. Гораздо меньше представлены граниты и лейкограниты тырмо-буреинского комплекса среднего-позднего карбона, слагающие небольшую интрузию к северо-западу от границ узла. Небольшие трещинной формы интрузии сиенитов, граносиенитов и кварцевых монзонитов харинского комплекса поздней перми — раннего триаса отмечаются в восточной части узла. Наиболее молодыми интрузивными образованиями в северной части узла являются небольшие тела и дайки гранодиоритов и кварцевых монзонитов буриндинского комплекса раннего мела.

В истории становления Нижнегарьского узла выделяются три этапа: раннепротерозойский, палеозойский и мезозойский. Раннепротерозойские сланцы гармаканской свиты и прорывающие их базит-ультрабазитовые интрузии того же возраста слагают ряд крупных блоков и ксенолитов среди гранитоидов ордовика в южной, наиболее поднятой части узла. Севернее их сменяют карбонатные породы косматинской толщи кембрийского возраста и эффузивы октябрьской тощи ордовика. Заканчивается раннепалеозойский этап внедрением крупных интрузивных масс гранитов,

лейкогранитов, гранодиоритов октябрьского комплекса ордовика. Среднепалеозойский этап начинается с отложения терригенных образований мамынской свиты силурийского возраста, слагающих северную часть и юго-восточную окраину узла. Заканчивается палеозойский этап внедрением небольших по площади интрузий гранитов тырмо-буреинского комплекса среднего-позднего карбона, а также сиенитов, граносиенитов и кварцевых монцонитов харинского комплекса позднепермского-раннетриасового возраста. Мезозойский этап представлен в северной части узла двумя впадинами, сложенными терригенными породами перемыкинской и эффузивами талданской свиты раннего мела. Северная часть территории узла подвергнута позднемезозойской тектономагматической активизации с внедрением интрузий гранодиоритов и кварцевых монцонитов бурундинского комплекса раннего мела.

Широко развиты широтные, субмеридиональные и северо-западные разломы, подчеркивающие общее направление основных пликативных и инъективных структур. Судя по распространенности гранитоидных интрузий ордовика в центральной части узла и конфигурации разломов предполагаемый рудно-россыпной узел представляется структурой центрального типа. Северным и юго-восточным обрамлением узла служат палеозойские и мезозойские терригенные и вулканогенные образования.

Рудные месторождения и проявления

На территории Нижнегарьского рудно-россыпного узла находятся месторождения железа и колчеданных руд, проявления железа, медно-молибденовые, а также россыпи золота.

Гаринское железорудное месторождение, расположенное на левобережье р. Гарь, в 140 км к СВ от г. Свободный, является крупным. Оно приурочено к останцу кровли вулканогенно-терригенно-карбонатных пород в раннепротерозойских и раннепалеозойских габброидах и гранитоидах [3]. Рудоносная толща, мощностью до 1500 м, сложена переслаиванием альбитовых, амфибол-альбитовых, амфиболовых сланцев с магнетитовыми рудами и мраморизованными известняками. Месторождение залегает в ядре синклинальной складки северо-восточного простирания с наклоном крыльев 70—85°, осложненной разломами субширотной, северо-восточной и близмеридиональной ориентировки. Рудные тела представлены крутонаклонными (70—90°) пластообразными и линзовидными залежами. Установлено

56 рудных тел мощностью от 2 до 49,3 м и протяженностью от 80 до 1500 м. Оруденение прослежено на глубину до 500 м. Преобладают магнетитовые руды, среди которых выделяются богатые (свыше 50% железа) и среднего качества (от 20 до 50% железа). Основными рудными минералами являются магнетит, мушкетовит, маггемит и гематит. В подчиненном количестве находятся гидроксиды железа и марганца, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, борнит, ковеллин, халькозин, пирротин, молибденит, малахит и азурит. По данным химических анализов, в рудах присутствует золото — от «следов» до 1,6 г/т, медь — до 0,77%, молибден — до 0,01% (в кварцевых жилах до 0,72%). Подсчет запасов попутных компонентов не производился. Запасы железных руд утверждены ГКЗ СССР и составляют 388,8 млн т, при средних содержаниях железа — 41,7%, фосфора — 0,21% и серы — 1,13% [3].

Лебедихинское железорудное месторождение расположено в 8 км к северу от Гаринского месторождения, на левобережье руч. Лебедиха. Площадь рудного поля 1200×1000 м. На ней широко развиты граниты и гранодиориты октябрьского комплекса, в которых заключены ксенолиты альбитовых, кварц-альбитовых, амфибол-альбитовых, амфибол-биотитовых, известково-альбитовых сланцев гармаканской свиты. Рудные тела приурочены к двум ксенолитам пород гармаканской свиты, расположенным среди гранитоидов октябрьского комплекса. Руды слагают линзовидные и пластовые тела небольших размеров. Длина отдельных рудных тел 50—360 м, мощность 1,5—20 м, протяженность по падению 60—175 м. Среднее содержание (%): железа — 36,07, кремнезема — 24,3, серы — 1,13 и фосфора — 0,24. Запасы по категории C₂ составляют 1117 тыс. т [8].

Имчиканское железорудное месторождение расположено в 14 км к западу от Гаринского месторождения железа, на левом борту р. Гарь против устья р. Имчикан. Рудоносными являются амфиболовые, эпидотовые, амфибол-эпидотовые породы и скарны, сохранившиеся в останцах кровли интрузии гранодиоритов ордовика. Рудные тела мощностью от 2 до 8 м залегают согласно с вмещающими породами. Протяженность их 230—500 м. Руды магнетитовые с пятнистой, вкрапленной и полосчатой текстурой. Во всех разновидностях руд содержится пирит, иногда составляя до 30% рудной массы. Магнетит встречается в виде густой вкрапленности, неправильных скоплений или сплошных масс. Химический состав руд: SiO₂ — 19,3%, TiO₂ — 0,15%, Al₂O₃ — 5,75%,

CaO — 5,21%, MgO — 2,72%, MnO — 0,13%, P_2O_5 — 0,11%, S — 9,74%. Среднее содержание (%): железа — 36,6, кремнезема — 19,29, фосфора — 0,11. Запасы по категории C_1 — 1,5 млн т [8].

Железорудное проявление Селефониха расположено в долине р. Селефониха. Вмещающие породы — амфиболизированные и окварцованные габброиды. Здесь выявлены мелкие обломки бурого железняка, прослеживающиеся на расстоянии 10 м. Содержание в них железа — 8%, меди и цинка — 0,1%.

Каменушкинское колчеданное месторождение расположено в верховьях рек Каменушка и Лебедиха (притоков Гари и Орловки), в 15 км северо-западнее Гаринского железорудного месторождения. Рудовмещающие толщи представлены сланцами различного состава (кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые, реже серицит-графитовые, карбонат-серицит-хлоритовые и карбонат-хлоритовые), известняками, скарированными карбонатными породами и скарнами. Месторождение представлено крутонаклонными линзообразными залежами пиритовых руд. Длина залежей колеблется от 100 до 800 м при мощности от 2 до 12 м и протяженности на глубину от 30 до 300 м. Всего насчитывается 11 рудных тел. Рудные залежи состоят главным образом из пирита. В подчиненном количестве находятся сульфиды (халькопирит, пирротин и молибденит), а также магнетит, гематит, мушкетовит, кварц, кальцит, гранат, амфибол, альбит, эпидот, пироксены, хлорит, серицит, биотит и апатит. Текстуры руд массивные, полосчатые и вкрапленные.

Первичные руды по преобладанию одного из рудных минералов (пирита, магнетита или гематита) делятся на колчеданные (пиритовые), магнетитовые и гематитовые. В рудах содержится: серы — 17,7—47,5%, железа — 9,2—42,1% (в среднем 29,6%), фосфора — 0,01—0,33% (среднее — 0,08%), меди — до 0,77% (среднее — 0,18%). В.Д. Мельниковым в 1991 г. руды были опробованы на золото 39 групповыми пробами, пробирный анализ в которых показал: 1 проба — 1,6 г/т, 4 пробы — 0,4 г/т, 19 проб — «следы», 15 проб — «пусто». Проба с содержанием 1,6 г/т была отобрана из керна скважины № 88, интервал 113—118 м [2]. В верхней части до глубины 10—30 м руды окислены и представлены бурыми железняками.

В 1952—1956 гг. проведены поисково-разведочные работы с бурением скважин, проходкой канав, шахт и квершлагов, в результате которых были подсчитаны запасы по категориям

$B+C_1$ в количестве 2,8 млн т со средним содержанием серы 28% [3].

Медно-молибденовое проявление Инканское расположено на левобережье р. Инкан, правого притока р. Орловка. Оно представлено глыбами гранодиоритов с примазками малахита. Спектральным анализом установлены содержания Mo — 0,02%, Cu — до 1—2%, Pb — 0,1%, Bi — 0,2%, Ag — 0,003%.

Медно-молибденовое проявление Полуночка расположено в истоках руч. Проточный (бассейн р. Полуночка). Оруденение приурочено к окварцованным и пиритизированным гранит-порфирам и гранодиорит-порфирам. По данным спектрального анализа, в гранит-порфирах установлены содержания Mo — 0,003—0,03%, Bi — 0,002—0,1%, Sn — 0,001—0,007%, в гранодиорит-порфирах: Mo — 0,003—0,009%, Bi — 0,02—0,07%, Cu — 0,01—0,1%, Ag — 0,0001—0,001%.

Медно-молибденовое проявление Имчиканское расположено на левом берегу р. Гарь против устья р. Имчикан. Медно-молибденовая минерализация контролируется зоной грейзенизированных гранитов с многочисленными кварцево-сульфидными жилками. Зона мощностью 100 м и более приурочена к эндоконтакту интрузии каледонских плагиогранитов с более древними диоритами и породами метаморфической толщи протерозоя — нижнего кембрия. В непосредственной близости к жилкам вмещающие породы превращены в кварцево-мусковитовые грейзены с флюоритом. Большая часть жилков имеет мощность до 1 см, изредка достигая 10 см. Преобладающим минералом в них является кварц, значительно реже встречается кальцит. Сульфиды представлены пиритом, молибденитом и халькопиритом. Молибденит встречается спорадически в виде тонкой вкрапленности в жилках и чаще в виде тонких оторочек и землистых примазок в их зальбандах и по трещинам. Халькопирит и пирит образуют редкую вкрапленность. Зона грейзенизированных гранитов, пересеченная скважинами, характеризуется повсеместной молибденоносностью, но с низким непромышленным содержанием Mo. Из отобранных из этой зоны 413 проб 33 пробы оказались пустыми, 200 проб с содержанием Mo 0,001—0,009%, 154 пробы с содержанием 0,01—0,05% и только 56 проб содержали Mo в количестве 0,06—0,72%, в т.ч. 4 пробы свыше 0,1%. Среднее содержание Mo по всей зоне составляет 0,02%. В редких случаях кварцево-сульфидные жилки обнаруживались и в породах

экзоконтакта интрузии гранитов, представленных диоритами, метаморфическими породами и магнетитовыми рудами. Содержание в них Мо, по данным химического анализа 46 проб, колеблется от следов до 0,02%, в 2 пробах составило 0,2% и 0,32% (В.И. Сухин, 1960).

Россыпи золота

В пределах узла известно 12 промышленных россыпей золота по р. Гарь, ручьям Адамовский, Гремучий, Золотой, Имчикан, Каменушка, Конгломератовый, Лебедиха, Проточный, Селефониха и Юхточка. Отработка россыпей узла началась поздно, в 1942 и 1956 годах (россыпи Лебедиха и Каменушка) и продолжается по настоящее время. Всего добыто 1382 кг золота из 9 россыпей, в среднем по 153,5 кг на россыпь. Наиболее продуктивными являются россыпи руч. Адамовский, Юхточка и Лебедиха. Кроме того, в разные годы были разведаны, но не отрабатывались небольшие россыпи по руч. Гремучий,

Проточный и р. Гарь в районе руч. Имчикан. Россыпи узла по ряду признаков можно разделить на две группы — северную и южную (табл. 1).

Золото в россыпях в основном мелкое, преобладающей пластинчатой и чешуйчатой форм. Оно окатанное и хорошо окатанное, слабо окатанное золото отмечается в россыпи руч. Юхточка. Самородков не наблюдается. По классификации Н.В. Петровской [5], самородное золото из россыпей узла относится к умеренно высокопробному (820—890‰) и высокопробному (908—915‰). Проба золота из россыпей северной группы несколько выше (890—915‰), чем в россыпях южной группы (820—880‰).

Комплекс сопутствующих минералов отражен в таблице 2. Из таблицы видно, что основными рудными минералами шлиховых концентратов россыпей Нижнегарьского узла являются магнетит, ильменит и циркон. Соотношения этих минералов различаются в россыпях золота южной и северной групп.

Таблица 1. Характеристика россыпей золота Нижнегарьского рудно-россыпного узла
Table 1. Characteristics of gold placers of the Nizhnegarsky ore-placer node

№ пп.	Россыпи	Добыча золота, т	Средняя проба золота, ‰	Крупность золоти́н, мм	Форма золота	Степень окатанности
Россыпи северной части узла						
1	Юхточка	0,375	908	Средней крупности	Комковидная, дендритовидная, палочковидная	Слабо окатанное
2	Гремучий	-	908	Мелкое	Чешуйчатая	Окатанное
3	Конгломератовый	0,002	890	Мелкое	Чешуйчатая	Окатанное
4	Проточный	-	890	Мелкое	Чешуйчатая	Окатанное
5	Золотой	0,050	915	Очень мелкое	Пластинчатая, комковидная	Хорошо окатанное
Россыпи южной части узла						
6	Гарь (район руч. Квинтикан)	0,066	872	До 1 мм	Пластинчатая, чешуйчатая	Хорошо окатанное
7	Гарь (район руч. Имчикан)	-	872	Мелкое	Пластинчатая	Окатанное
8	Имчикан	0,149	820	0,45	Пластинчатая	Полуокатанное
9	Каменушка	0,126	873	Средней крупности	Пластинчатая	Окатанное
10	Лебедиха	0,222	875	Мелкое и средней крупности	Пластинчатая	Окатанное
11	Селефониха	0,006	875	Средней крупности	Пластинчатая	Окатанное
12	Адамовский	0,386	880	мелкое	Пластинчатая	окатанное

Итого добыто: 1,382 т

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

Таблица 2. Сопутствующие минералы шлиховой фракции россыпей золота Нижнегарьского узла
(Ю.Н. Припутнев, Т.А. Припутнева, 1989)

Table 2. Accompanying minerals of the shlich fraction of gold placers of the Nizhnegarsky node
(Yu.N. Priputnev, T.A. Priputneva, 1989)

№ пп.	Название россыпи	Минералы (в % от массы шлиха)	Минералы, рекомендуемые для попутной отработки
Северная часть узла			
1	Юхточка, выше руч. Гремучего	Магнетит — 5,9, ильменит — 2,1, сфен — 0,03, гранаты — 0,09, лимонит — 17,7, эпидот — 0,2, циркон — 51,5, киноварь — 1,5, шеелит — 18,4, амфиболы, рутил, пирит, галенит, сфалерит, касситерит, сперрилит (до 0,2), турмалин, оливин, шпинель, барит, апатит, пироксен, хромит, гематит — единичные зерна	Циркон, шеелит и сперрилит
2	Юхточка, ниже руч. Гремучего	Магнетит 2,3—13,2 (ср. 5,3), ильменит до 5,1 (ср. 1,66), сфен до 0,5 (ср. 0,06), гранаты до 0,8 (ср. 0,19), гематит 4,1—33,5 (ср. 22,05), лимонит 2,1—9,8 (ср. 4,71), эпидот 4,6—15,4 (ср. 10,85), амфиболы до 2,2 (ср. 0,3), хромит до 0,2 (ср. 0,04), циркон 12,5—42,8 (ср. 27,35), анатаз до 0,6 (ср. 0,29), пирит до 17,4 (ср. 2,46), шеелит 0,6—47,7 (ср. 22,94), монацит, рутил, брукит, лейкоксен, касситерит, самородное Ag, сперрилит (до 0,3), халькопирит, борнит, халькозин, сфалерит, арсенопирит, галенит, киноварь, барит, вольфрамит, турмалин, оливин, пироксен, бурый циркон, малакон, ильменорутит, марказит, ставролит, апатит, флюорит, шпинель, дистен, корунд — единичные зерна	Циркон, шеелит, сперрилит
3	Золотой	Магнетит 21,1—24,2 (ср. 22,2), ильменит 1,9—3,3 (ср. 2,4), гранаты 3,0—25,4 (ср. 16,0), амфиболы 6,4—10,8 (ср. 8,2), эпидот 18,3—23,8 (ср. 20,9), циркон 22—40 (ср. 30,3), рутил 0,6—2,3 (ср. 0,33), пирит до 2,2 (ср. 1,03), ильменорутит, галенит, вольфрамит, сперрилит, осмистый иридий, сфен, гематит, мартит, лимонит, турмалин, оливин, пироксен, хромит, марказит, пиролюзит, апатит, шпинель — единичные зерна	Циркон, магнетит
Южная часть узла			
4	Гарь	Магнетит — 32,5, ильменит — 9,6, сфен — 2,8, гранат — 2,4, лимонит — 0,3, амфиболы — 2,8, турмалин — 0,2, эпидот — 12,3, циркон — 24,1, рутил — 0,3, анатаз — 0,3, пирит — 9,9, касситерит, арсенопирит, барит, вольфрамит, молибденит (до 1,5), лейкоксен, гематит, мартит, сидерит, оливин, пироксен, малакон, ильменорутит, брукит, марказит, пиролюзит, ортит, апатит, флюорит, шпинель, дистен, корунд — единичные зерна	Магнетит, циркон, ильменит
5	Имчикан	Магнетит 46,3—69,4 (ср. 56,57), ильменит 0,4—20,5 (ср. 7,23), сфен до 0,1 (ср. 0,07), гематит до 7,0 (ср. 2,33), мартит до 4,4 (ср. 1,47), лимонит до 0,4 (ср. 0,17), амфиболы 0,6—8,7 (ср. 4,63), циркон 2,6—18,9 (ср. 12,6), рутил 0,7—5,4 (ср. 2,93), анатаз 0,1—0,2 (ср. 0,13), касситерит до 5,2 (ср. 1,73), пирит до 0,1 (ср. 0,03), барит 0,4—6,1 (ср. 2,4), молибденит до 3,2 (ср. 1,2), гранат, турмалин, хромит, монацит, молибденит, галенит, киноварь, лейкоксен, оливин, пироксен, серпентин, малакон, циртолит, ильменорутит, брукит, бастнезит, метациннабарит, ставролит, ортит, апатит, флюорит, шпинель, дистен, корунд — единичные зерна	Магнетит, циркон, ильменит
6	Каменушка	Магнетит 0,7—9,8 (ср. 2,9), ильменит 3,9—46,4 (ср. 14,58), сфен до 27,2 (ср. 7,38), гранаты до 0,1 (ср. 0,02), лимонит до 47,9 (ср. 9,86), гематит до 12,7 (ср. 3,19), эпидот до 50,4 (ср. 16,72), амфиболы до 18,8 (ср. 4,18), шеелит до 11,4 (ср. 4,0), хромит до 0,1 (ср. 0,01), циркон до 58,3 (ср. 28,65), анатаз до 22,0 (ср. 3,82), пирит до 26,9 (ср. 4,81), арсенопирит до 0,5 (ср. 0,06), монацит, касситерит, самородное Ag, сперрилит, осмистый иридий, халькопирит, борнит, халькозин, молибденит, сфалерит, галенит, киноварь, барит, ортит, вольфрамит, турмалин, оливин, пироксен, бурый циркон, малакон, ильменорутит, марказит, ставролит, апатит, флюорит, шпинель, дистен, корунд — единичные зерна	Циркон, ильменит, шеелит

Продолжение таблицы 2

№ пп.	Название россыпи	Минералы (в % от массы шлиха)	Минералы, рекомендуемые для попутной отработки
7	Лебедиха	Магнетит 5,8—37,5 (ср. 24,8), ильменит 23,7—49,7 (ср. 34,2), гранаты 2,7—18,6 (ср. 9,5), лимонит до 10,2 (ср. 1,54), амфиболы 0,7—15,8 (ср. 4,58), эпидот до 6,6 (ср. 1,88), пироксен до 2,4 (ср. 0,29), циркон 11,8—27,0 (ср. 20,3), рутил до 5,3 (ср. 1,1), сфен до 0,6 (ср. 0,07), пирит до 2,3 (ср. 0,21), сперрилит до 0,1, осмистый иридий, бурый циркон, малакон, ксенотим, ортит, монацит, молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, марказит, киноварь, вольфрамит, гематит, мартит, турмалин, оливин, хромит, хромшпинель, апатит, брукит, лейкоксен, ставролит, дистен, корунд — единичные зерна	Ильменит, магнетит, циркон, сперрилит, осмистый иридий
8	Селефониха	Ильменит — 30,4, циркон — 22,1, магнетит — 15,9, гранаты — 8,6, лимонит — 11,5, амфиболы — 2,5, шеелит — 0,7, сфен, эпидот, рутил, пирит, киноварь, галенит, турмалин, сперрилит до 0,2, осмистый иридий до 0,5, оливин, шпинель, барит, апатит, пироксен, хромит, гематит — единичные зерна	Ильменит, циркон, магнетит, сперрилит, осмистый иридий
9	Адамовский	Магнетит 29,6—43,3 (ср. 37,3), ильменит 6,5—17,2 (ср. 11,8), сфен до 0,6 (ср. 0,2), гранат 2,1—23,1 (ср. 8,7), амфиболы 3,7—12,9 (ср. 7,6), эпидот до 2,0 (ср. 1,3), циркон 24,2—35,2 (ср. 29,9), пирит 0,6—5,4 (ср. 2,4), рутил до 0,4 (ср. 0,07), монацит, малакон, молибденит, галенит, шеелит, ильменорутил, мартит, турмалин, лимонит, оливин, пироксен, хромит, лейкоксен, апатит, дистен, корунд — единичные зерна	Магнетит, циркон, ильменит

В шлиховом концентрате россыпей северной группы преобладает циркон, за ним располагаются шеелит, иногда магнетит. В россыпи р. Юхточка до 20% шлихового концентрата составляет шеелит. Поэтому среди минералов, рекомендуемых для попутной отработки россыпей северной части узла, преобладает циркон, затем идет шеелит. Следует отметить также сперрилит, количество которого в нижней части россыпи Юхточка достигает 0,3% от массы шлиха.

В шлихах из россыпей южной части площади узла преобладают минералы железа и титана (магнетит и ильменит), за ними следует циркон. Исключением является россыпь р. Каменушка, в которой содержание циркона превалирует. В ней же присутствует значительное количество шеелита (4 мас.%) и пирита (4,81 мас.%). Значительная доля пирита объясняется наличием в вершине россыпи колчеданного месторождения Каменушка. Для россыпей Каменушка, Лебедиха и Селефониха, кроме того, характерно значительное количество минералов элементов группы платины — сперрилита и иридомина. Поэтому в качестве попутно извлекаемых из россыпей южной части узла рекомендуются не только ильменит и циркон, но также минералы элементов платиновой группы. Отметим, что сперрилит и осмистый иридий часто отмечаются и в других россыпных узлах Приамурья [7].

Обсуждение результатов

Территория узла расположена в малонаселенной и слабо изученной части Амурской области. К середине 80-х годов прошлого века вся площадь была покрыта среднемасштабным геологическим картированием. Кроме того, была проведена литохимическая съемка по потокам рассеяния масштаба 1:200 000. Кроме того, площадь покрыта аэромагнитной съемкой масштаба 1:200 000 [8]. Детальные поисковые работы на золото на территории узла не проводились.

Собственно золоторудные месторождения или проявления на площади Нижнегарьского узла не установлены. Поэтому россыпеобразующими, по-видимому, являются находящиеся в пределах узла золотосодержащие железорудные и колчеданные месторождения и проявления раннего протерозоя, а также слабо изученные на золото медно-молибденовые проявления позднего мезозоя.

Россыпи северной части узла (Юхточка, Золотой и др.) расположены среди терригенных пород майминской свиты силурийского возраста, прорванных интрузиями гранодиоритов и кварцевых монзонитов буридинского комплекса раннего мела, а также дайками пестрого состава того же возраста. Здесь известны небольшие медно-молибденовые проявления. Происхождение их связано с позднемезозойским этапом тектоно-магматической

активизации региона и внедрением интрузий буриндинского комплекса раннемелового возраста. Золотоносность проявлений не изучена, но в расположенных западнее Улунгинском и Умлеканском РРУ западного фланга Северо-Буреинской металлогенической зоны медно-молибденовые месторождения и проявления раннемелового возраста часто являются золотоносными и принадлежат золото-медно-молибден-порфировой формации. Примерами служат месторождения Икан и Восточное Двойное [4]. Можно предположить, что позднемезозойское золото-медно-порфировое оруденение служило источником формирования россыпей северной группы Нижнегарьского узла. Позднемезозойское золото, попавшее в россыпи этой группы, в основном мелкое, окатанное и слабо окатанное. Форма золотинок нередко комковидная, дендритовидная и палочковидная. Проба его несколько выше, чем в россыпях южной группы, и колеблется в пределах 890—915‰. Основными сопровождающими золото минералами являются циркон, ильменит и магнетит, происхождение которых объясняется разрушением интрузивных пород как палеозойского, так и мезозойского возраста. Наличие в россыпи р. Юхточка значительных количеств шеелита указывает на вероятное нахождение здесь оруденения вольфрама скарнового типа. Кроме золота из россыпей северной группы возможно попутное извлечение циркона, а из россыпи Юхточка шеелита и сперрилита.

В южную группу входят основные россыпи узла по р. Гарь, руч. Имчикан, Каменушка, Лебедиха, Селефониха и Адамовский. Они расположены на площади развития гранитоидов ордовика, а также крупных блоков и ксенолитов кровли, сложенных раннепротерозойскими сланцами и прорывающими их интрузиями основного и ультраосновного состава того же возраста. С комплексами раннепротерозойских пород генетически связаны золотоносные месторождения и проявления железа, а также месторождение колчеданных руд. Россыпи руч. Каменушка и Лебедиха берут начало из района колчеданного месторождения Каменушкинского, а россыпи р. Гарь, руч. Имчикан и Селефониха из района железорудного месторождения Гарьское и проявления Селефониха. Эти золотосодержащие месторождения и проявления раннепротерозойского возраста, по-видимому, являются россыпеобразующими. Раннепротерозойское «древнее»

золото из этих месторождений, попавшее в россыпи, отличается от золота из россыпей северной группы. Оно мелкое, реже средней крупности, пластинчатой, реже чешуйчатой форм. Проба его умеренно высокопробная и колеблется в среднем по россыпи от 820‰ (россыпь руч. Имчикан) до 880‰ (Адамовский), чаще находится в пределах 872—875‰. Из россыпей этой группы возможна попутная добыча магнетита, ильменита, иногда циркона. Кроме того, из россыпей Лебедиха и Селефониха попутно можно извлекать минералы элементов платиновой группы.

Заключение

В результате проведенных работ установлено, что Нижнегарьский потенциальный рудно-россыпной узел представляет собой структуру центрального типа, сложенную разновозрастными стратифицированными и интрузивными образованиями от раннего протерозоя до позднего мезозоя.

В пределах узла предварительно установлено два этапа формирования золотой минерализации: раннепротерозойский и позднемезозойский. В раннем протерозое были сформированы месторождения золотоносных железных и колчеданных руд (Гаринское, Лебедихинское, Имчиканское и Каменушкинское). Наличие в пределах узла древних железорудных скарнов и мезозойского магматизма позволяет предположить наличие в них золотого оруденения. Первоочередным для доизучения на золото является Каменушкинское колчеданное месторождение, следующим — Гаринское железорудное.

В результате позднемезозойской тектоно-магматической активизации в северной части территории узла возникли медно-молибденовые проявления, золотоносность которых не изучена. Эта часть узла по аналогии с другими рудно-россыпными узлами Северо-Буреинской металлогенической зоны перспективна на поиски комплексных месторождений золото-медно-молибден-порфировых руд. Кроме того, в долине р. Юхточка в северной части узла прогнозируется месторождение шеелита скарнового типа.

Из россыпей Нижнегарьского узла возможно попутное извлечение циркона, ильменита и магнетита. Кроме того, из россыпей рек Лебедиха и Селефониха попутно могут добываться минералы элементов платиновой группы — сперрилит и иридомины, а из россыпи р. Юхточка — шеелит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:2 500 000. Объяснительная записка. Санкт-Петербург — Благовещенск — Харбин: ВСЕГЕИ, 1999. 135 с.
2. Мельников В.Д. Аномалии золотоносности Верхнего Приамурья: автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Владивосток: ДВГИ, 1995. 58 с.
3. Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / под ред. И.А. Васильева. Благовещенск: КПр по Амурской области, 2000. 168 с.
4. Пересторонин А.Е., Вьюнов Д.Л. Месторождения золото-медно-молибден-порфировой формации Приамурской золотоносной провинции // Региональная геология и металлогения. 2017. № 70. С. 78—85.
5. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
6. Петрук Н.Н., Беликова Т.В., Дербек И.М. и др. Геологическая карта Амурской области. Масштаб 1:500 000. Благовещенск: ФГУП «Амургеология», 2001. 236 с.
7. Моисеенко В.Г., Степанов В.А., Эйриш Л.В., Мельников А.В. Платиноносность Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 176 с.
8. Сержников А.Н., Волкова Ю.Р., Яшнов А.Л. и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000. Лист N-52. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2007. 326 с.
9. Степанов В.А. Перспективы Приамурья на рудное золото // Региональная геология и металлогения. 2019. № 77. С. 98—109.

REFERENCES

1. Geologicheskaya karta Priamur'ya i sopredel'ny'x territorij. Masshtab 1:2500 000. Ob'`yasnitel'naya zapiska [Geological map of the Amur region and adjacent territories. Scale 1:2 500 000. Explanatory note.]. Saint Petersburg — Blagoveshchensk — Harbin: VSEGEI, 1999. 135 p. (In Russian).
2. Mel'nikov V.D. Anomalii zolotonosnosti Verxnego Priamur'ya. Avtoref. dokt. dis. [Anomalies of gold content of the Upper Amur region. Dr. Diss.]. Vladivostok: DVGI. 1995. — 58 p. (In Russian).
3. Mineral'no-sy'r'evaya baza Amurskoj oblasti na rubezhe vekov / pod red. I.A. Vasil'eva. [Mineral resource base of the Amur region at the turn of the century / ed. by I.A. Vasiliev] Blagoveshchensk: KPR for the Amur region, 2000. 168 p. (In Russian).
4. Perestoronin A.E., V'yunov D.L. Mestorozhdeniya zoloto-medno-molibden-porfirovoj formacii Priamurskoj zolotonosnoj provincii. [Deposits of gold-copper-molybdenum-porphyry formation of the Amur gold-bearing province]. Regional'naya geologiya i metallogeniya.[Regional geology and metallogeny] 2017, № 70, p. 78—85. (In Russian).
5. Petrovskaya N.V. Samorodnoe zoloto.[Native gold]. Moscow: Nauka. 1973. 347 p. (In Russian).
6. Petruk N.N., Belikova T.V., Derbeko I.M. et al. Geologicheskaya karta Amurskoj oblasti. Masshtab 1:500 000. [Geological map of the Amur region. Scale 1:500 000] Blagoveshchensk: FGUP «Amurgeologiya». 2001. 236 p. (In Russian).
7. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., E'rish L.V., Mel'nikov A.V. Platinonosnost' Dal'nego Vostoka [Platinum bearing of the Far East.]. Vladivostok: Dalnauka, 2004. 176 p. (In Russian).
8. Serezhnikov A.N., Volkova Yu.R., Yashnov A.L. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1:1000 000. List N-52. Ob'`yasnitel'naya zapiska. [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000. Sheet N-52. Explanatory note.] Saint Petersburg: VSEGEI, 2007. 326 p. (In Russian).
9. Stepanov V.A. Perspektivy` Priamur'ya na rudnoe zoloto. [Prospects of the Amur region for ore gold] Regional'naya geologiya i metallogeniya. [Regional geology and metallogeny] 2019, № 77, p. 98—109. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Степанов Виталий Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН».

30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия

e-mail: vitstepanov@yandex.ru

SPIN-код: 6764-5920

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>

Vitaly A. Stepanov* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Chief Researcher of the Scientific and Research Geotechnological Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

30, North-Eastern Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia

e-mail: vitstepanov@yandex.ru

SPIN-code: 6764-5920

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>

Мельников Антон Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рудогенеза Института геологии и природопользования ДВО РАН.

1, Релочный, г. Благовещенск 675000, Россия

e-mail: melnikov_anton1972@mail.ru

SPIN-код: 6087-4614

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-2938>

Anton V. Melnikov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher at the Laboratory of Ore Genesis of the Institute of Geology and Environmental Management of the Institute of Geology and Environmental Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

1, Relochny, Blagoveshchensk 675000, Russia

e-mail: melnikov_anton1972@mail.ru

SPIN-code: 6047-4614

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-2938>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ В ПРЕДЕЛАХ ЮЖНО-ТАМБЕЙСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.А. РАССКАЗОВ¹, Г.Н. ПОТЕМКИН^{2,3,*}

¹ ОАО «Ямал СПГ»

22, ул. Академика Пилюгина, г. Москва 117393, Россия

² ООО «ИПНЭ»

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В XXI веке на севере полуострова Ямал начались активные работы по разведке юрских отложений на ранее открытых месторождениях. Не стало исключением и Южно-Тамбейское месторождение, где за последние 10 лет выполнены сейсморазведочные работы 3D МОГТ и поисково-оценочное бурение с изучением юрских отложений и пород баженовского возраста в частности. Из-за отсутствия достаточной выборки данных в северных районах Западной Сибири эти отложения были изучены слабо. Основные представления формировались по скважинам, находящимся на больших удалениях друг от друга, без возможности проведения ясной корреляции разрезов. После получения новых материалов бурения отложения баженовской свиты были рассмотрены более детально.

Цель. Определение особенностей строения и условий залегания баженовской свиты.

Материалы и методы. В качестве основных инструментов изучения в работе использовались данные каротажа поисково-разведочного и эксплуатационного бурения. На основе материалов ГИС выполнялась детальная корреляция разрезов скважин, которая сравнивалась и анализировалась с описанием кернового материала и интерпретацией материалов сейсморазведки.

Результаты. В статье представлены данные литологической характеристики пород, полученные по описанию керна, отмечено нетипичное соседство строматолитов и радиолярий в разрезе. На основе детальной корреляции выполнено разделение баженовской свиты на три отельные пачки, имеющие характерные геофизические показания на каротаже и особенности распространения по площади. Определена клиновидная морфология залегания отложений с развитием в северо-западном направлении. По площадной изменчивости предложено выделить два типа разрезов баженовской свиты, а также рассмотрены подходы к их прослеживанию.

Заключение. При изучении баженовской свиты выявлена сонаправленность пространственной ориентации разрывных нарушений, проградации ачимовских клиноформ и изменения толщины баженовской свиты. Выдвинута гипотеза о едином тектоническом режиме, преобладавшем в верхнеюрское и нижнемеловое время. В качестве основного фактора, определившего строение и условия залегания баженовской свиты, предлагается рассмотреть цветковую (клавишную) тектонику.

Ключевые слова: баженовская свита, геолого-разведочные работы, детальная корреляция, керн, тектоника, цветковые структуры, сейсморазведочные работы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Рассказов А.А., Потемкин Г.Н. Особенности геологического строения и условий залегания баженовской свиты в пределах Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(2):21—32. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-21-32>

Статья поступила в редакцию 09.03.2023
Принята к публикации 24.05.2023
Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

GEOLOGICAL STRUCTURE AND OCCURRENCE CONDITIONS OF THE BAZHENOV FORMATION WITHIN THE SOUTH TAMBHEY GAS CONDENSATE FIELD

ANATOLIY A. RASSKAZOV¹, GRIGORIY N. POTEKIN^{2,3,*}

¹ OJSC «Yamal LNG»

22, Akademika Pilyugina str., Moscow 117393, Russia

² LLC «IPNE»

13A, Yaroslavskaya str., Moscow 129366, Russia

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

ABSTRACT

Background. In the 21st century, exploration works in the previously discovered Jurassic deposits has been launched in the north of the Yamal Peninsula. The South Tambey field was no exception, where 3D seismic surveys and exploration drilling have been carried out over the past 10 years to study of Jurassic sediments and rocks of the Bazhenov formation. Due to the lack of a data sufficient sample in the northern regions of the Western Siberia, formation was poorly studied. The main ideas were formed on wells scattered at great distances from each other without the possibility of a clear correlation. After receiving new drilling materials, it became possible to examine the deposits of the Bazhenov formation in more detail.

Aim. Determination of the structural features and occurrence conditions of the Bazhenov formation.

Materials and methods. The research was based on the logging data of exploration and production drilling. A detailed correlation of well sections was performed, which was compared and analyzed with the core description and interpretation of seismic survey materials.

Results. The lithological characteristics of rocks obtained by core description are presented, the atypical neighborhood of stromatolites and radiolarians in the section is noted. Based on a detailed correlation, the Bazhenov formation was divided into three intervals with characteristic geophysical logging values and distribution features over the area. The clinoform occurrence with development in the north-west direction is determined. Based on the areal variability, it is proposed to distinguish two types of the Bazhenov formation, and approaches to their tracing are considered.

Conclusion. The study of the Bazhenov formation revealed a co-directionality of the spatial orientation of the faults, the progradation of the Achimov clinoforms, and changes in the thickness of the Bazhenov formation. A hypothesis has been put forward about a single tectonic regime that prevailed in the Upper Jurassic and Lower Cretaceous. It is proposed to consider flower (keyhole) tectonics as the main factor that determined the structure and occurrence conditions of the Bazhenov formation.

Keywords: Bazhenov formation, drilling exploration, detailed correlation, core, tectonics, flower structures, seismic exploration

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

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

For citation: Rasskazov A.A., Potemkin G.N. Geological structure and occurrence conditions of the Bazhenov formation within the South Tambey gas condensate field. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):21—32. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-21-32>

*Manuscript received 03 May 2023**Accepted 24 May 2023**Published 25 May 2023*

* Corresponding author

Уже более полувека баженовский горизонт является одним из центральных объектов всестороннего геологического изучения. Сейсмоики и петрофизики, геологи и разработчики спорят о строении баженовской свиты (БС), особенно в условиях ее залегания, нефтегазоматеринском потенциале и возможности промышленного освоения. Не стала исключением и Ямало-Гыданская нефтегазоносная область, где первые поисково-разведочные работы на юру начались в 1970-х годах. Запись стандартного комплекса геолого-геофизических исследований скважин позволила выполнить интерпретацию методов ГИС, а также получить представление об условиях осадконакопления после отбора керна.

Так, первые попытки определить тип разреза БС в пределах Ямало-Гыданской области сделаны в работе Ю.В. Брадучана и Ф.Г. Гурари «Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность)» [1], изданной в 1986 году. К моменту написания монографии на Южно-Тамбейском месторождении уже была пробурена скважина 5Р, в которой был записан стандартный комплекс геофизического каротажа (ГИС). Авторы отмечают схожесть Тамбейского и Салымского типа разрезов на примере Июльской скв. 270-Р. Как и в Салымском районе, на Тамбее в интервале БС выделяются две высокоомные пачки с аномальной радиоактивностью относительно перекрывающих и подстилающих пород, а сам разрез рассматривается как проявление южной области внутреннего арктического типа.

В последующее время и вплоть до 2014 года каких-то существенных геолого-геофизических материалов, позволявших всесторонне описать баженовский горизонт, накоплено не было. Первые данные, давшие возможность более подробно охарактеризовать БС, особенности строения и условия залегания, удалось получить после начала широкой поисково-разведочной программы по изучению юрских отложений Южно-Тамбейского месторождения. Так, в интервале БС были выполнены стандартные и специальные исследования на керне, запись широкого комплекса ГИС. Результаты геолого-разведочных работ подтвердили высокую степень макро- и микронеоднородности,

скорректировали представление об особенностях строения.

Литологическая характеристика баженовского горизонта

К настоящему времени на Южно-Тамбейском месторождении БС вскрыта бурением восемью поисково-разведочными и шестью эксплуатационными скважинами. При анализе каротажных диаграмм можно отметить, что описание разреза хоть и соответствует представлениям, сформированным на более ранних стадиях изучения Тамбейской группы месторождений, но имеет ряд уникальных особенностей, прежде не отмечавшихся. БС по материалам ГИС делится на три условные пачки, которые отличают ее от вмещающих пород абалакской и ахской свит (рис. 1). Пачка 1 характеризуется высокими удельными электрическими сопротивлениями (УЭС) 15–20 Ом·м, большими значениями естественной радиоактивности (ГК), а также пониженными показаниями индукционного каротажа (ИК). Выше по разрезу залегает пачка 2, которую следует рассматривать как низкоомную с УЭС 2–5 Ом·м, за исключением отдельных маломощных карбонатизированных пропластков с пониженными значениями естественной радиоактивности. Пачка 3 отличается от подстилающих отложений высокими УЭС и ГК и имеет схожие геофизические характеристики с пачкой 1, что позволяет сделать предположение о близком литологическом составе. Следует отметить, что пачка 3 имеет тенденцию к полному выклиниванию в направлении с северо-запада на юго-восток, что более подробно будет рассмотрено при описании особенностей залегания.

В 2014 году на Южно-Тамбейском месторождении был выполнен отбор керна из интервала пачки 1 БС, который позднее был описан на геологическом факультете МГУ. Исследованный керновый материал в основном представлен кероген-кремнисто-глинистыми отложениями с чередованием маломощных прослоев, сложенных известково-глинисто-кремневыми породами. Кремневая составляющая по разрезу не является постоянной, в отдельных интервалах увеличение кремневой доли достигает 50% по отношению к глинистой. В верхней части пачки 1 появляются

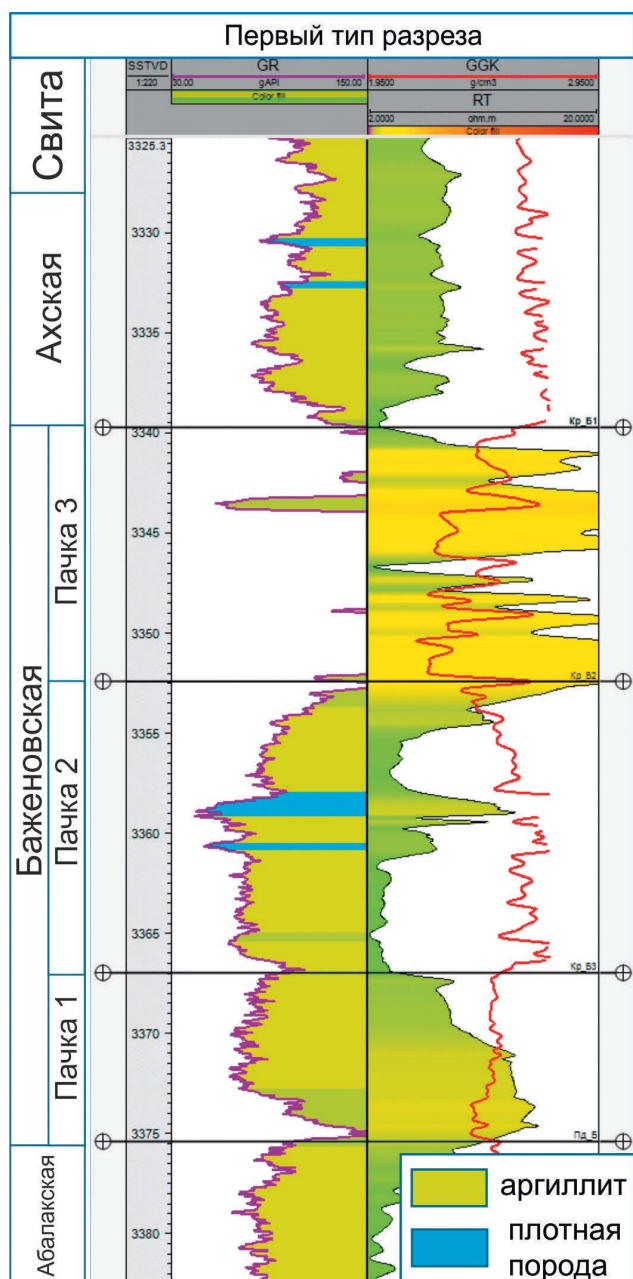


Рис. 1. Выделение основных пачек пород в разрезе баженовской свиты по ГИС

Fig. 1. Selection of the mains rocks parts in the cross section of Bazhenov formation by the data of logging

крупная карбонатная конкреция. Кровля характеризуется интенсивной пиритизацией с образованием послойного линзовидного скопления. Содержание органического вещества меняется по разрезу, в среднем составляя около 10%.

По результатам исследований в породе отмечены ростры белемнитов, отпечатки и раковины двусторчатых и головоногих моллюсков, онихиты,

части скелета рыб, радиолярии, микрофлора и микростроматолиты (рис. 2).

Радиолярии, встреченные в разрезе пачке 1, соответствуют титону — ниже-средневолжскому подъярусам волжского яруса верхней юры. Здесь можно отметить следующих представителей вида: *Acanthocircus aff. breviaculeatus*, *A. cf. minispineus*, *Parvicingula Jonesi*, *Parvicingula blowi*, *Tripocyclia trigonum* и других.

Наиболее интересная информация о времени осадконакопления была получена при изучении аммонитов. Так, в разрезе найдены останки *Rasenia*, ранее представители данного вида на Ямальском полуострове встречены не были. Возраст отложений по аммонитам можно отнести к раннему кимериджу (георгиевский горизонт).

Макрофлора, отмеченная в образцах керна, представлена хвощовыми растениями *Neoclamites sp* (рис. 2). Согласно исследованиям определить точный возраст органических остатков не представляется возможным из-за плохой сохранности и измененной структуры растений. Необходимо отметить, что роль хвощовых растений неизменно уменьшалась от триаса и нижней юры к верхнеюрскому и меловому времени. Одними из немногих представителей, получивших распространение в баженовское время, были *Neoclamites sp*. Присутствие растений позволяет говорить о наличии береговой линии в относительной близости от места осадконакопления. Кроме того, такой вывод хорошо согласуется с высоким содержанием глинистых минералов, порой превышающих 35% мас. в поднятой на поверхность горной породе.

При анализе палеонтологических исследований, в частности исследований аммонитов, была выдвинута гипотеза о формировании нижней части пачки 1 в кимериджское время. Однако однородность строения, насыщенность органическим веществом, содержание урана, который имеет аквагенное происхождение, скорее говорят об отнесении данного горизонта к баженовской свите.

На текущем этапе изученности описанного керна в интервале пачек 2 и 3 нет. Изучая каротажные диаграммы, можно предположить повышение глинистой составляющей в интервале пачки 2 относительно подстилающих пород, выразившееся в снижении УЭС. Пачка 3 скорее всего имеет кероген-кремнисто-глинистый состав с повышенным содержанием органического вещества. Согласно данным геолого-технических исследований отмечена высокая битуминозность аргиллитов пачки 3, превышающая ее содержание

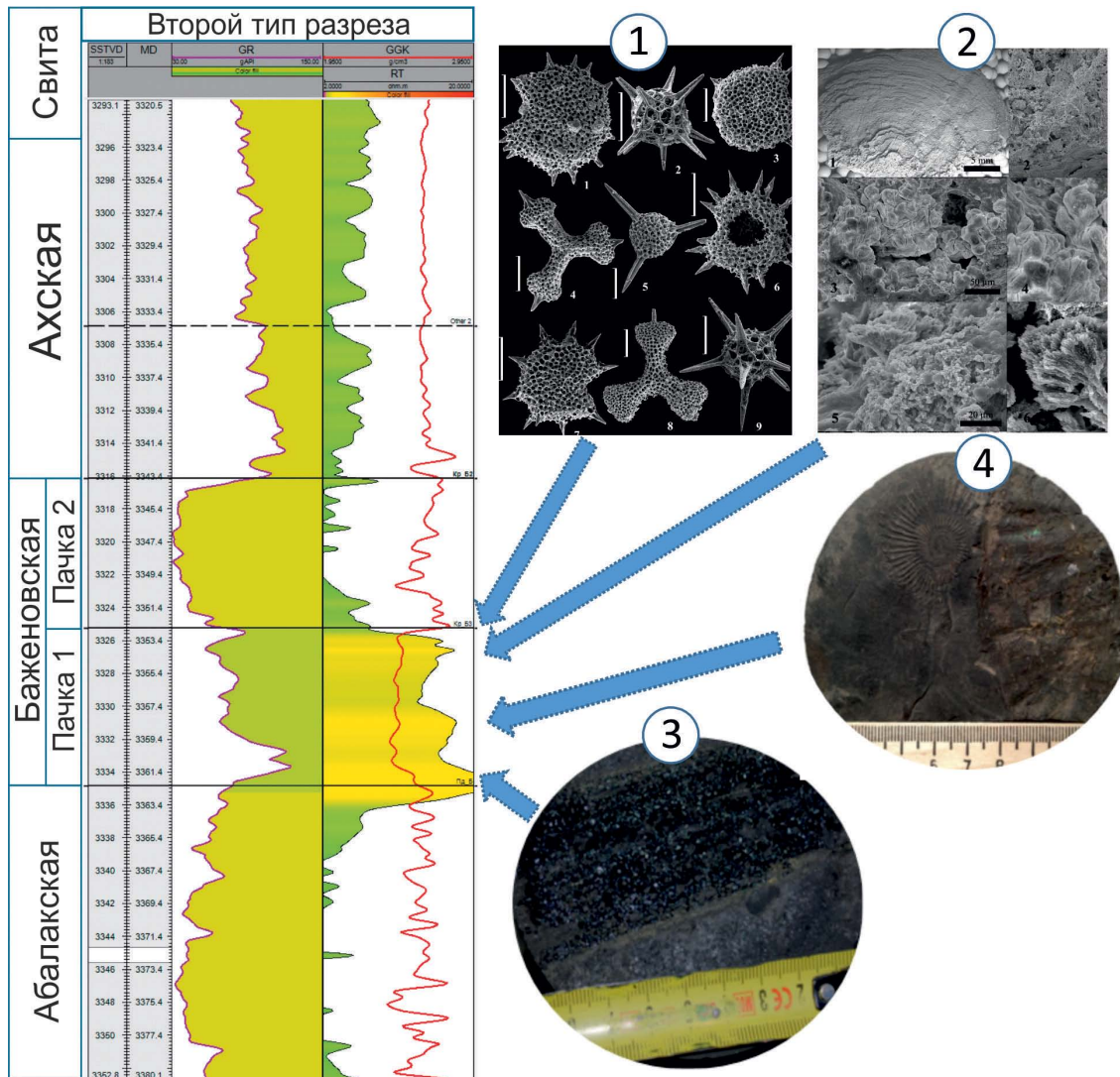


Рис. 2. Палеонтологические остатки, найденные при описании керна: 1) радиолярии; 2) микростроматолит в микроскопе; 3) хвостовые *Neoclamites* sp; 4) аммониты. Справа *Rosenia*, слева *Amoebites subkitchini*

Fig. 2. Paleontological remains found during the core description: 1) radiolarian; 2) microstromatolite in a microscope; 3) horsetail *Neoclamites* sp; 4) ammonites. *Rosenia* on the right, *Amoebites subkitchini* on the left

в предположительно схожих по составу породах пачки 1. В таких скважинах отмечается рост УЭС до 35 Ом·м и повышение естественной радиоактивности до 300—400 gAPI (1 gAPI — 0,1 мкр/ч).

Особенности строения и залегания баженовского горизонта

В соответствии с региональными представлениями в пределах Ямало-Гыданской мега-седловины БС характеризуется нормальными и сокращенными толщинами (до 40 м), происходит уменьшение содержания высокоуглеродистых пород с удалением от центра бассейна, в северо-восточных районах провинции отмечаются

эрозионные поверхности [9]. Предполагается, что завершение формирования баженовского комплекса связано с тектоническими перестройками в берриасе.

С другой стороны, в ряде работ отмечается, что для северных территорий и акваторий Западной Сибири характерен монотонный и постепенный режим тектонического погружения в течение триасового и юрского периодов. Позднее, в берриасе — раннем апте отмечается смещение зон максимального прогибания от структур обрамления Южно-Карской региональной депрессии, в результате чего обособились две зоны интенсивного погружения, разделенные

Северной мегаседловиной, тогда как Ямало-Гыданская мегаседловина на данном этапе развития испытывала тенденцию к относительному погружению. В апте, альбе и сеномане тектонические процессы сохранили унаследованный характер от неокома, однако снизилась их интенсивность. При этом Ямало-Гыданская мегаседловина частично была захвачена погружавшейся Южно-Карской мегасинеклизой. В постсеноманское время Ямало-Гыданская мегаседловина оказалась вовлеченной в процессы относительного роста, что также привело к усилению структурной выраженности крупных и амплитудных поднятий, в том числе Южно-Тамбейского. Однако такой рост полностью не компенсировал прогибание, в которое территория была вовлечена в неокоме и позднее, вплоть до сеномана [4].

По данным [4] Тамбейская группа структур относится к структурам Бованенковского типа, которые проявляются на структурных планах всех мезозойских горизонтов, и развивалась подобно структурам Нурминского вала, т.е. формировалась в юрское и бериасс-сеноманское время и продолжила унаследованное развитие в конце позднего мела и кайнозое.

Для уточнения представлений о строении баженовского горизонта в пределах Южно-Тамбейского ГКМ был выполнен анализ имеющегося геолого-геофизического материала. На месторождении в ряде поисково-оценочных скважин выполнена запись вертикального сейсмического профилирования, широкополосного акустического каротажа, что позволило увязать скважинную геофизику с материалами СРР 3D МОГТ. На сейсмических разрезах БС выделяется по отрицательной амплитуде, которая хорошо прослеживается как по вертикали, так и по площади месторождения. Несмотря на весьма однородную сейсмическую запись, с юго-востока на северо-запад отмечается усиление сигнала от баженовского горизонта, амплитуда становится более яркой. Кроме того, на сейсмических атрибутах и разрезах хорошо видны разрывные тектонические нарушения, которые пронизывают весь юрский комплекс и уходят в интервал неокома. При анализе срезов по кубу Variance вдоль ОГ Б можно выделить системы дизъюнктивов, обладающих как сдвиговой, так и вертикальной составляющей сбросового или взбросового типа. Сами разломы формируют цветковые структуры с корнем, уходящим в фундамент, раскрываясь в интервале средней юры — ачимовской толщи (рис. 3). Цветковые структуры разделяются

на положительные и отрицательные, связанные с трансензией (сдвига-растяжение) и транс-прессией (сдвига-сжатие), понятиями, впервые предложенными В. Харландом в 1971 году [10].

На этапе подготовки к детальной корреляции в скважине с типовым разрезом в интервале от абалакской свиты до неокома были выделены основные стратиграфические свиты и отдельные реперные пачки. Подстилающими отложениями баженовского горизонта являются породы абалакской свиты. В пределах Южно-Тамбейского месторождения абалакская свита имеет типичное строение севера Западной Сибири.

На каротаже породы характеризуются низкими УЭС, едва превышающими 5 Ом·м, высокой радиоактивностью до 100 gAPI (рис. 4). Отложения представлены серыми аргиллитами. Общая толщина абалакской свиты выдержана по площади и составляет 95—105 м, что говорит о спокойном тектоническом режиме в период осадконакопления и отсутствии зон интенсивного прогибания.

Выше по разрезу залегают породы баженовского возраста. БС разделяется на 3 пачки, которые уверенно определяются по данным ГИС. Пачка 1, залегающая в основании, выделяется во всех пробуренных скважинах месторождения. По данным ГИС пачка имеет следующие характерные черты: высокие значения УЭС до 20 Ом·м и показания ГК до 150 gAPI, а также пониженные значения плотности до 2,35 г/см³. На каротаже видно увеличение толщины разреза в направлении с северо-запада на юго-восток, где толщина пачки 1 увеличивается с 6 до 10 м.

На отложениях с повышенными значениями УЭС залегает низкоомная пачка 2. Изменение характера кривых ГИС вверх по разрезу, скорее всего, связано с ростом глинизации при уменьшении кремнистой составляющей и падении содержания органического вещества. Необходимо отметить, что по гамма-гамма-плотностному каротажу пачка 2 отличается повышенными показаниями по сравнению с пачками 1 и 3. Плотность пород составляет 2,5—2,6 г/см³. В структуре отложений можно выделить отдельные карбонатизированные пропластки, характеризующиеся высокими значениями УЭС, низкими показаниями ГК. Залегание карбонатизированных интервалов по площади не является выдержанным, в части скважин отмечается их полное отсутствие. Пачка 2 так же, как и пачка 1, имеет тенденцию к росту общей толщины в направлении с юго-востока на северо-запад.

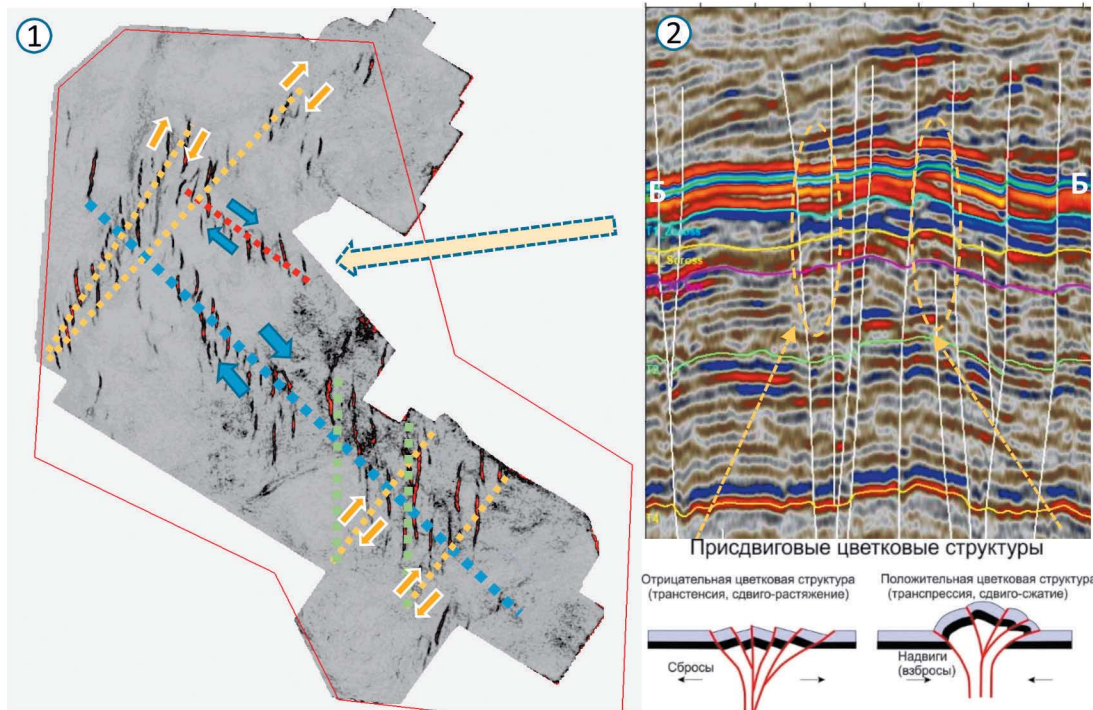


Рис. 3. Тектоническое строение изучаемой площади по сейсмическим данным: 1) Срез куба Variance с видимыми разрывными нарушениями по ОГ Б; 2) Сейсмический разрез с выделением цветковой отрицательной и положительной структуры

Fig. 3. Tectonic structure of the studied area according to seismic data: 1) A slice of a Variation cube with visible faults along the horizon B; 2) Seismic cross section with the selection of negative and positive flower structures

Особый интерес представляет пачка 3. По геофизическим характеристикам породы схожи с отложениями пачки 1, обладают высокими УЭС до 35 Ом·м и естественной радиоактивностью до 400 gAPI. На кривой ГГК отмечается снижение плотности до 2,2—2,3 г/см³. Пачка 3 имеет тенденцию к уменьшению толщины в северо-западном направлении, полностью выклиниваясь в районе перехода от центральной части месторождения к южной. Сокращение толщины сопровождается снижением сопротивлений, падением естественной радиоактивности. Выклинивание верхней части разреза уверенно прослеживается при изучении морфологии ее залегания относительно вмещающих пород: подстилающей пачки 2 и вышезалегающих глинистых отложений ачимовской толщи, относящихся к ахской свите. Если выделение границы, отделяющей среднюю часть БС от верхней, с точки зрения детальной корреляции вопросов не вызывает, то определение границы перехода баженовских пород к ачимовским на первых этапах бурения создавало трудности. Проблема определения кровли БС не является локальной, а имеет региональное значение в целом для Западной Сибири [6].

На схеме корреляции аргиллиты, залегающие над отложениями БС, характеризуются повышенными значениями естественной радиоактивности в подошвенной части, что вносило неопределенность по их возможному отнесению к битуминозным породам титонского возраста с некоторыми допущениями о различиях в УЭС на каротажных диаграммах. С увеличением выборки данных дифференциация разновозрастных баженовских и ачимовских отложений стала более явной и сейчас уже не кажется спорной. На рисунке 5 аргиллиты в основании ахской свиты уверенно прослеживаются по следующим геолого-геофизическим критериям:

- на каротаже удельные электрические сопротивления снижаются к БС с 5 до 3 Ом·м;
- показания естественной радиоактивности возрастают до 150 gAPI;
- породы обладают повышенной плотностью 2,5—2,7 г/см³;
- толщина пачки аргиллитов в основании ахской свиты составляет 37—40 м.

Таким образом, можно сделать вывод о высокой степени макронеоднородности БС, связанной как с изменением толщин свиты в целом,

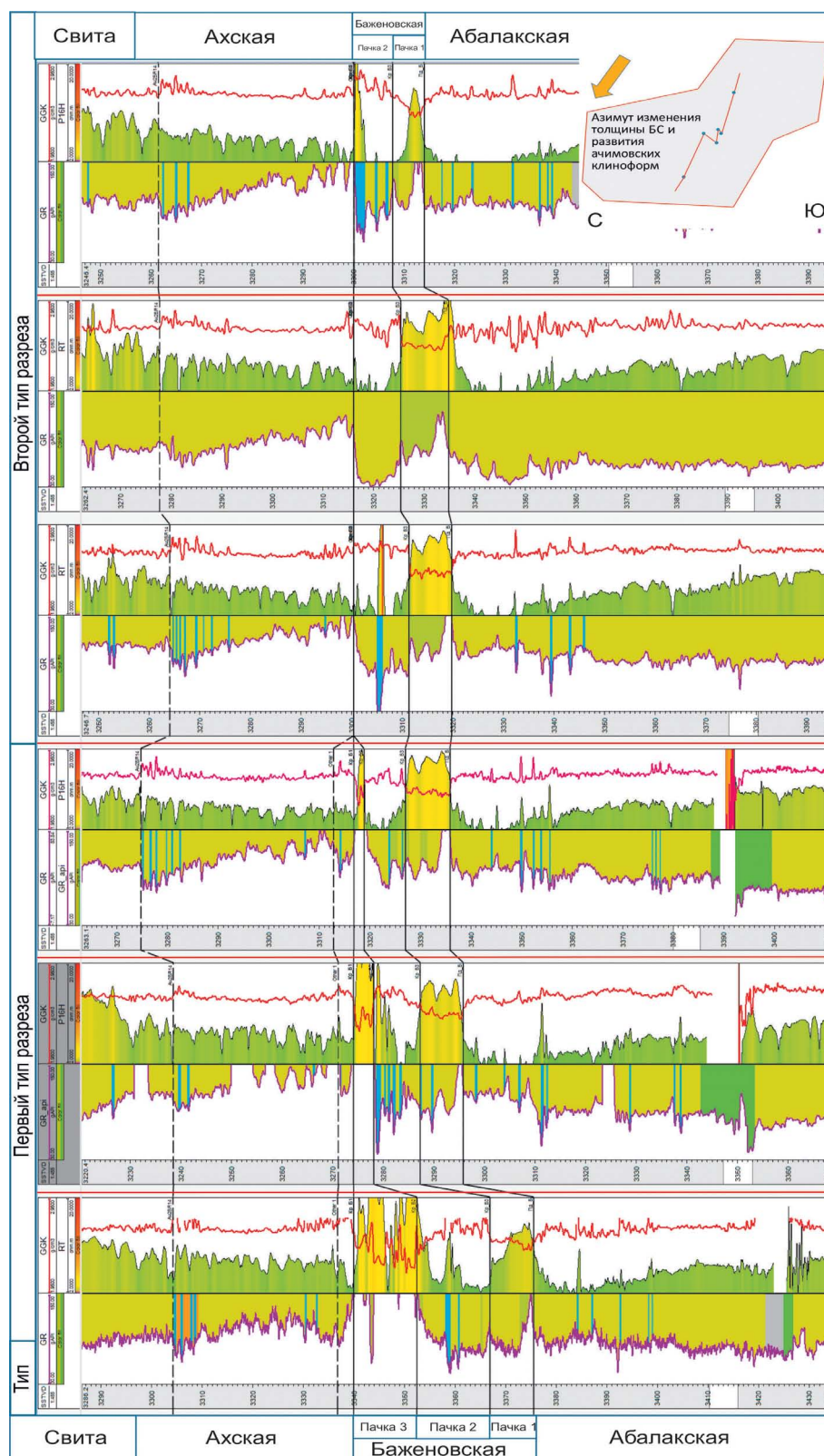


Рис. 4. Схема детальной корреляции скважин Южно-Тамбейского ГKM с типизацией разреза баженовской свиты
Fig. 4. Scheme of wells detailed correlation of the South Tambey field with the interval typification of the Bazhenov formation

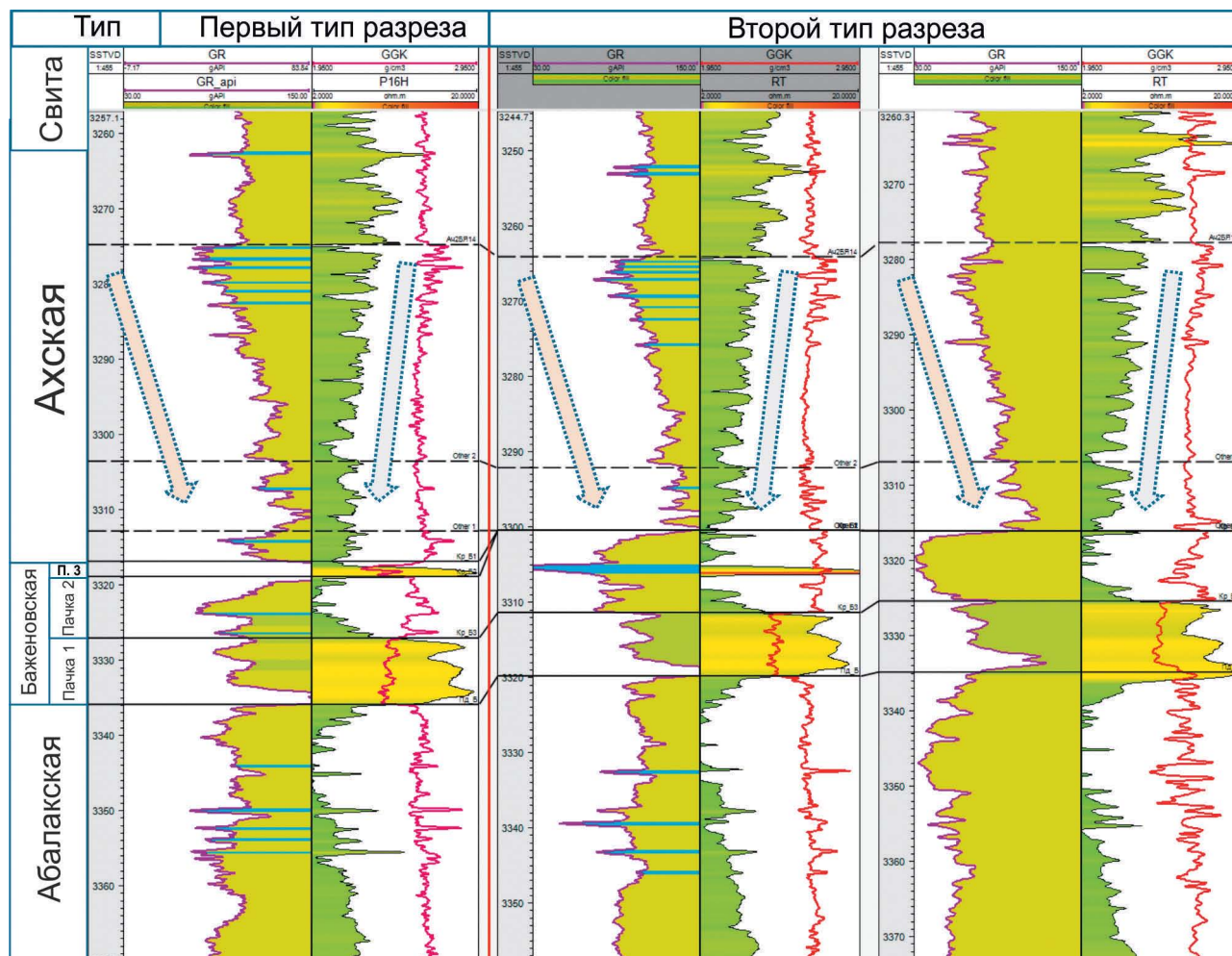


Рис. 5. Разделение пород ачимовской толщи от отложений баженовской свиты в районе выклинивания верхней пачки битуминозных аргиллитов

Fig. 5. Separation of the Achimov rocks from the Bazhenov formation in the area of wedging out of the bituminous shales upper part

так и каждой пачки в отдельности. Неравномерное развитие баженовского горизонта по площади также сопровождается изменением свойств пород в юго-восточном направлении.

Следует заметить, что высокая неоднородность и стратиграфическая неполнота баженовского горизонта отмечаются и на ряде других площадей Ямала: на юге полуострова, на Новопортовском месторождении отмечается полный размыв баженовских отложений в приподнятых участках структуры [7, 8].

Типизация разреза и влияние тектоники

Уточнение морфологии залегания на основе детальной корреляции скважин в интервале абалакской — ахской свит позволяет скорректировать представление о типизации разреза БС и особенностях ее выделения

на Южно-Тамбейском месторождении. С учетом выклинивания пачки 3 в юго-восточном направлении можно определить два типа разреза, каждый из которых имеет характерный состав, подходы к выделению и прослеживанию по площади месторождения.

Первый тип разреза представлен тремя пачками. Границы кровли и подошвы однозначно фиксируются по увеличению естественной радиоактивности и УЭС. БС указанного типа развита в северной и центральной части Южно-Тамбейского месторождения. По своим геолого-геофизическим характеристикам она соответствует описанию, приведенному в работе Ю.В. Брадучана и Ф.Г. Гулари [1]. Толщина свиты достигает 23 м.

Второй тип разреза связан с выклиниванием пачки 3. БС сохраняет в своем составе две нижние

пачки, однако отмечается сокращение их толщины в юго-восточном направлении. В устоявшихся принципах определения кровли и подошвы БС полуострова Ямал уже долгое время используются подходы к выделению отложений по высоким значениям УЭС и естественной радиоактивности [1, 7], что, как видно на схеме корреляции, не всегда правильно. Основной и главной особенностью второго типа разреза, отходящей от классической корреляции баженовского горизонта, является установление кровли по снижению ГК и низким УЭС. Данное уточнение можно назвать определяющим, и этот принцип должен быть использован при прослеживании горизонта по площади рассматриваемого участка. Толщина БС в разрезах второго типа составляет 16—18 м.

Различия в толщине БС не только отмечают на каротажных диаграммах, но и проявляются на сейсмических разрезах. Отрицательная амплитуда становится более яркой в северо-западном направлении и затухает в юго-восточном, хотя и поддается уверенной сейсмической корреляции. Можно предположить, что северо-западная часть участка во время осадконакопления испытывала более интенсивное прогибание. По причине небольшой выборки скважинных данных сделать однозначный вывод о преобладании пликативных или дизъюнктивных деформаций в процессе прогибания пока не представляется возможным. Однако вероятное проявление дизъюнктивных процессов находит подтверждение в большом количестве разрывных нарушений, выявленных по материалам сейсморазведочных работ. Цветковые структуры, сформировавшие отдельные тектонические блоки, простираются в северо-западном направлении и полностью совпадают с азимутом изменения толщины БС. На схеме корреляции, представленной на рисунке 4, показан переход разреза БС от первого типа ко второму. Изменение БС в целом и каждой пачки в отдельности хорошо коррелирует с расположением скважин по обособленным тектоническим блокам, выделенным по данным сейсморазведочных работ 3D МОГТ.

Возможное влияние тектоники на захоронение осадков отмечено при описании керна. В отложениях нижней пачки БС практически на одной глубине найдены остатки организмов разных участков бассейна седиментации. Так, в разрезе присутствуют теплолюбивые строматолиты и предпочитающие холод радиолярии. Такое соседство ископаемых остатков можно объяснить тектоническими процессами, обеспечив-

шими резкое изменение относительного уровня моря и, как следствие, смену обстановки осадконакопления.

Необходимо обратить внимание, что в северо-западном направлении на месторождении происходит наращивание не только БС, но и развитие клиноформ ачимовского возраста. Говоря о сонаправленном изменении толщин разновозрастных комплексов и пространственной ориентации блоков разрывных нарушений, следует сделать предположение о едином тектоническом режиме, существовавшем в верхнеюрское — неокмское время. На основе подобного взаимоотношения ачимовских клиноформ и подстилающих битуминозных отложений предлагается рассмотреть гипотезу о выделении БС в нулевую или начальную стадию развития клиноформного комплекса, связанную с проявлением цветковой (клавишной) тектоники. В таком случае разрывные нарушения являются конседиментационными, испытывавшими периодическую реактивацию, а клавишное погружение отдельных блоков вдоль них обеспечило образование клиновидных структур в разрезе БС. Центральное место влиянию на процесс седиментогенеза БС и ачимовских клиноформ отведено клавишной тектонике в исследованиях И.С. Гутмана и др. [2, 3, 5].

Выводы

На Южно-Тамбейском месторождении разрез БС по данным каротажа удалось разделить на три пачки. Верхняя и нижняя имеют предположительно схожий литологический состав и близкое по количеству содержание органического вещества, что выражается в аналогичной конфигурации кривых ГИС. Средняя пачка характеризуется повышенной глинистостью с уменьшенной долей керогена. Отличия в строении и условиях залегания свиты по площади месторождения обусловили проведение типизации разреза с выделением двух основных типов. Первый тип представляет наиболее полный комплекс пород и содержит в своем разрезе все 3 пачки. Второй тип связан с выклиниванием верхней пачки в центральной части месторождения в юго-восточном направлении при сохранении в составе двух нижних. Типизация разреза позволила подобрать алгоритмы корреляции и сформулировать подходы к прослеживанию границ свиты, которые могут иметь важное значение для множества нефтегазовых месторождений полуострова Ямал. Здесь стоит отметить главную особенность выделения кровли баженовского горизонта по падению ГК и пониженным УЭС

для второго типа разреза, что является нехарактерным способом геометризации для территории Западной Сибири. Региональную корреляцию БС в пределах Ямало-Гыданской нефтегазоносной области следует пересмотреть с учетом приведенных уточнений.

При изучении морфологии залегания БС выявлено клиновидное строение с развитием толщи в северо-западном направлении. Ориентация изменения толщины баженовских пород совпадает с основным азимутом простираения разрывных нарушений и проградации ачимовской толщи. Наличие указанной закономерности позволяет предполагать, что активная тектоника, проявившая себя в верхнеюрское-нижнемеловое время, определила историю осадконакопления. По данным интерпретации СРР ЗД МОГТ на Южно-Тамбейском месторождении выявлено большое

количество тектонических нарушений, сформировавших цветковые структуры. Результаты первоочередного бурения доказывают, что изменение толщины БС хорошо ассоциируется с расположением скважин в отдельных тектонических блоках. Подчиненность процессов седиментации БС конседиментационным эндогенным причинам кажется очевидной на данной стадии изученности месторождения.

По мере роста объемов глубокого поисково-разведочного и эксплуатационного бурения на крайнем севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции механизмы осадконакопления, связанные с тектоникой, будут уточняться. Увеличение выборки данных позволит более точно скорректировать представления о процессах осадконакопления, происходивших на рубеже эпох юра-мел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брадучан Ю.В., Гулари Ф.Г., Захарова В.А. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 217 с.
2. Качкина Е.А., Гутман И.С., Саакян М.И., Скачек К.Г. Аномальные разрезы баженовской свиты и ачимовские клиноформы как результат, соответственно, разломной и пликтивной тектоники. Часть I // Недропользование XXI век. 2016. № 2(59). С. 48—59.
3. Качкина Е.А., Гутман И.С., Саакян М.И., Скачек К.Г. Аномальные разрезы баженовской свиты и ачимовские клиноформы как результат соответственно разломной и пликтивной тектоники. Часть II // Недропользование XXI век. 2016. № 3(60). С. 70—82.
4. Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А. и др. История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3—4. С. 423—444. DOI: 10.15372/GiG20170307
5. Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин / Под ред. проф. И.С. Гутмана. М.: Издательский дом «Недра», 2013. 112 с.
6. Панченко И.В. К вопросу возраста и корреляции кровли баженовского горизонта Западной Сибири. Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: материалы Десятого Всеросс. совещания, г. Магадан, 20—25 сентября 2020 г. / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, А.Ю. Гужикова. Магадан: ОАО «МАОБТИ», 2020. С. 196—200.
7. Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 7. С. 1053—1074.
8. Скоробогатов В.А., Строганов Л.В., Копеев В.Д. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: «Недра-Бизнесцентр», 2003. 352 с.
9. Ступакова А.В., Стафеев А.Н., Суслова А.А., Гиляев Р.М. Палеогеографические условия в Западно-Сибирском бассейне в титоне — раннем берриасе // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016. № 6. С. 10—19.
10. Harland W.B. Tectonic transpression in Caledonian Spitsbergen / Geological magazine. 1971. Vol. 108. P. 27—42. DOI: 10.1017/S0016756800050937

REFERENCES

1. Braduchan Ju.V., Gurari F.G., Zaharova V.A. et al. Bazhenov formation of West Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1986. 217 p. (In Russian).
2. Kachkina E.A., Gutman I.S., Saakjan M.I., Skachek K.G. Abnormal interval of Bazhenov formation and Achimov clinoforms as a result of fault and plicative tectonics. Part I. Nedropolzovanie XXI vek — Subsoil use XXI century, 2016, no. 2(59). pp. 48—59. (In Russian).
3. Kachkina E.A., Gutman I.S., Saakjan M.I., Skachek K.G. Abnormal interval of Bazhenov formation and Achimov clinoforms as a result of fault and plicative tectonics. Part II. Nedropolzovanie XXI vek — Subsoil use XXI century, 2016, no. 3(60), pp. 70—82. (In Russian).
4. Kontorovich V.A., Ajunova D.V., Gubin I.A., et al. Tectonic development history of the arctic onshore and offshore of the gas and oil West Siberia province // Geology and Geophysics. 2017. T. 58. No. 3—4. P. 423—444. (In Russian).

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

5. Methodological recommendations of the detailed correlations / Ed. I.S. Gutman. Moscow: Nedra Publ., 2013. 112 p. (In Russian).
6. Panchenko I.V. To the question of age and Bazhenov formation top correlation of West Siberia. Cretaceous system of Russia and neighboring countries: problems of stratigraphy and Paleogeography: Materials of the Tenth All-Russian Meeting, Magadan, 20—25 September 2020 / Eds. Baraboshkin, A.Yu. Guzhikov. Magadan: MAOBTI, 2020. P. 196—200. (In Russian).
7. Ryzhkova S.V., Burshtejn L.M., Ershov S.V., et al. Bazhenov formation of West Siberia: structure, correlation, thickness // Geology and Geophysics. 2018. T. 59. No. 7. P. 1053—1074. (In Russian).
8. Skorobogatov V.A., Stroganov L.V., Kopeev V.D. Geological structure and oil and gas of Yamal. Moscow: Nedra-Biznescentr, 2003. 352 p. (In Russian).
9. Stupakova A.V., Stafeev A.N., Suslova A.A., Gilaev R.M. Paleographic conditions in the West Siberian basin in Tithonian-Early Berrias. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 4. Geologiya — Moscow University Bulletin. Series 4. Geology. 2016, No. 6, pp. 10—19. (In Russian).
10. Harland W.B. Tectonic transpression in Caledonian Spitsbergen / Geological magazine. 1971. Vol. 108. P. 27—42. DOI: 10.1017/S0016756800050937

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рассказов А.А. — собрал данные поисково-разведочного бурения и материалы сейсморазведочных работ для подготовки статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Anatoly A. Rasskazov — collected data from exploration drilling and seismic survey materials for the preparation of the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рассказов Анатолий Александрович — заместитель начальника управления геологии ОАО «Ямал СПГ».
e-mail: a.rasskazov@yamalspg.ru
тел.: +7 (916) 040-65-51

Anatoly A. Rasskazov — Deputy Head of the Geology Department of Yamal LNG OJSC.
e-mail: a.rasskazov@yamalspg.ru
tel.: +7 (916) 040-65-51

Потемкин Григорий Николаевич* — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора по геологии ООО «ИПНЭ», доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
e-mail: potemkin@ipne.moscow
тел.: +7 (926) 612-37-77
SPIN-код: 4229-0832
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

Grigory N. Potemkin* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Deputy General Director for Geology of IPNE LLC, Assoc. Prof. of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
e-mail: potemkin@ipne.moscow
tel.: +7 (926) 612-37-77
SPIN-code: 4229-0832
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7178-1286>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-33-46>
УДК 553.98(575.4)



ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА В ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ОТЛОЖЕНИЯХ АКВАТОРИИ ЮЖНОГО КАСПИЯ

У.С. СЕРИКОВА, М.А. АЛЛАЗАРОВА*

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье представлены результаты геолого-геофизических работ и анализ проделанного моделирования Южно-Каспийского бассейна.

Цель. Моделирование углеводородных систем туркменского сектора Южно-Каспийского бассейна.

Материалы и методы. Статистическое обобщение и систематизация данных и материалов, частично заимствованных из справочной литературы, фондовых источников, промысловых данных и опубликованных работ Ш.Ф. Мехтиева, И.С. Гулиева, М.З. Рачинского, С.С. Джибути, С.А. Алиева, В.Ю. Керимова, В.В. Колодия и др. Моделирование данных в программном обеспечении PetroMod.

Результаты. По результатам моделирования были сделаны выводы, что к настоящему времени вся промышленная нефтегазоносность в регионе позиционирована в основном за внешним периметром глубоководной области акватории в виде приближенной по конфигурации к кольцевой полосе, ширина которой достигает 20—50 км. Также определено, что все месторождения генетически и пространственно сопряжены с зонами проявлений высокой макро- и микросейсмичности трещин отдельности, заполненных гидротермальными агрегатами.

Ключевые слова: Южный Каспий, Каспийское море, азербайджанский сектор, туркменский сектор, иранский сектор, Южно-Каспийский бассейн, Южно-Каспийская впадина, нефть, газ, моделирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Серикова У.С., Алланазарова М.А. Перспективы поисков месторождений нефти и газа в глубокозалегающих отложениях акватории Южного Каспия. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):33—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-33-46>

Статья поступила в редакцию 26.02.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

OIL AND GAS PROSPECTS IN DEEP DEPOSITS OF THE SOUTH CASPIAN WATER AREA

ULYANA S. SERIKOVA, MEHRIBAN A. ALLANAZAROVA*

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

ABSTRACT

Background. In this paper, we present the results of geological and geophysical works and an analysis of the conducted simulation of the South Caspian Basin.

Aim. Simulation of hydrocarbon systems of the Turkmen sector of the South Caspian basin.

Materials and methods. Statistical generalization and systematization of data and materials from reference literature, fund sources, field data and published works of Sh.F. Mekhtiev, I.S. Guliyev, M.Z. Rachinsky, S.S. Djibouti, S.A. Aliev, V.Yu. Kerimov, V.V. Kolodiya and others. Simulation was performed in the PetroMod software.

Results. The conducted simulation showed that the entire commercial oil and gas potential in the region is positioned mainly outside the outer perimeter of the deep-water area, in the form of an annular strip with the width 20–50 km. All the deposits were found to be genetically and spatially associated with the areas of high macro- and micro-seismicity of slip joints filled with hydrothermal aggregates.

Keywords: South Caspian, Caspian Sea, Azerbaijani sector, Turkmen sector, Iranian sector, South Caspian basin, South Caspian basin, oil, gas, modeling

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

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

For citation: Serikova U.S., Allanazarova M.A. Oil and gas prospects in deep deposits of the South Caspian water area. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):33–46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-33-46>

Manuscript received 26 February 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

* Corresponding author

Введение

Опыт и результаты геолого-разведочных работ в большинстве нефтегазоносных бассейнов мира показывают, что углеводородный (УВ) потенциал диапазона глубин до 5–7 км к настоящему времени в достаточной степени изучен и дальнейшие основные перспективы добычи нефти и газа связаны с более глубоко погруженными (8–12 км) комплексами, находящимися в специфической геологической обстановке, позволяющей реализовывать генерацию, миграцию флюидов и аккумулировать УВ в природных резервуарах.

Современные техника и технология буровых работ уже позволяют без особо больших сложностей проводить сверхглубокие скважины до глубины 8–12 км. Убедительными

примерами могут служить проведенные продуктивные поисково-оценочные скважины: скв. 1 пл. Ralph Lowe — 8692 м (Пермский бассейн); скв. 1 — SL-5407 — 7803 м (шт. Луизиана); скв. 1 — EE пл. University — 8686 м; скв. 1 пл. Baden Unit — 9159 м; скв. 1 пл. Bertha Rogers — 9583 м; (все — бассейн Анадарко, США); скв. Jacobs-1 — 7554 м; скв. 1 пл. Tiber, открывшая в акватории Мексиканского залива на глубине 10 685 м в палеоцен-эоценовых отложениях (серия Lower Tertiary) крупнейшее месторождение нефти с запасами в 640–950 млн м³ (обе — бассейн Gulf Coast) (все — США); скв. BD-04A пл. Al Shaheen — 12 289 м (длина горизонтального ствола 10 902 м (Месопотамский бассейн, Персидский залив, Катар)); скв. OP-11 пл.

Одопту — 12 345 м (длина горизонтальной части ствола 11 475 м (шельф о. Сахалин, РФ)). [15]

В этом плане значительный интерес представляет и Южно-Каспийский бассейн (ЮКБ), (рис. 1, 2), онshoreная часть которого до глубины порядка 5 км, шельф и пришельфовая акватория в пределах изобат до 200 м и глубин порядка 6—7 км, отвечающих гипсометрии подошвы мощной (до 5 км) терригенной глинисто-песчаной нижнеплиоценовой продуктивной (красноцветной) толщи (ПК, КТ) до 6,5—7 км, практически

достаточно полно изучены, и дальнейшие основные перспективы региона могут быть связаны главным образом с центральной глубокопогруженной зоной Южного Каспия с гораздо большей батиметрией морского дна (до 900—1000 м) и глубинами залегания (до 8,5 км) потенциально нефтегазонасыщенных объектов (ПТ, КТ) — основного УВ содержащего интервала, а также отложениями юрского, мел-эоценового и олигоцен-миоценового возрастов с глубиной залегания кровли комплекса свыше 9 км мезокайнозойского

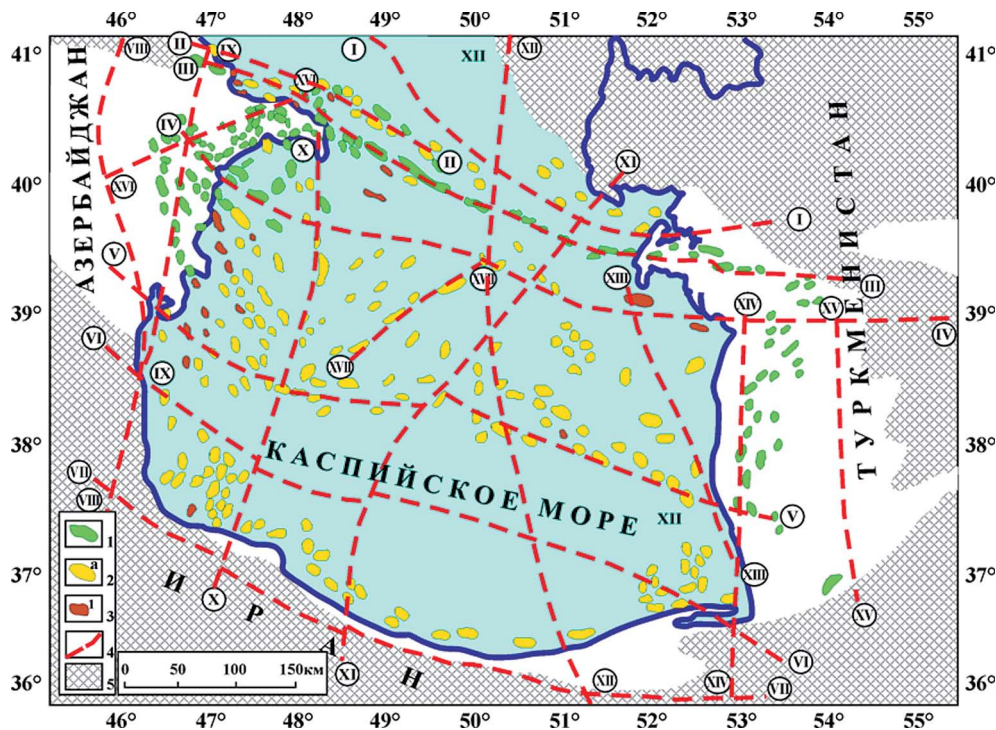


Рис. 1. Обзорная схема фонда структур нефтегазоносности и региональной тектоники Южно-Каспийской впадины

Условные обозначения: 1 — месторождения нефти, газа и конденсата; 2 — неопроискованные структуры, 3 — площади, не давшие положительных результатов при разведке; 4 — региональные разломы и разрывы; 5 — неперспективные земли.

Глубинные разломы: I—I — Дербент-Красноводский; II—II — Северо-Апшеронский; III—III — Апшероно-Прибалханский; IV—IV — Сангачал-Огурчинский; V—V — Мильско-Чикишлярский; VI—VI — Предмалокавказский; VII—VII — Предэльбрусский; VIII—VIII — Западно-Каспийский; IX—IX — Восточно-Азербайджанский (Яшминский); X—X — Шахово-Азизбековский; XI—XI — Сефидруд-Карабогазский; XII—XII — Центрально-Каспийский; XIII—XIII — Огурчино-Чикишлярский; XIV—XIV — Западно-Туркменский; XV—XV — Аладаг-Месерианский; XVI—XVI — Аджикабул-Мардакянский; XVII—XVII — вала Абиха

Fig. 1. Overview diagram of the fund of structures of oil and gas potential and regional tectonics of the South Caspian depression

Symbols: 1 — oil, gas and condensate fields; 2 — undiscovered structures, 3 — areas that did not give positive results during exploration; 4 — regional faults and ruptures; 5 — unpromising lands.

Deep faults: I—I — Derbent-Krasnovodsk; II—II — North-Absheron; III—III — Absheron-Balkhansky; IV—IV — Sangachal-Ogurchinsky; V—V — Milsko-Chikishlyar; VI—VI — Pre-Caucasian; VII—VII — Pre-Elbursian; VIII—VIII — Western-Caspian; IX—IX — East Azerbaijan (Yashmin); X—X — Shakhovo-Azizbekov; XI—XI — Sefidrud-Karabogaz; XII—XII — Central Caspian; XIII—XIII — Ogurchino-Chikishlyar; XIV—XIV — West Turkmen; XV—XV — Aladag-Meserian; XVI—XVI — Adjikabul-Mardakian; XVII—XVII — Vala Abiha

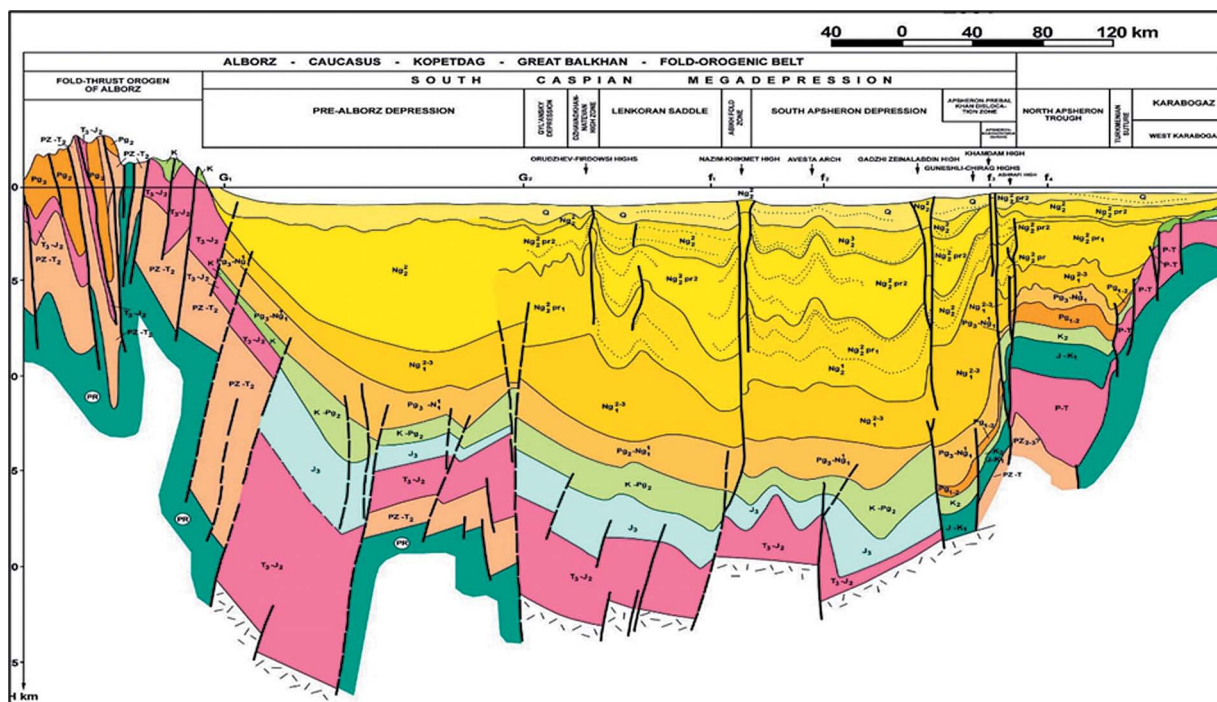


Рис. 2. Южно-Каспийский бассейн. Образование осадочного чехла огромной мощности в центральной части бассейна (по последним данным, до 30 км)

Fig. 2. The South Caspian basin. The formation of a sedimentary cover of enormous capacity in the central part of the basin (according to recent data up to 30 km)

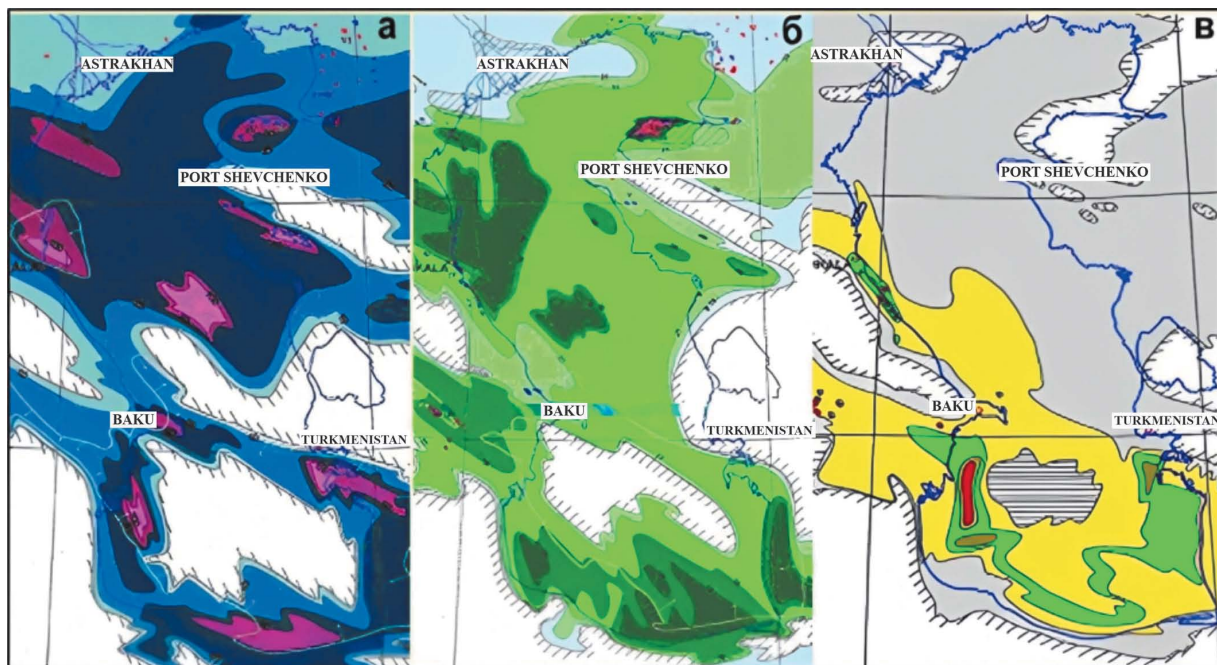


Рис. 3. Ареалы распространения глубоких углеводородных систем в акватории Каспийского моря с залеганием кровли углеводородной системы на глубине свыше 7 км: а — юрского возраста; б — мел-эоценового возраста; в — олигоцен-миоценового возраста с глубиной залегания кровли комплекса свыше 9 км

Fig. 3. Distribution areas of deep hydrocarbon systems in the Caspian Sea with the occurrence of the roof of the hydrocarbon system at a depth of more than 7 km: а — Jurassic age; б — Cretaceous-Eocene age; в — Oligocene-Miocene age with a depth of the roof of the complex over 9 km

осадочного разреза бассейна толщиной 30—32 км (рис. 3).

Южно-Каспийский бассейн характеризуется ступенчато-блоковой тектоноархитектурой; доминированием мощных субвертикальных межформационных и межрезервуарных пульсационно-инъекционных флюидомассоперетоков; лавинным осадконакоплением в верхний плиоцен-четвертичное время (скорость седиментации на отдельных участках и в некоторых временных интервалах — до 1000—1200 м/млн лет); вполне удовлетворительными коллекторскими и фильтрационными свойствами; весьма низкой прогреваемостью (температуры — до 150 °С), препятствующей термодеструкции жидких и газообразных УВ; активным подводным грязевым вулканизмом; высокой сейсмичностью; многочисленными космодистанционно фиксируемыми проявлениями на поверхности водной среды разнофазных природных УВ; другими геофизическими признаками турбулентности глубоководной геологической среды [3].

Результаты исследований

С целью исследования и анализа процессов генерации, миграции и аккумуляции УВ на больших глубинах Южно-Каспийского бассейна была проведена реконструкция условий развития этих процессов в течение всей геологической истории путем моделирования углеводородных систем [1]. Результаты исследований были интегрированы в двух- и трехмерных моделях УВ систем (рис. 4) больших глубин с учетом геодинамики и геофлюидодинамики исследуемых регионов. Результаты моделирования позволяют сделать вывод: наряду с другими факторами, важное значение для генерации ОВ в нефть и расположения главной зоны нефтегазообразования (ГЗН) имеют скорость осадконакопления и погружения бассейна. Накопление осадочного чехла характеризуется различными скоростями и связано с темпом прогибания и объемом осадочного заполнения бассейна [10].

Влияние скоростей прогибания и осадконакопления на кинетику процессов генерации УВ

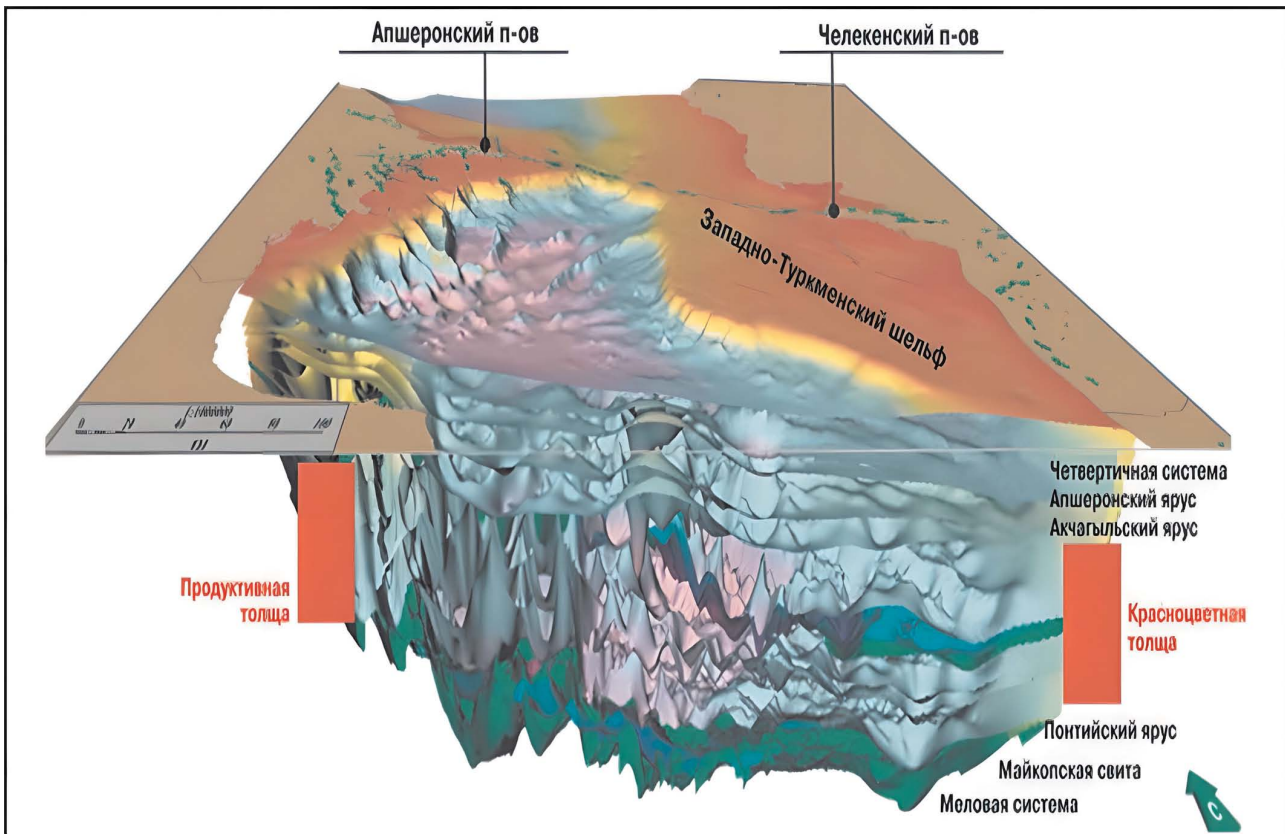


Рис. 4. Модель Южно-Каспийского бассейна (использованы материалы В.Ю. Керимова, Б.В. Сенина, Е.Н. Торопова, Conoco Philips и др.)

Fig. 4. Model of the South Caspian basin (materials of V.Yu. Kerimov, B.V. Senin, E.N. Toropov, Conoco Philips, etc. were used)

показано на примере Южно-Каспийской впадины (ЮКв), которая характеризуется высокими и сверхвысокими скоростями осадконакопления, что было выявлено в результате моделирования история погружения. Согласно модели скоростей седиментации Южно-Каспийской впадины (рис. 5) выявлена следующая картина погружения бассейна: в средне-позднеюрскую эпоху — 50—60 м/млн лет; в меловом периоде — 10—20 м/млн лет; к началу олигоцена — 5—8 м/млн лет; в олигоцен — раннем миоцене 30—40 м/млн лет, в плиоцене скорость тектонического прогибания превысила 2000 м/млн лет. Большие мощности осадочного комплекса, накопленные в особенности в плиоцен-четвертичное время (5,3 млн лет), были связаны с пониженным базисом эрозии бассейна,

устойчивым погружением, с высокими скоростями седиментации, а также с деятельностью Палео-Волги, Палео-Куры, Палео-Узбоя и Палео-Аму-Дарьи, т.е. привнесом громадного объема осадочного накопления. Вышеназванные условия развития бассейна оказали весьма серьезное влияние на физико-химическую скорость процессов генерации УВ в ЮКв [2].

Установленный различными видами геолого-геофизических и буровых работ фонд локальных структур ПТ (КТ) акватории региона (148,6 тыс. км²) насчитывает 275 поднятий, из которых пребывало в разведке, открыто месторождений и площадей с притоками УВ различной интенсивности, соответственно, 41 и 26; текущие коэффициенты разведанности и успешности составляют 0,316 и 0,149.

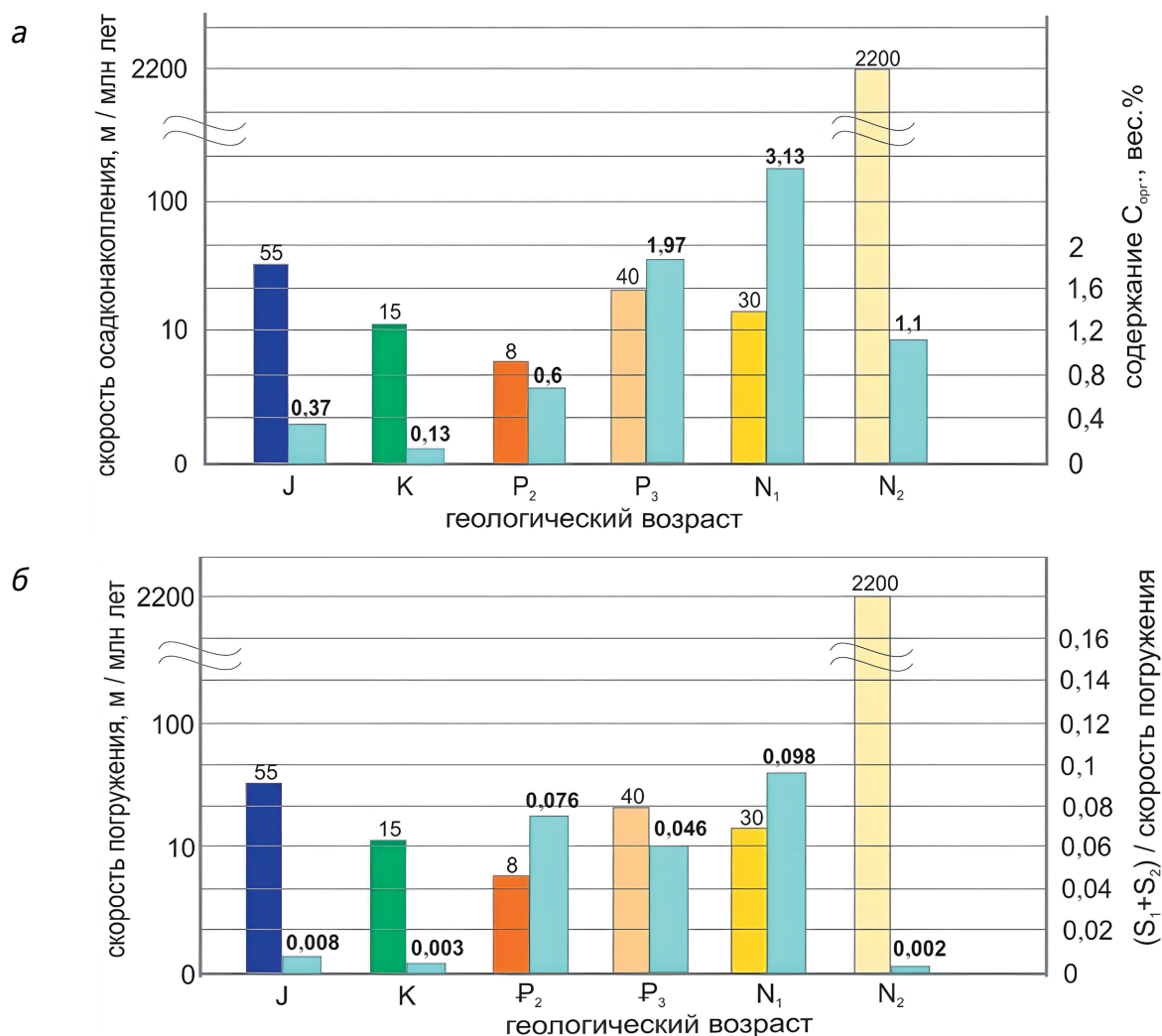


Рис. 5. График зависимости $S_{орг}$ от скорости осадконакопления (а) и генерационного потенциала отложений от скорости погружения (б) для ЮКв

Fig. 5. Graph of the dependence of the $S_{орг}$ on the sedimentation rate (а) and the generation potential of sediments on the immersion rate (б) for the SCb

Общее количество неопроискованных структур — 188 (68,4%). [7] Из приведенных цифр следует, что в глубоководной, практически абсолютно неопроискованной и неразведанной центральной части впадины Южного Каспия при соблюдении всех необходимых и достаточных условий (см. ниже) открытие новых месторождений нефти, газа и конденсата наиболее вероятно [11].

В азербайджанском секторе Южного Каспия геолого-геофизическими и буровыми работами, по состоянию на настоящее время, установлен общий фонд локальных поднятий в количестве 149, в числе которых опроискованных и разведанных площадей 68 (в т.ч. 28 открытых месторождений различного фазового состояния); коэффициенты разведанности и успешности составляют, соответственно, 0,456 и 0,188. Неопроискованных структур — 81 (54,3%). Столь высокая величина разведанности обусловлена тем обстоятельством, что основной объем ГРП в акватории сектора был реализован в относительно узкой шельфовой и материкового склона полосе, не превышающей по ширине 15—25 км, в то время как во много раз превышающей ее по площади глубоководной впадине Каспия (площадь около 43 тыс. км²) величина коэффициента разведанности этой части акватории существенно меньше — 0,186. Для района характерен весьма широкий диапазон экспертных оценок начального геологического УВ потенциала — 5,76—30 млрд т н.э., что отражает влияние как очевидных погрешностей геолого-методологического плана, так и геополитических компонент [5].

До настоящего времени наиболее глубокими поисково-оценочными скважинами в азербайджанской акватории являются: скв. 4 пл. Умид — 6755 м (глубина моря 50—200 м); скв. 2 пл. Абшерон — 6875 м (глубина моря 250—650 м); скв. 1 пл. Нахчыван — 6746 м (глубина моря 200—300 м); скв. 2 пл. Зафар-Машад — 7087 м (глубина моря 450—950 м); скв. SDX-4 пл. Шахдениз — 7301 м (глубина моря 70—650 м) [17]. Первые четыре скважины при тестировании коммерчески привлекательных в отношении промышленной нефтегазоносности объектов пока не установили; на месторождении Шахдениз разведанные запасы природного газа составляют 1,2 трлн м³, конденсата 240 млн т (1,44 млрд т н.э.). В последнее время операторами Абшерон и Умид заявлено об обнаружении в ПТ этих площадей на глубинах, не превышающих 6500 м, значительных объемов газа и конденсата. Помимо всех выше-названных поднятий, весьма перспективными,

по оценкам местных геологов, представляются также неопроискованные структуры Бабек (глубина моря 100—300 м), Шафак Асиман (глубина моря 650—800 м). Суммарно только по всем указанным первоочередным для постановки поисково-разведочных работ площадям ими прогнозируются ресурсы в объеме 2,05 трлн м³ газа и 310 млн т конденсата (2,36 млрд т н.э.) [6].

В туркменской акватории Южного Каспия комплексом геолого-геофизических работ бурения выявлено 76 локальных структур, в том числе 14 опроискованных и разведанных, (в т.ч. 9 нефтегазовых, газонефтяных и газоконденсатно-нефтяных месторождений), что определяет значение коэффициентов разведанности и успешности, соответственно, 0,184 и 0,118. Фонд неопроискованных поднятий — 62, или 82%. Самой глубокой скважиной являлась скв. 2 пл. Огурджи (Туркменская структурная терраса) с забоем 5732 м в верхнем отделе КТ, не показавшая в своем разрезе признаков реального промышленного УВ насыщения. Непродуктивными оказались и все другие 5 скважин пл. Огурджи. Западный Ордекли этого же района; скв. 1 пл. Туркменабат (бывш. пл. Ферсмана) — восточный сегмент субширотного Сары Чекичлерского прогиба, все не дошедшие до низов КТ и даже не вскрывшие основные регионально нефтегазоносные объекты — VIII горизонт КТ (стратиграфический аналог свиты «перерыва» ПТ), IX, X горизонты, расположенные примерно на 800—1000 м вверх от подошвы КТ. Изученный во всех скважинах разрез верхнего отдела КТ представлен пологими малоамплитудными (до 300—350 м) поднятиями с весьма частым неоднородным линзовидным пространственно невыдержанным чередованием песчаных, алевролитовых и глинистых пластов толщинами не более 10 м (гызилгумская фация КТ, фация Палео-Аму-Дарьи и Палео-Узбоя), что явно не может обеспечить наличия в нем высокоамплитудных резервуаров и аккумуляцию в них сколько-нибудь значительных объемов УВ [8]. Что касается перспектив невоскрытого нижнего отдела КТ в первых двух районах, то их также следует оценивать не особо благоприятными исходя из аналогичного качества коллекторов и их относительно пониженной нефтегазо-насыщенности на сопредельных месторождениях соседней к востоку оншорной Гогерендаг-Чекичлерской зоны поднятий, выполненной в своей южной части малопривлекательной в отношении крупномасштабной нефтегазоносности горга-но-атрекской фацией. Современное состояние сырьевой базы КТ туркменского сектора Южного

Каспия характеризуется весьма широким диапазоном экспертных оценок начального извлекаемого УВ потенциала — 0,4—18,4 млрд т н. э. (максимальные величины потенциала 16,5—18,4 млрд т н. э., естественно, декларируются государственными структурами), что порождает значительные неопределенности в оценке перспектив его нефтегазоносности, ориентации и последовательности ГРП, максимизирует геологические, технологические и экономические риски [4].

В иранской части акватории Южного Каспия к настоящему времени геолого-геофизическими и различного рода буровыми работами установлено наличие 50 локальных поднятий (в т.ч. блоки Мехр, Анаран, Моган), из которых пребывало в процессе поисков и разведки 5; неопределено 45 структур — 90%. Иранской стороной, по неподтвержденным данным, утверждается открытие 4 месторождений УВ; коэффициент успешности в этом случае составляет 0,08%, общее число пробуренных скважин — 13. Характерной особенностью района являются весьма высокие узкость шельфа и крутизна континентального склона [9]. В пределах иранской части глубоководной впадины Южного Каспия широким распространением пользуется южнокаспийская фация ПТ, характеризующаяся мелкозернистостью осадков, повышенной глинистостью, пространственной неоднородностью (невыдержанностью по площади и разрезу). На участках субширотных Сары-Чекчи-Чирского и Лянкярано-Горганского структурных поясов в связи с возрастанием роли местных источников сноса терригенного материала (горные сооружения Талыша, Эльбруса, Копетдага) литофациальный облик ПТ (КТ) претерпевает значительные негативные трансформации, выражающиеся в развитии здесь специфических талышской, решт-сефидрудской, предэльбрусской, горганской, атрекской ее подфаций, характеризующихся слабой отсортированностью осадков, резким сокращением их мощности, весьма высокой глинистостью (до 95%), ухудшением фильтрационно-емкостных показателей [14].

Наиболее глубокой (5570 м) до последнего времени считалась проведенная еще в конце 1960-х годов азербайджанскими организациями непродуктивная скв. Хазар-1 пл. Энзели-море. По наиболее авторитетным экспертным оценкам (Energy Information Administration of US Department of Energy, 1996; U.S. Geological Survey World Petroleum Assessment, 2000; BP Statistical Review of World Energy, 2005; Российский центр ГЕОН, 2004; Министерство природных ресурсов РФ,

2010), углеводородный потенциал региона составляет от 1,00 до 3,09 млрд т н. э. [18]. Следует подчеркнуть, что информация по Ирану носит почти полностью закрытый характер, и известно лишь, что ГРП в его части Южного Каспия проводили иранская национальная компания ИННК (NIOC) с участием британской фирмы Lasso и англо-голландской Royal Dutch/Shell, а также консорциум LUKoil Overseas — Norsk Hydro (блок Анаран — пл. Азар, Дехлоран, Шангуле — Вест, Мусиан). Несмотря на известные отдельные отрицательные результаты опробования ряда скважин, тем не менее, по нуждающимся в уточнении заявлениям Министерства нефти: «В последние годы в иранских территориальных водах Южного Каспия в ходе ГРП, охвативших площадь 10 тыс. км², обнаружены богатые месторождения нефти и газа, геологические запасы которых оцениваются ИННК в 10 млрд бар нефти (1,35 млрд т) и 560 млрд м³ газа» [интернет-изд. IRAN.ru 2005].

Обсуждение результатов

Анализ распределения УВ насыщения в акватории Южного Каспия показывает, что:

- практически вся выявленная к настоящему времени промышленная нефтегазоносность в регионе позиционирована в основном за внешним периметром глубоководной области акватории в виде приближенной по конфигурации к кольцевой полосе шириной 20—50 км, охватывающей как оншорную зону, бортовых обрамлений бассейна, так и непосредственно прилегающих шельфа и материкового склона с батиметрией до 200—220 м;
- разведанные «пустые» структуры бассейна окаймляют внешний периметр центральной глубоководной впадины Южного Каспия;
- в пределах бассейна все выявленные месторождения и площади с установленной нефтегазоносностью всегда обязательно пространственно ассоциируются с зонами (ареалами, участками, пунктами, очагами) дренажа гидродинамических субсистем, осуществляемого в ходе мощной вертикальной миграции флюидов по плоскостям проводящих дизъюнктивов, эруптивам грязевых вулканов, контактам диапировых внедрений с вмещающими породами, литофациальными несогласиями («гидрогеологического окна»), зонами повышенной трещиноватости и другим нарушениям сплошности пород;
- все месторождения генетически и пространственно сопряжены с зонами проявлений высокой макро- и микросейсмичности трещин отдельности, заполненных гидротермальными

агрегатами, кварцитами, вторичными цементами порово-трещинного пространства; крупномасштабного грязевого вулканизма, гидрогеохимических, положительных геотемпературных, палинологических, изотопных свкозных субвертикальных переточно-инъекционных аномалий и гидродинамических дренажных пьезоминимумов, вещественно выражающихся в виде присутствия на дневной поверхности почти каждой структуры субмаринных выходов нефти, газа и подземных вод; соленых озер глубинного питания, зон резко повышенных против фоновых геотемператур, пятен несингенетичных разрезу подземных вод, восходящих минерализованных термальных источников, неков, натеков травертинов, кира, асфальта, озокерита, солончаков;

- в направлении от бортовых обрамлений бассейна к его центральной глубоководной котловине (по мере роста толщин перекрывающего верхний плиоцен-четвертичного комплекса и соответствующего погружения поверхности ПТ (КТ)) нефтегазоносность локальных структур закономерно уменьшается до практически полного отсутствия УВ насыщения;

- в акваториальной части бассейна до настоящего времени не выявлено ни одно месторождение, где поверхность ПТ (КТ) на своде поднятия залегала бы на глубинах, превышающих 1700—1750 м (Кровля ПТ (КТ) на непродуктивных пл. Сейяр — 2980, Нахчыван — 2000, Зафар-Машал — 3200, Абшерон — 2400, Огурджи — 3000, Западно-Ордекли — 2800, Туркменабат — 3800, Энзели-море — 2400 м). (Единственным исключением является осложненное крупномасштабными дизъюнктивами и грязевым вулканизмом месторождение Шахдениз с глубиной залегания кровли ПТ 1875 м на своде поднятия, расположенного непосредственно на региональном Шахово-Азизбековском глубинном линеаменте, секущем весь осадочный чехол Южного Каспия.)

Оценка указанных объективных геологических условий нефтегазоносности ЮКБ приводит к заключению, что она подчиняется общесейноному принципу доминирования флюидодинамических механизмов в формировании и размещении УВ скоплений. Теоретическую основу флюидодинамической концепции формирования и размещения нефтегазоносности составляют следующие имманентные принципы:

1) основным условием, обеспечивающим формирование скоплений нефти/газа в природном резервуаре, является обязательное предварительное освобождение его пустотного пространства

(порового/трещинного) от ранее заполнявших сингенетичных седиментогенных подземных вод и создания, таким образом, свободных аккумулярующих объемов, способных к насыщению мигрирующими из зон и очагов генерации УВ — «без предварительной эмиграции подземных вод нет последующей миграции и аккумуляции углеводородов»;

2) в любой тектоно-структурной, стратиграфической, литофациальной обстановке геологические тела приобретают способность природных резервуаров (ловушек) УВ исключительно при реализации их гидродинамического дренажа;

3) нефтегазоносность локальных поднятий (антиклинальных зон, тектонических поясов, района, регионов, бассейна) всегда является многокритериальной интегральной функцией сложного сочетания многочисленных количественных аргументов, характеризующих структурно-тектонические условия ловушек, историю их геологического развития, литофациальные и фильтрационно-емкостные особенности разрезов, гидродинамические и гидрохимические обстановки аккумулярующих УВ геологических тел, геотермический и барический режимы осадочной толщи.

В этой связи *обязательно необходимым и исключительно важным* является понимание того обстоятельства, что в поисково-разведочном процессе основными критериями являются не только облигатный квартет общегеологических качественных показателей — потенциально нефтегазопроизводящие породы, коллекторы, ловушки, экраны, характеризующие лишь *гипотетическую вероятность* присутствия промышленных УВ, но главным образом строгие, индивидуальные для каждого региона (района, тектонической зоны) количественные взаимоотношения структурно-тектонических, литофациальных, фильтрационно-емкостных, гидродинамических, гидрохимических и геотермобарических параметров природных резервуаров, определяющие *реальную по времени возможность* их заполнения нефтью или газом. Региональное нефтегазонасыщение каких-либо свит и горизонтов, наличие удовлетворительных порово-трещинных емкостей — коллекторов, ловушек, мощных покрышек, присутствие в разрезе УВ генерирующих интервалов является сочетанием лишь *необходимых*, но отнюдь *не достаточных* факторов для формирования промышленной нефтегазоносности; первый из названных факторов определяет только *вероятность* события, второй — его *возможность*.

Приведенные выше объективные геологические факты однозначно свидетельствуют

об обязательности учета присутствия или отсутствия в разрезах, оцениваемых как перспективные площади (зон, участков, тектонических блоков-ступеней) ЮКБ каналов миграции флюидов от глубокопогруженных очагов их генерации до зон нефтегазоаккумуляции. В регионе такими каналами, очевидно, являются зоны повышенной трещиноватости, контактов диапировых внедрений, эруптивы грязевых вулканов, литофациальные несогласия («гидрогеологические окна»), зоны разуплотнения пород и другие нарушения сплошности геологической среды, которые могут фиксироваться в геофизических полях в виде явной турбулентности этих участков локальной и региональной складчатости. В этом случае энергичная миграция флюидов сама формирует в осадочном чехле субвертикальные каналы гидравлической связи иногда достаточно причудливой формы, заполненные разуплотненным пластичным (иногда даже квазиоживленным) осадочным материалом, способным в благоприятных условиях обеспечить мощный глубинный природный гидроразрыв. В зависимости от интенсивности и продолжительности импульсов миграции степень разуплотнения и консистенция

осадочного материала меняются. Эти особенности отражаются на сейсмопрофилях различным «сейсмическим имиджем», что в определенной степени позволяет выявлять и даже картировать каналы миграции УВ (так называемые “gas chimney”) (рис. 6).

Общий анализ совокупности всех геологических условий, касающихся пространственного размещения промышленных запасов УВ на суше и в прилегающей офшорной зоне за внешним периметром глубоководной части Южного Каспия (батиметрия до 200—220 м), как функции флюидодинамических процессов и условий дренажа разрезов отдельных локальных структур, тектонических блоков и региональных зон нефтегазоаккумуляции приводит к заключению, что оно в самой значительной степени является производным *четвертичной* (плейстоцен-современной) фазы субвертикальной миграции водопарогазонефтяной флюидалной субстанции, генерированной глубокопогруженными нижними интервалами осадочной толщи (возможно, даже с участием коровых и подкоровых эманаций), на синхронном инверсионном этапе геологической истории бортовых обрамлений бассейна [13].

Оценивая с позиций современной геофлюидодинамики перспективы нефтегазоносности неопискованных локальных структур глубокопогруженной котловины Южного Каспия с батиметрией 250—1000 м и погружением в их пределах кровли ПТ (КТ) в интервал гипсометрических отметок (–2000)—(–4500) м, обязательно необходимым является также учет того чрезвычайно важного момента, что все «пустые» структуры, окаймляющие по внешнему периметру ступенчато-блоково построенную глубоководную зону акватории и наиболее приближенные к ее центру, объективно являются индикаторами осуществления в ПТ (КТ) генерации УВ и механизмов реализации последующих миграционно-аккумуляционных процессов [19]. В этом аспекте роль центральной ванны Южного Каспия, характеризующейся резкой глинизацией разреза ПТ (КТ) (вследствие максимальной удаленности района от областей сноса терригенного материала) и сочленяющейся с бортовыми обрамлениями бассейна посредством высокоамплитудных латерально экранирующих тектонических, стратиграфических и литофациальных несогласий, предстает достаточно ограниченной, лимитируя тем самым как перспективы выявления в ее наиболее погруженных ловушках крупных скоплений нефти/газа, так и реальность их накопления в вышезалегающих поднятиях в рамках

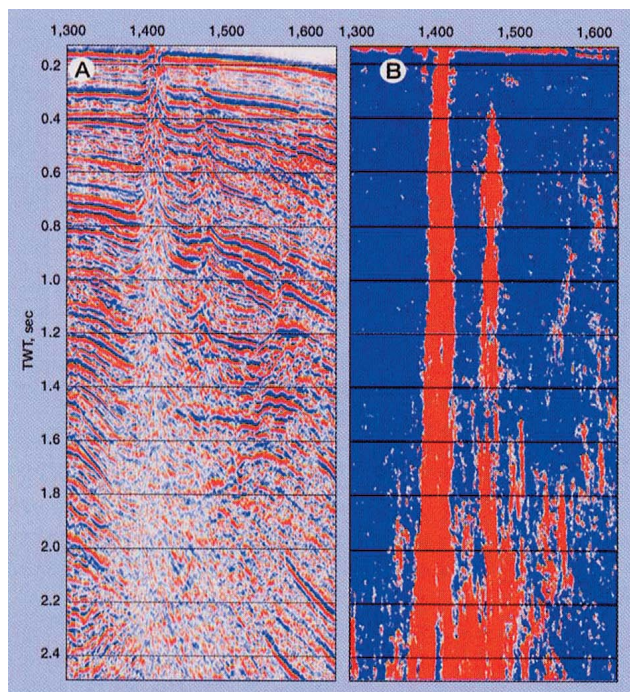


Рис. 6. Сейсмопрофили, отражающие «сейсмический имидж», позволяющий выявлять и картировать канал миграции УВ (“gas chimney”)
Fig. 6. Seismic profiles reflecting the “seismic image”, which allows to identify and map the HC migration channel (“gas chimney”)

концепции автохтонности УВ вмещающим отложениям и доминирования их перемещения по модели дифференциального улавливания («траппирования»). Подтверждением последнего является последовательный рост в направлении от бортов к центральной части бассейна напряженности гидродинамической системы ПТ (КТ) — ограничения миграционных процессов, констатируемой развитием в ней кульминационных сверхгидростатических пластовых (АВПД) и приближенных к геостатическим поровых (АВПОД) давлений. Учитывая вышеизложенное, перспективы связаны с открытием газоконденсатных месторождений, в локальных структурах глубокопогруженной котловины Южного Каспия приуроченных к достаточной степени сильно дислоцированным дизъюнктивами и грязевым вулканизмом структурным ловушкам и гидродинамически привязанным к крупным региональным разломам, обеспечивающим необходимую степень дренажа природных резервуаров, и таким образом компенсирующих негативное влияние фактора весьма глубокого залегания поверхности ПТ (КТ).

Перспективы нефтегазоносности ПТ (КТ) глубоководной ванны Южного Каспия могут быть увеличены, если при прогнозе ее УВ насыщения принять во внимание вероятность принципиально иной геологической ситуации с временем формирования ловушек и залежей. В соответствии с ней глубокопогруженные природные резервуары центральной части акватории ЮКБ имеют достаточные шансы оказаться заполненными УВ при облигатном условии, что их аккумуляция была реализована до временного интервала активной иммерсии района, т.е. до лавинной седиментации верхней апшерон-четвертичной толщи мощностью на отдельных поднятиях до 6,4 км (например, пл. Научная — 2,55, пл. Сейяр — 2,98, пл. им. Мушвига — 3,5, пл. Туркменабат — 3,8, пл. им. А. Абида — 5,6, пл. им. Натаван — 6,0, пл. им. М. Санани — 6,4 км и др.), т.е. тогда, когда поверхность ПТ (КТ) залегала на глубинах до 1700—1800 м, обеспечивающих эффективный дренажный флюидомассообмен. При таком варианте геологической обстановки необходимым элементом является завершение к этому времени становления общего тектонического плана зоны (блока, ступени), структурного и дизъюнктивного оформлений локальных поднятий. По времени все это синхронно кооперируют с главной фазой миграции УВ в масштабах всего бассейна Южного Каспия, приходящейся на плиоценовый-акчагыл-нижнеабшеронский стратиграфический диапазон.

Положительными факторами при этом могут служить вполне удовлетворительные коллекторские свойства возможно продуктивных пластов на глубинах до 8,5—9 км (если они в этом районе вообще могут присутствовать вследствие резкой глинизации разреза ПТ (КТ) в направлении от бортовой периферии бассейна к его центральной части и надежные экранирующие свойства мощной вышележающей осадочной серии, консервирующей скопления УВ [16].

В рамках развиваемых представлений теоретически мыслимым представляется также вариант геологической ситуации, когда ловушка еще не окончила свое структурное оформление в качестве природного резервуара до начала главной и завершающей фаз миграции УВ и движущиеся флюиды «проскакивали» мимо нее «без задержки» выше по региональному восстанию пластов; естественно, в этом случае ловушка окажется «пустой» даже при наличии всех других необходимых и достаточных факторов формирования УВ скоплений.

Совершенно очевидным представляется и тот случай, когда ловушка в результате явлений эрозии оказывается размытой на значительную глубину и ранее находившиеся в ней залежи оказываются полностью деградированными (месторождения Гирмаку, Фатьмаи, Хамамдадениз, Гарасу, Санги-Мугань, Ульфат и др.).

Заключение

Наиболее привлекательными для постановки ГРП представляются отдельные полосообразно ориентированные поднятия, непосредственно тяготеющие в Шахово-Азизбековскому, Центрально-Каспийскому, Сефидруд-Карабогазскому, Западно-Туркменскому меридиональным, Сангачал-Огурджынскому, Мильско-Чекичлерскому, Предмалокавказскому субширотным, диагональным вала Абиha разломам, особенно к участкам их пересечения. К таким структурам, в частности, могут быть отнесены: в зоне складчатости вала Абиha — пл. им. М. Азизбекова, пл. Шафаг, пл. Асиман, пл. им. Дж. Джабарды, пл. им. Мушвига, где глубины кровли ПТ составляют 3000—3400 м; в Сары-Чекичлерской зоне — Западно-Чекичлерская и, не исключено, пл. им. Ханлара (глубины кровли КТ — 3000—4400 м). В отношении возможной газонефтеносности наиболее предпочтительными для поисков представляются сопряженные с региональным диагональным разломом вала Абиha, разделенные крупноамплитудными поперечными разрывами и осложненные интенсивным грязевым

вулканизмом площади контрактного блока Алов — Шарг — Араз, где кровля ПТ залегает на глубинах 2200—3200 м, а толща воды — 450—700 м. Естественно, все эти ожидания не предлагают структурной «молодости» ловушек и подразумевают завершение цикла их формирования к началу основной фазы внедрения в ПТ (КТ) УВ из подстилающих отложений.

На современной стадии изученности, чтобы давать более или менее надежную количественную оценку запасов, ресурсов и геологического потенциала глубоководной акватории Южного Каспия, необходимо предварительное проведение

в ней полного комплекса региональных космоидостанционных рекогносцировочных работ, полномасштабной морской газогеохимической съемки, опорно-параметрического бурения, региональной высокоразрешающей геофизики, на базе которой следует осуществить интеграцию палеотектонической, палеоструктурной, палеостатической реконструкций в нефтегеологическую бассейновую модель, которую необходимо дополнить моделированием углеводородных систем и формализовать цифровыми методами на основе изложенных выше концептуальных флюидодинамических положений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева Е. Модель углеводородной генерации и аккумуляции и ее применение в геологической разведке в глубоководной части Каспия. 65 th. EAGE, Stavanger, 2003. С. 54—60.
2. Всеволожский В.А., Дюнин В.И. Анализ закономерностей гидродинамики глубоких пластовых систем // Вестник МГУ. Серия геология. 1996. С. 78—80.
3. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Фундаментальные проблемы нефтегазоносности Южно-Каспийского бассейна // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 1. С. 62—65.
4. Гулиев И.С., Федоров Д.А., Кулаков С.И. Нефтегазоносность Каспийского региона. Баку: «Nafta — Press», 2009. С. 101—106.
5. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Геофлюидодинамические факторы формирования, размещения и прогноза нефтегазоносности // Советская геология. 1990. № 11. С. 115—125.
6. Керимов В.Ю., Рачинский М.З. Геофлюидодинамика нефтегазоносности подвижных поясов. М.: Недра, 2011. С. 202—207/
7. Керимов В.Ю., Серикова У.С., Мустаев Р.Н., Гулиев И.С. Нефтегазоносность глубокозалегающих отложений Южно-Каспийской впадины // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 50—54.
8. Линдтроп Н.Т., Анфилатова Э.А., Дмитриева Е.А. Геологические закономерности распространения крупных месторождений нефти и газа за рубежом. Л.: Недра, 1970. С. 198—203.
9. Рачинский М.З. Консолидационные процессы в глинистых образованиях, их роль, место и значение в формировании нефтегазоносности и гидродинамического режима глубоких недр // Геология горячих ископаемых. 1982. Вып. 59. С. 98—100.
10. Серикова У.С., Алланазарова М.А., Нюренберг Е.С. Условия формирования ловушек и залежей нефти и газа в Западной Туркмении // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 3. С. 47—58.
11. Серикова У.С., Романов П.А. Оценка условий формирования и распределение ловушек и залежей в Каспийском регионе // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 4. С. 64—80.
12. Серикова У.С. Системно-исторический подход и методы исследований объектов нефтегазового комплекса Каспийского региона // В сб.: Новые идеи в науках о Земле: мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф. В 7 т. 2019. С. 193—196.
13. Серикова У.С., Исмаилов Д.Д. Сырьевая база нефтегазового комплекса Каспийского региона и прогноз добычи углеводородов // В сб.: Новые идеи в науках о Земле: мат-лы XIV Междунар. науч.-практ. конф. В 7 т. 2019. С. 201—206.
14. Dodson C.R., Standing M.B. Pressure-volume-temperature and solubility relations for natural gas-water mixtures. Drilling and Production Practice. American Petroleum Institute, 1944. P. 79—90.
15. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V. Hydrocarbon potential of great depths. Oil, gas and business. 2011. № 5. С. 9-1
16. Kerimov V., Rachinsky M., Mustae R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the south caspian basin Iranian // Journal of Earth Sciences. 2018. Т. 10. No. 1. P. 78—89/
17. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. New Jersey, 2015. P. 95—110/
18. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. Oil and Gas Potential of South-Caspian Basin // Energy Sources Journal/ 2007. Part A, vol. 29, issue 15. P. 34—50.
19. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. Evaluation of oil and gas fields in deeply-buried sediments of South Caspian Depression // Geosciences. 2013. No. 3. P. 140—153.

REFERENCES

1. Alieva E. The model of hydrocarbon generation and accumulation and its application in geological exploration in the deep-water part of the Caspian Sea. 65 thousand EAGE, Stavanger, 2003. P. 54—60.
2. Vsevolozhsky V.A., Dunin V.I. Analysis of the laws of hydrodynamics of deep reservoir systems // Bulletin of Moscow State University. Ser.geol., 1996. P. 78—80.
3. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N. Fundamental problems of oil and gas potential of the South Caspian basin // Reports of the Academy of Sciences. 2016. Vol. 471. No. 1. P. 62—65.
4. Guliyev I.S., Fedorov D.A., Kulakov S.I. Oil and gas potential of the Caspian region. Baku: Nafta-Press, 2009. P. 101—106.
5. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluidodynamic factors of formation, placement and forecast of oil and gas potential // Soviet Geology. 1990. No. 11. P. 115—125.
6. Kerimov V.Yu., Rachinsky M.Z. Geofluidodynamics of oil and gas potential of mobile belts. Moscow: Nedra, 2011. P. 202—207.
7. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Mustaev R.N., Guliyev I.S. Oil and gas potential of deep-lying deposits of the South Caspian depression // Oil industry. 2014. No. 5. P. 50—54.
8. Lindtrop N.T., Anfilatova E.A., Dmitrieva E.A. Geological patterns of the spread of large oil and gas deposits abroad. Leningrad: Nedra, 1970. P. 198—203.
9. Rachinsky M.Z. Consolidation processes in clay formations, their role, place and significance in the formation of oil and gas potential and hydrodynamic regime of deep subsurface // Geology of combustible minerals. 1982. Issue 59. P. 98—100.
10. Serikova U.S., Allanazarova M.A., Nyurenberg E.S. Conditions for the formation of traps and oil and gas deposits in Western Turkmenistan // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.. 2022. No. 3. P. 47—58.
11. Serikova U.S., Romanov P.A. Assessment of conditions for the formation and distribution of traps and deposits in the Caspian region // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2022. No. 4. P. 64—80.
12. Serikova U.S. System-historical approach and methods of research of objects of the oil and gas complex of the Caspian region // In the collection: New ideas in Earth sciences. Materials of the XIV Scientific and Practical International Conference: in 7 volumes. 2019. P. 193—196.
13. Serikova U.S., Ismailov D.D. The raw material base of the oil and gas complex of the Caspian region and the forecast of hydrocarbon production, In the collection: New ideas in Earth Sciences. Materials of the XIV Scientific and Practical International Conference: in 7 volumes. 2019. P. 201—206.
14. Dodson C.R., Standing M.B. Pressure-volume-temperature and solubility relations for natural gas-water mixtures. Drilling and Production Practice. American Petroleum Institute, 1944. P. 79—90.
15. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Osipov A.V. Hydrocarbon potential of great depths. Oil, gas and business. 2011. № 5. C. 9-1
16. Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the south caspian basin Iranian // Journal of Earth Sciences. 2018. T. 10. No. 1. P. 78—89/
17. Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. New Jersey, 2015. P. 95—110.
18. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. Oil and Gas Potential of South-Caspian Basin // Energy Sources Jornal/ 2007. Part A, vol. 29, issue 15. P. 34—50.
19. Rachinsky M.Z., Chilingar G.V. Evaluation of oil and gas fields in deeply-buried sediments of South Caspian Depression // Geosciences. 2013. No. 3. P. 140—153.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Серикова У.С. — внесла вклад в работу при построении и моделировании структурно-тектонической модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Алланазарова М.А. — присоединилась к подготовке текста статьи, выполнила перевод на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ulyana S. Serikova — contributed to the work in the construction and modeling of the structural-tectonic model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Mehriban A. Allanazarova — joined the preparation of the text of the article, translated into English and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Серикова Ульяна Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: lubava45@gmail.com

тел.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-код: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Ulyana S. Serikova — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: lubava45@gmail.com

tel.: +7 (965) 429-39-79

SPIN-code: 9363-4064

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Алланазарова Мехрибан Айдыновна* — аспирант 1-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: mehrik_allanazarova@mail.ru

тел.: +7 (968) 385-97-91

SPIN-код: 9360-8406

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-2714>

Mehriban A. Allanazarova* — 1st year post-graduate researcher of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: mehrik_allanazarova@mail.ru

tel.: +7 (968) 385-97-91

SPIN-code: 9360-8406

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-2714>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-47-55>

УДК 552.08



ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ОРГАНОГЕННЫХ ПОСТРОЕК ПОЗДНЕДЕВОНСКОГО ВОЗРАСТА (ВОРОНЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА) ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Р. РЯЗАНОВ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В данной работе объектом изучения являются карбонатные породы органогенных построек воронежского горизонта (D_3vr) на Волостновском, Восточно-Волостновском и Южно-Волостновском месторождениях в северной части Восточно-Оренбургского нефтегазоносного района Волго-Уральской НГП.

Цель. Установить связь между структурами литологических типов карбонатных пород и их фильтрационно-емкостными свойствами в пределах органогенных построек воронежского горизонта на Волостновском, Восточно-Волостновском и Южно-Волостновском месторождениях.

Материалы и методы. В работе использованы фондовые материалы по геологическому строению северной части Восточно-Оренбургского района. В статье построены гистограммы распределения значений пористости и проницаемости, предлагается петрофизическая модель, проведена ее верификация и анализ.

Результаты. В результате исследований были проанализированы данные фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород, построены гистограммы, отражающие изменения пористости и проницаемости для отдельных зон органогенных построек, выполнена петрофизическая модель, показывающая связь между литологическими характеристиками пород выделенных зон и их фильтрационно-емкостными свойствами. Проведена верификация между данными по Волостновскому участку и соседними месторождениями.

Выводы. Карбонатные коллекторы воронежского горизонта характеризуются сложным строением с ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами, что необходимо учитывать при разработке залежей для обеспечения прироста геологических запасов нефти, а также продления сроков эксплуатации скважин.

Ключевые слова: литология, карбонатные породы, поздний девон, воронежский горизонт, органогенные постройки, пористость, проницаемость, гистограммы, петрофизическая модель, Оренбургская область

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Рязанов А.Р. Петрофизическая характеристика карбонатных пород органогенных построек позднедевонского возраста (воронежского горизонта) Оренбургской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):47—55.

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-47-55>

Статья поступила в редакцию 10.04.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF CARBONATE ROCKS OF ORGANOGENIC STRUCTURES OF LATE DEVONIAN AGE (VORONEZH HORIZON) IN ORENBURG REGION

ALEKSANDR R. RYAZANOV

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

ABSTRACT

Background. The carbonate rocks represented by organogenic structures of the Voronezh horizon (D_3vr) at the Volostnovsky, Vostochno-Volostnovsky and Yuzhno-Volostnovsky fields in the northern part of the East-Orenburg oil and gas bearing region of the Volga-Ural oil and gas bearing province are studied.

Aim. To establish a connection between the structures of lithological types of carbonate rocks and their reservoir properties within the organogenic structures of the Voronezh horizon at the Volostnovsky, Vostochno-Volostnovsky and Yuzhno-Volostnovsky deposits.

Materials and methods. Stock materials on the geological structure of the northern part of the Vostochno-Orenburg district were used. Histograms of the distribution of porosity and permeability values were constructed. A petrophysical model was proposed followed by its verification and analysis.

Results. Data on the filtration-capacitance properties of carbonate rocks were analyzed. Histograms reflecting changes in porosity and permeability for individual zones of organogenic structures were constructed. A petrophysical model describing the relationship between the lithological characteristics of rocks of the selected zones and their reservoir properties was proposed. The model was verified based on the data on the Volostnovsky site and neighboring deposits.

Conclusion. The carbonate reservoirs of the Voronezh horizon are characterized by a complex structure with degraded reservoir properties. This information should be taken into account when developing deposits to ensure an increase in geological oil reserves and an extended service life of wells.

Keywords: lithology, carbonate rocks, Late Devonian, limestone, dolomite, Voronezh horizon, formation, productive deposits, organogenic structures, porosity, permeability, void space, Orenburg region

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: The study has no sponsorship.

For citation: Ryazanov A.R. Petrophysical characteristics of organogenic carbonate rocks of late devonian age (Voronezh horizon) in Orenburg region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):47—55. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-47-55>

Manuscript received 10 April 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

Объектом изучения являются карбонатные породы Волостновского, Восточно-Волостновского и Южно-Волостновского месторождений, расположенных на территории Новосергиевского и Илекского районов Оренбургской области. Месторождения расположены в южной части Жигулевско-Оренбургского свода Волго-Уральской антеклизы (рис. 1) [4].

В настоящее время промышленная нефтеносность Волостновского, Восточно-Волостновского и Южно-Волостновского месторождений установлена в карбонатных отложениях пласта Т1 турнейского яруса (C_1t), пласта Дфр1 евлановско-ливенского горизонта ($D_{3ev}+D_{3lv}$) и пласта Дфр2 воронежского горизонта (D_3vr) [3—5].

Склоновые зоны построек, представлены брекчиями линзовидно слоистыми с органо-генно-обломочным и глинистым заполнителем, известняками биокластовыми сильно глинистыми, доломитами глинистыми органогенно-обломочными наклонно-волнисто слоистыми с деформационными оползевыми текстурами, доломитами

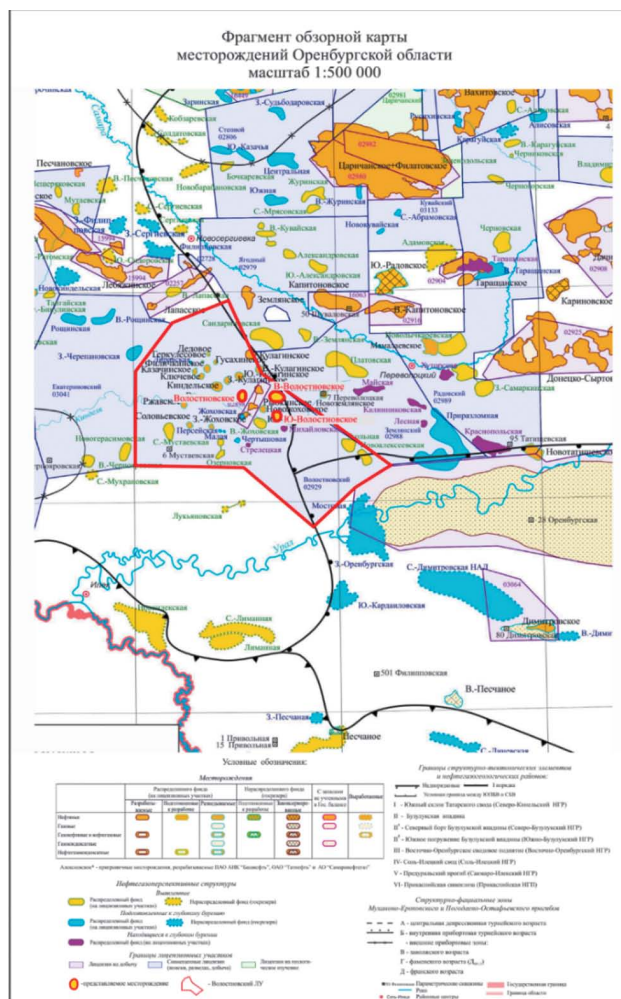


Рис. 1. Фрагмент обзорной карты структур углеводородного сырья Оренбургской области [4]
Fig. 1. A Fragment of an overview map of the structures of hydrocarbon raw materials of the Orenburg region [4]

Для составления гистограмм зоны биогерм-ного ядра [7, 8, 15], были выделены 150 точек коэффициента пористости и проницаемости, разбитые на классы K_p от 0 до 28% и $K_{пр}$ от $<0,001$ до >500 мД.

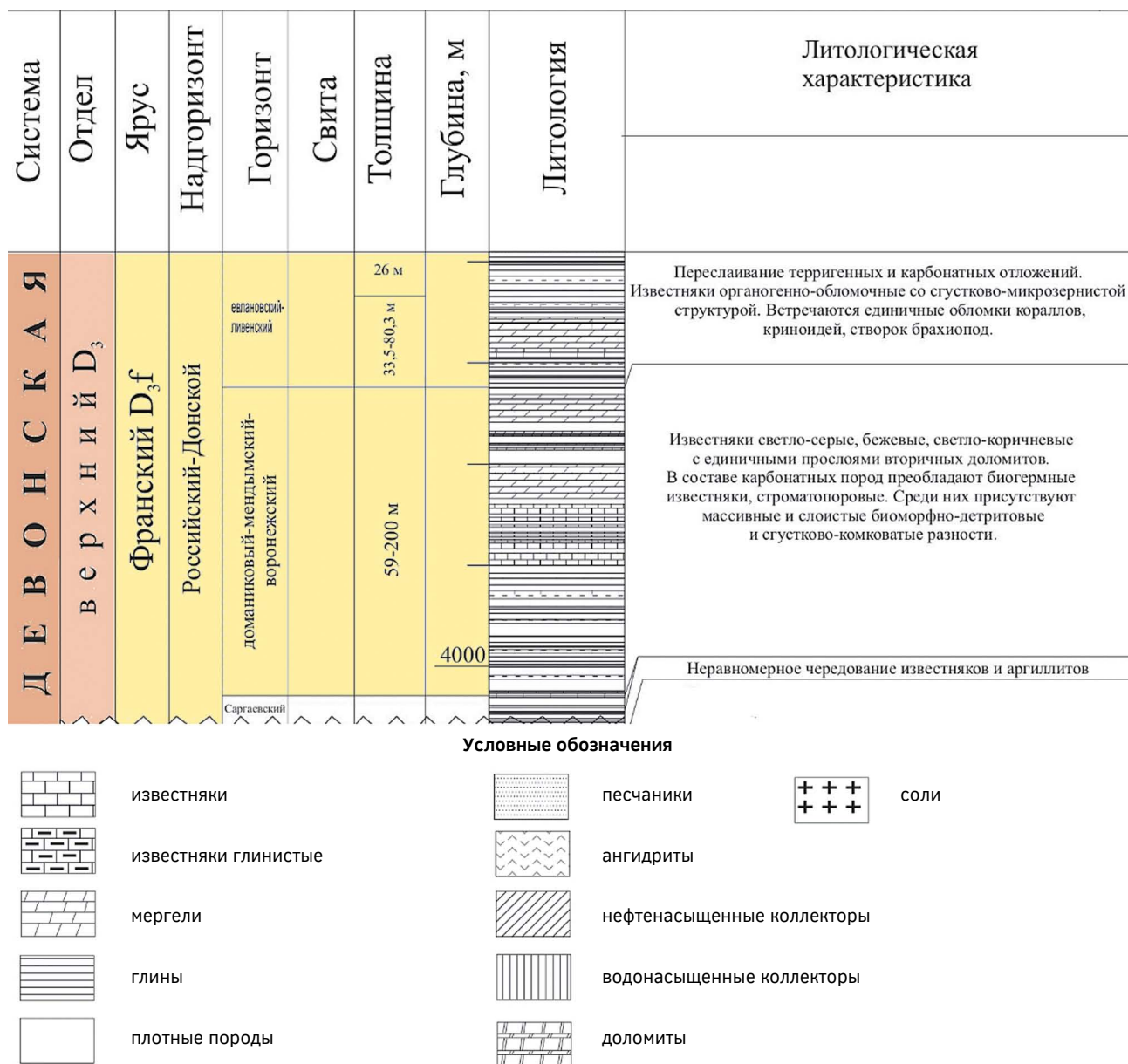


Рис. 2. Сводный геологический разрез верхнедевонских отложений Волостновского участка. Масштаб 1:2000 [7, 8, 12, 15]

Fig. 2. Summary geological section of the Upper Devonian sediments of the Volostnovsky site. Scale 1:2000 [7, 8, 12, 15]

По пористости — 37 из 150 исследованных образцов — приходится на не коллектор с классами пористости 0—4%. Пористость по коллектору меняется от 0,7 до 27,3%, средняя по 150 образцам составляет 6% (рис. 3а).

По проницаемости более половины исследованных образцов — 96 из 150 — относятся к V и VI классам коллекторов по А.А. Ханину с низкими и весьма низкими фильтрационными свойствами [14], 48 образцов относятся к IV классу с пониженными фильтрационными свойствами и только

5 образцов относятся к III классу с проницаемостью 100—500 мД; 1 образец относится к II классу с проницаемостью больше 500 мД (рис. 3б).

В целом проницаемость варьируется в пределах 0,01—928,7 мД, составляя в среднем 23,19 мД ($n = 150$) [9].

Пустотное пространство в породах зоны биогермного ядра имеет сложное строение и представлено межформенными порами, распределенными участками по биокластовому заполнителю; внутрискелетными порами, приуроченными

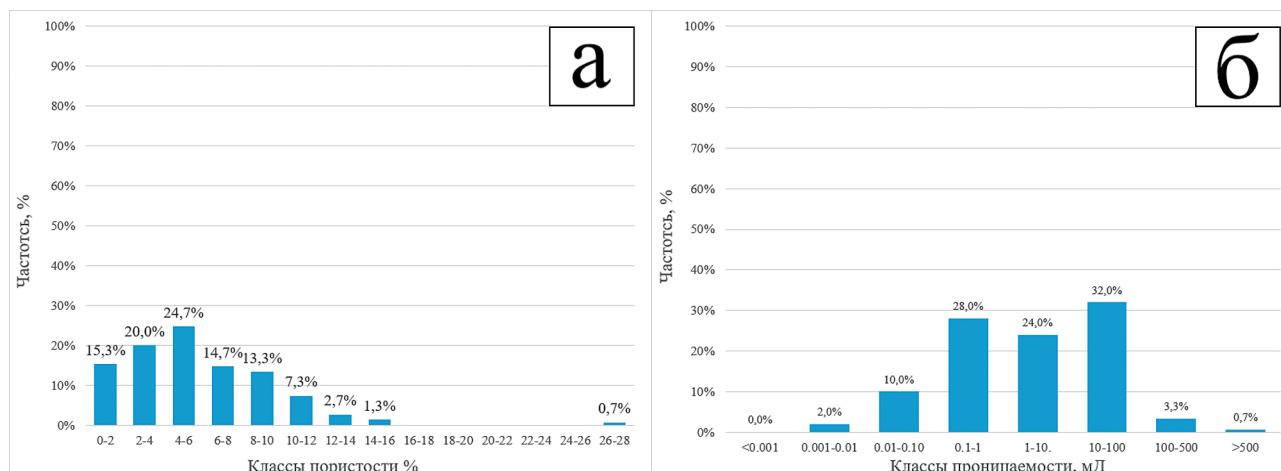


Рис. 3. Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков и доломитов зоны биогермного ядра: а — пористость; б — проницаемость

Fig. 3. Histograms of porosity and permeability distribution of limestones and dolomites of the biohermic core zone: а — porosity; б — permeability

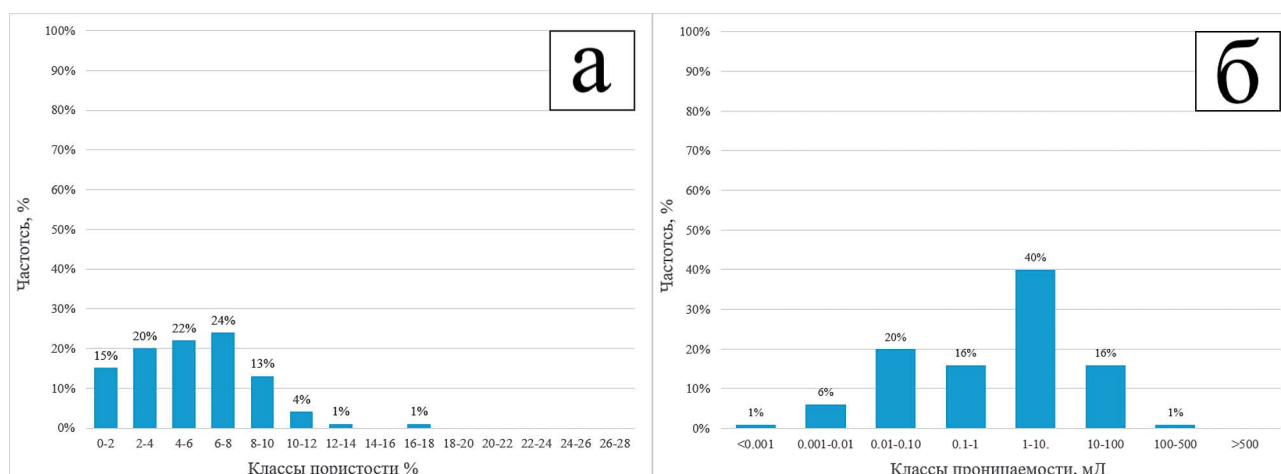


Рис. 4. Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков краевой зоны: а — пористость; б — проницаемость

Fig. 4. Histograms of porosity and permeability distribution of limestones of the edge zone: а — porosity; б — permeability

квнутренней структуре скелетных образований строматопор; порами, образующимися при растворении фрагментов водорослей, остракод, кальцифер; межкристаллическими, характерными для вторичных доломитов [10, 11]. Каверны связаны с частичным растворением микроучастков, как в известняках, так и в доломитах, а также с инкрустационными текстурами. Среди трещин выделяются литогенетические и гидротермальной проработки [7, 8, 15].

В краевой зоне анализировались органогенно-обломочные структурные типы известняков [7, 8, 15]. Для составления гистограмм краевой зоны, были выделены 100 точек коэффициента

пористости и проницаемости, разбитые на классы K_p от 0 до 18% и $K_{пр}$ от <0,001 до >500 мД.

По пористости — 35 из 100 исследованных образцов приходится на не коллектор с классами пористости 0—4%. Пористость по коллектору меняется от 1 до 16,9%, средняя по 100 образцам составляет 5,5% (рис. 4а).

По проницаемости — 83 образца из 100 относятся к V и VI классам коллекторов по А.А. Ханину с низкими и весьма низкими фильтрационными свойствами [14], 16 образцов относятся к IV классу с пониженными фильтрационными свойствами и только 1 образец относится к III классу коллекторов с проницаемостью 100—500 мД (рис. 4б).

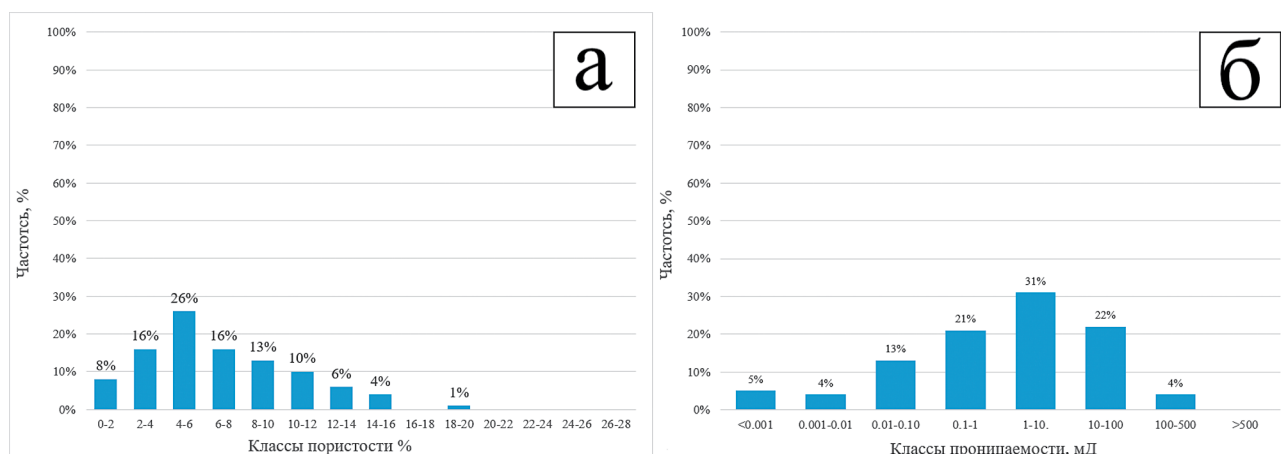


Рис. 5. Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков склоновой зоны: а — пористость; б — проницаемость

Fig. 5. Histograms of porosity and permeability distribution of limestones of the slope zone: а — porosity; б — permeability

В целом по коллектору проницаемость варьирует в пределах 0,001—239,6 мД, составляя в среднем 7,5 мД ($n = 100$) [9].

Пустотное пространство пород представлено порами, кавернами и тектоническими трещинами [7, 8, 15].

Склоновые обломочные карбонаты содержат разное количество терригенной и глинистой примеси [7, 8, 15]. Для составления гистограмм склоновой зоны, были выделены 100 точек коэффициента пористости и проницаемости, разбитые на классы Кп от 0 до 20% и Кпр от <0,001 до >500 мД.

По пористости — 24 из 100 исследованных образцов приходится на не коллектор с классами пористости 0—4%. Пористость по коллектору меняется от 0,5 до 18,8%, средняя по 100 образцам составляет 6,9% (рис. 5а).

По проницаемости — 74 образца из 100 относятся к V и VI классам коллекторов по А.А. Ханину с низкими и весьма низкими фильтрационными свойствами [14], 22 образца относятся к IV классу коллекторов с пониженными фильтрационными свойствами и только 4 образца от-

носятся к III классу с проницаемостью 100—500 мД (рис. 5б).

В целом по коллектору проницаемость варьирует в пределах 0,002—400,3 мД, составляя в среднем 17 мД ($n = 100$) [9].

Пустотное пространство склоновой зоны представлено редкими кавернами, иногда полностью залеченными кристаллами кальцита, межформенными и внутриформенными порами, трещинами [7, 8, 15].

В таблице представлены фильтрационно-емкостные свойства карбонатных пород для зон органогенных построек.

На основе проведенных исследований построена петрофизическая зависимость $K_p = f(K_{пр})$, показывающая связь между структурными типами карбонатных пород для отдельных зон органогенных построек и их фильтрационно-емкостными свойствами. На модели отображен характер распределения фигуративных точек, отвечающих определенной зоне органогенных построек (рис. 6).

Проведена верификация между данными по Волостновскому, Восточно-Волостновскому, Южно-Волостновскому месторождениям

Таблица. Сравнение фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород для зон органогенных построек
Table. Comparison of filtration-capacitance properties of carbonate rocks for zones of organogenic buildings

Зоны органогенных построек	Пределы изменения пористости, %	Пределы изменения проницаемости, мД	Среднее значение Кп, % / Кол-во образцов	Среднее значение Кпр, мД / Кол-во образцов
Биогермное ядро	0,7—27,3	0,01—928,7	6 / 150	23,2 / 150
Краевая	1—16,9	0,001—239,6	5,5 / 100	7,5 / 100
Склоновая	0,5—18,8	0,002—400,3	6,9 / 100	17 / 100

и соседними Восточно-Радовским, Вахитовским и Рыбкинским месторождениями. Для подтверждения достоверности зависимостей $K_p=f(K_{пр})$, представлено сопоставление по продуктивным отложениям воронежского горизонта Рыбчинского, Вахитовского, Восточно-Радовского, Волостновского, Восточно-Волостновского и Южно-Волостновского месторождений (рис. 7). Все четыре выборки лежат в едином поле точек. Обоснованность привлечения данных материалов обусловлена схожим геологическим строением, стратиграфией, литологией, глубиной залегания пластов и термобарическими условиями [9, 11].

Заключение

Средние значения пористости для зон органогенных построек примерно одинаковы. Проницаемость пород биогермного ядра примерно в два раза выше, чем проницаемость пород склоновой зоны, и примерно в три раза выше, чем проницаемость пород краевой зоны [1, 2]. Карбонатные коллекторы воронежского горизонта характеризуются сложным строением с ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами, что необходимо учитывать при разработке залежей для обеспечения прироста геологических запасов нефти, а также продления сроков эксплуатации скважин.

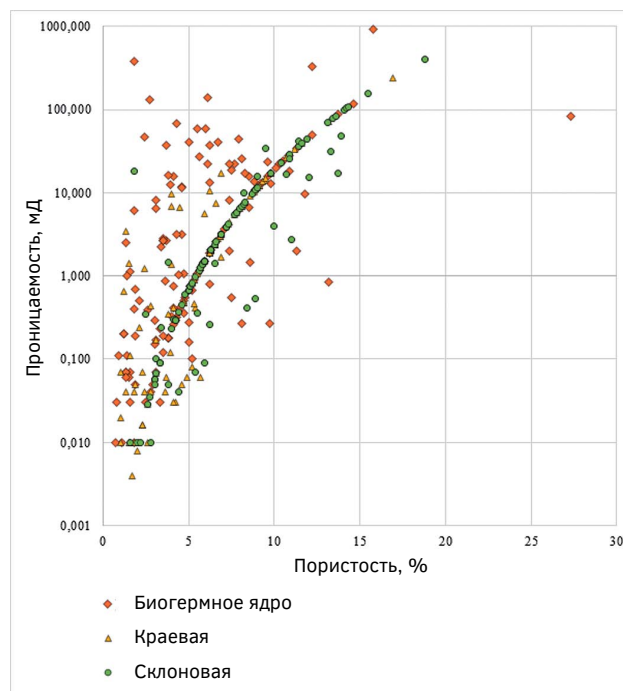


Рис. 6. Сопоставление пористости и проницаемости в карбонатных породах зон органогенных построек воронежского горизонта

Fig. 6. Comparison of porosity and permeability in carbonate rocks in zones of organogenic structures of the Voronezh horizon

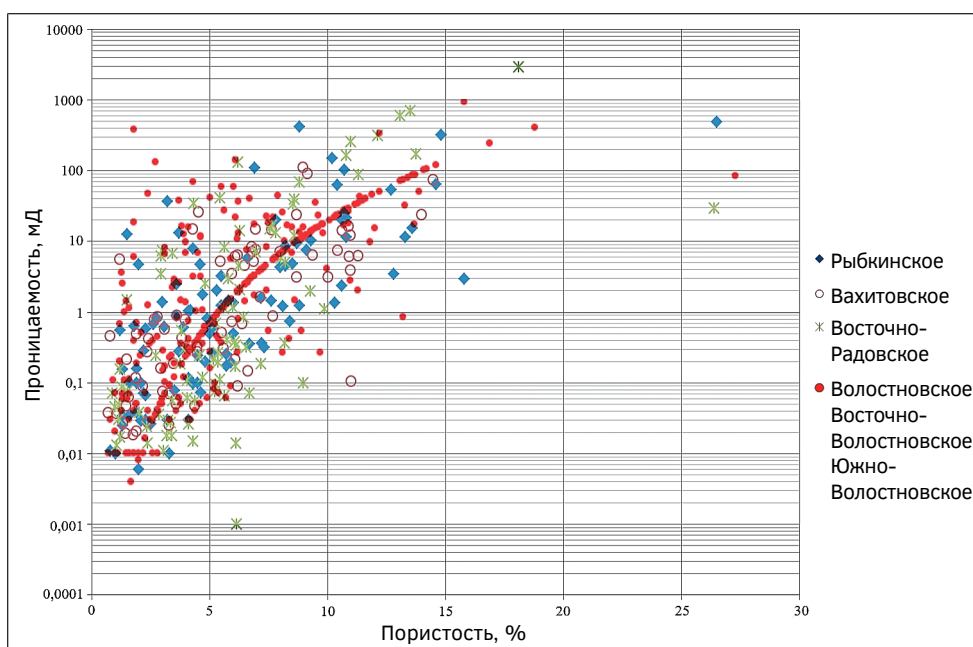


Рис. 7. Сопоставление пористости и проницаемости в карбонатных породах зон органогенных построек воронежского горизонта соседних месторождений

Fig. 7. Comparison of porosity and permeability in carbonate rocks of zones of organogenic structures of the Voronezh horizon of neighboring deposits

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова Г.В., Асташкин Д.А., Варламов А.И. Методика изучения пород нефтегазоносных комплексов. Детальное макроскопическое описание керна скважин. М.: ВНИГНИ, 2015. 172 с.
2. Агафонова Г.В., Баранова А.В., Гумаров Р.К., Ильин В.Д., Михеев И.Г., Фарбирович В.П., Фортунатова Н.К., Шве́ц-Тэ́нэ́та-Гури́й А.Г. Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов. М.: РЭФИА, 1999. 194 с.
3. Андропов И.А. Органогенные постройки девона и раннего карбона центральной части Русской платформы и условия их развития // Литология и палеогеография палеозойских отложений Русской платформы. — М.: Наука, 1972. С. 282—292.
4. Ахтямова И.Р., Широковских О.А. Результаты сейсморазведочных работ МОГТ-3Д на Волостновском лицензионном участке. Тюмень: ООО «ТННЦ», 2013. 46 с.
5. Басин Я.Н., Новгородцев В.А., Петерсилье В.И. Оценка подсчетных параметров газовых и нефтяных залежей в карбонатном разрезе по геофизическим данным. М.: Недра, 1987. С. 157—159.
6. Беляева Н.В., Корзун А.Л., Петрова Л.В. Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы (в связи с формированием рифовых резервуаров). — СПб.: Наука, 1998. 154 с.
7. Вилесов А.П., Лашманова А.А. и др. Разработка седиментологической модели формирования верхнефранских органогенных построек Бузулукской впадины. Тюмень: ООО «ТННЦ», 2013. С. 18—31
8. Вилесов А.П., Никитин Ю.И., Ахтямова И.Р., Широковских О.А. Франские рифы рыбкинской группы: фациальное строение, этапы формирования, нефтеносность // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2019. № 7. С. 4—22.
9. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). М.: Нефть и газ, 2004. 368 с.
10. Закревский К.Е. Особенности геологического 3D моделирования карбонатных и трещинных резервуаров. М.: 2016. С. 67.
11. Кузнецов В.Г. Геология рифов и их нефтегазонаосность. М.: Недра, 1978. С. 303.
12. Макарова С.П. Новые данные по стратиграфии и литологии девонских отложений юга Оренбургской области // Геология и перспективы нефтегазонаосности бортовых зон Прикаспийской впадины. — М.: ВНИГНИ, 1983. — Вып. 248.
13. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.
14. Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР. М.: Недра, 1973. С. 23.
15. Шакиров В.А., Вилесов А.П., Чертина К.Н., Истомина Н.М. Распределение запасов нефти в сложно построенных трещинных коллекторах франских рифов Волостновского участка Оренбургской области // Поиски и разведка. 2019. № 5 (329). С. 13—21.

REFERENCES

1. Agafonova G.V., Astashkin D.A., Varlamov A.I. Methods of studying rocks of oil and gas complexes. Detailed macroscopic description of the well core. Moscow: VNIGNI, 2015, 172 p. (In Russian).
2. Agafonova G.V., Baranova A.V., Gumarov R.K., Ilyin V.D., Mikheev I.G., Farbirovich V.P., Fortunatova N.K., Shvets-Teneta-Guriy A.G. Sedimentological modeling of carbonate sedimentary complexes. Moscow: REFIA, 1999, 194 p. (In Russian).
3. Andropov I.A. Organogenic structures of Devonian and early Carboniferous of the central part of the Russian platform and conditions of their development // Lithology and paleogeography of Paleozoic deposits of the Russian Platform. Moscow: Nauka, 1972. P. 282—292 (In Russian).
4. Akhtyamova I.R., Shirokovskikh O.A. Results of seismic exploration MOGT-3D at the Volostnovsky license area. Tyumen: TNSC LLC, 2013. 46 p. (In Russian).
5. Basin Ya.N., Novgorodtsev V.A., Petersile V.I. Estimation of calculation parameters of gas and oil deposits in the carbonate section according to geophysical data. Moscow: Nedra, 1987. P. 157—159 (In Russian).
6. Belyaeva N.V., Korzun A.L., Petrova L.V. Model of sedimentation of Franco-Tournaisian sediments in the north-east of the European Platform (in connection with the formation of reef reservoirs). St. Petersburg: Nauka, 1998. 154 p. (In Russian).
7. Vilesov A.P., Lashmanova A.A., et al. Development of a sedimentological model of the formation of the Upper-Fran organogenic structures of the Buzuluk depression. Tyumen: TNSC LLC, 2013. P. 18—31 (In Russian).
8. Vilesov A.P., Nikitin Yu.I., Akhtyamova I.R. Shirokovskikh O.A. Fransk reefs of the Rybkin group: facies structure, stages of formation, oil content // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2019. No. 7. P. 4—22 (In Russian).
9. Dobrynin V.M., Vendelstein B.Yu., Kozhevnikov D.A. Petrophysics (physics of rocks). Moscow: Oil and Gas, 2004. 368 p. (In Russian).
10. Zakrevsky K.E. Features of geological 3D modeling of carbonate and fractured reservoirs. Moscow, 2016. P. 67 (In Russian).
11. Kuznetsov V.G. Geology of reefs and their oil and gas potential. Moscow: Nedra, 1978. P. 303 (In Russian).
12. Makarova S.P. New data on stratigraphy and lithology of Devonian deposits in the south of the Orenburg region // Geology and prospects of oil and gas potential

- of the on-board zones of the Caspian depression. Moscow: VNIGNI, 1983. Release 248 (In Russian).
13. Taxonomy and classification of sedimentary rocks and their analogues. St. Petersburg: Nedra, 1998. 352 p. (In Russian).
 14. Khanin A.A. Rocks-reservoirs of oil and gas of the oil and gas provinces of the USSR. Moscow: Nedra, 1973. P. 23 (In Russian).
 15. Shakirov V.A., Vilesov A.P., Chertina K.N., Istomina N.M. Distribution of oil reserves in in the complexly constructed fractured reservoirs of the Fransk reefs of the Volostnovsky section of the Orenburg region // Search and exploration. 2019. No. 5 (329). P. 13—21 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Aleksandr R. Ryazanov — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Рязанов Александр Романович — студент 5-го курса кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
e-mail: aleksandr_w9ke@list.ru
тел.: +7 (915) 064-89-26
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6760-5579>

Aleksandr R. Ryazanov — 5th year student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
e-mail: aleksandr_w9ke@list.ru
tel.: +7 (915) 064-89-26
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6760-5579>



ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТУРМАЛИНА ИЗ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ СКАРНОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУХИЛАЛ, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ПАМИР

А.К. ЛИТВИНЕНКО^{1,*}, Е.И. РОМАНОВА¹, О.А. ЯКУШИНА^{2,3}

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

² ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»
31, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

³ ФГБОУ ВО «Университет «Дубна»
19, ул. Университетская, г. Дубна, Московская область 141980, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Турмалин в магнезиальных скарнах Кухилала, несмотря на относительно хорошую изученность месторождения, ни разу не рассматривался в их составе [5, 6, 16]. Его разновидность, увит, упоминался в списке малораспространенных минералов с представлением только кристаллохимической формулы [17]. Л.Н. Шабынин, большой знаток скарнов, отмечал редкость турмалина в Mg-скарнах различных месторождений. Для турмалина из этого формационного типа характерна сильная вариация железистости и значительное содержание Са, при этом Са:Na варьирует от 2:3 до 20:1 [15]. По данным Н.Н. Перцева, также крупного специалиста по скарнам, турмалин является редким минералом Mg-скарновых месторождений [11]. Исключением служит относимое к скарновым борно-железородное месторождение Таежное, Алданский щит, где отмечено широкое развитие турмалина [12]. Турмалин (дравит) этого месторождения установлен только во вмещающих мраморы и Mg-скарны силикатных метаморфических породах.

Целью является определение парагенезисов, морфологии кристаллов, химического состава и генетических особенностей турмалина из Mg-скарнов Кухилала.

Объектом исследования являются крупные агрегаты (более 10 см в поперечнике) и кристаллы яблочно-зеленого турмалина в Mg-скарнах месторождения Кухилал.

Материалы и методы исследования. Образцы магнезиальных скарнов с турмалином были отобраны и задокументированы нами во время полевых работ на месторождении Кухилал в 2017 году. Для их изучения в камеральных условиях были применены минералогический, петрографический, рентгенофазовый, выполненный на ДРОН-ЗМ (аналитик А.В. Федоров, Российский геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе), микрозондовый, произведенный на Cameca SX 100 в режиме съемки 15 kV 30 nA (аналитик В.И. Таскаев, ИГЕМ РАН) и рентгенофлуоресцентный, на спектрометре AXIOS Advanced с рентгеновской трубкой, оснащенной Rh-анодом мощностью 3 kW и Philips PW-2400 с чувствительностью 10⁻⁴% (аналитик А.И. Якушев, ЦКП ИГЕМ РАН) анализы. Большинство исследований проводилось в лаборатории кафедры минералогии и геммологии Российского геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе.

Результаты. Впервые изучен турмалин из магнезиальных скарнов месторождения Кухилал. Рассматриваемый минерал является редким для скарнов. Выделены две его минеральные ассоциации: первая — со шпинелью и форстеритом, вторая — с хлоритом и серпентином. По химическому составу турмалин отнесен к фторсодержащему увиту с близкой к нулевой железистостью. Он имеет чечевицеобразную форму с редко наблюдаемой, недоразвитой призмой. Рассмотрены его минералогические свойства, химический состав и условия образования. Турмалин может использоваться для изготовления недорогих ювелирных вставок.

Заключение. Установлено, что кристаллизация турмалина произошла в условиях гранулитовой фации регионального метаморфизма. Для образования бора для турмалина предположен апоосадочный, эвапоритовый источник.

Ключевые слова: Кухилал, Юго-Западный Памир, турмалин, увит, магнезиальные скарны, двухвершинные кристаллы без призмы, эвапориты, гранулитовая фация метаморфизма

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Литвиненко А.К., Романова Е.И., Якушина О.А. Генетические особенности турмалина из магнезиальных скарнов месторождения Кухилал, Юго-Западный Памир. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):56—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-56-66>

Статья поступила в редакцию 30.04.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

GENETIC FEATURES OF TOURMALINE FROM THE MAGNESIAN SKARNS OF KUHILAL DEPOSIT, SOUTHWESTERN PAMIR

ANDREY K. LITVINENKO^{1,*}, EKATERINA I. ROMANOVA¹, OLGA A. YAKUSHINA^{2,3}

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

² *All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N. M. Fedorovsky
31, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia*

³ *Dubna University
19, Universitetskaya str., Dubna, Moscow region 141980, Russia*

ABSTRACT

Background. Although the Kuhilal deposit of Mg skarns has been thoroughly studied, tourmaline in their composition has never been considered [5, 6, 16]. Uvite, a tourmaline variety, was mentioned in the list of rare minerals only with its crystallochemical formula [17]. L.N. Shabynin, a great connoisseur of skarns, noted the rarity of tourmaline in Mg skarns of various deposits. Tourmaline of this type is characterized by a strong variation in ferruginosity and a significant content of Ca. At the same time, Ca:Na varies from 2:3 to 20:1 [15]. According to N.N. Pertsev, another major specialist in skarns, tourmaline is a rare mineral of Mg skarn deposits [11]. The boron-iron ore deposit of Tayozhnoe, Aldan shield, is an exception. This deposit belongs to skarns, where a widespread development of tourmaline was noted [12]. Tourmaline (dravite) of this deposit was found only in silicate metamorphic rocks containing marbles and Mg skarns.

Aim. To determine the paragenesis, crystal morphology, chemical composition, and genetic characteristics of tourmaline from Kuhilal Mg skarns.

Materials and methods. Large aggregates (more than 10 cm across) and crystals of apple-green tourmaline from the Mg skarns of the Kuhilal deposit were investigated. Samples of Mg skarns containing tourmaline were collected and documented by the authors during fieldwork research at the Kuhilal deposit in 2017. The samples were examined by mineralogical and petrographic methods, X-ray diffraction analysis using a DRONE-3M (analyst A.V. Fedorov, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting), microprobe analysis using a Cameca SX 100 in 15 kV 30 nA shooting mode (analyst V.I. Taskaev, IGM RAS), and X-ray fluorescence analysis using an AXIOS advanced spectrometer with an X-ray tube equipped with a 3 kW Rh anode and Philips PW-2400 with a sensitivity of 10⁻⁴% (analyst A.I. Yakushev, IGM RAS). The majority of studies were conducted at the Department of Mineralogy and Gemology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

Results. Tourmaline from the Mg skarns of the Kuhilal deposit has been studied for the first time. This mineral is rare for skarn rocks. Two tourmaline mineral associations were identified: with spinel and forsterite, and with chlorite and serpentine. In terms of chemical composition, tourmaline is

attributed to fluorine-containing uvite with a close to zero ferruginosity. Uvite is characterized by a lenticular shape with a rarely observed, underdeveloped prism. Its mineralogical properties, chemical composition, and formation conditions were analyzed. Tourmaline can be used to make inexpensive jewelry inserts.

Conclusion. Tourmaline crystallization occurred under the conditions of granulite facies of regional metamorphism. For boron formation, an apo-sedimentary, evaporite source is assumed.

Keywords: Kuhilal, Southwestern Pamir, tourmaline, uvite, magnesian skarns, two-vertex crystals without a prism, evaporites, granulite facies of metamorphism

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

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

For citation: Litvinenko A.K., Romanova E.I., Yakushina O.A. Genetic features of tourmaline from the magnesian skarns of Kuhilal deposit, Southwestern Pamir. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):56—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-56-66>

Manuscript received 30 April 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

* Corresponding author

Геология месторождения Кухилал

Месторождение Кухилал было изучено и разведано советскими геологами в 50—80-х годах прошлого столетия. Оно специализировано на драгоценные камни: шпинель, клиногумит, а также на высокомагнезиальное сырье: форстерит, энстатит, тальк и магнезит. Кухилал находится на Юго-Западном Памире, который является фрагментом Нуристан-Памирского срединного массива в составе киммерийской Афгано-Южнопамирской складчатой области [8]. В строении Юго-Западного Памира выделено [1, 13] две позднеархейские (горанская и шахдаринская) и одна раннепротерозойская (аличурская) серии, а также разделяющий их мел-палеогеновый батолит памирско-шугнанских гранитоидов. Породы серий претерпели региональный полициклический метаморфизм в условиях гранулитовой, высокотемпературной амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций [1, 8]. Месторождение локализовано в линзе магнезитовых мраморов, составляющих верхнюю часть разреза горанской серии [9]. Протяженность линзы достигает 1,2, мощность — более 0,5 км [2, 5]. Она залегает среди мигматитов и черных биотит-силлиманитовых гнейсов. В линзе магнезитов наблюдаются послойные тела пегматитов, аплитов и слабо измененных гнейсов (рис. 1). Месторождение Кухилал относится к магнезиально-скарновой формации [5] абиссальной фации [7]. По данным

[3], на месторождении Кухилал отсутствует единая метасоматическая зональность с участием гранитоидов, поэтому магнезиально-силикатные породы рассматриваются как гипермагнезиальные скарноиды, образовавшиеся между магнезитами и песчано-глинистыми осадками.

Термодинамические условия и эволюция минеральных ассоциаций месторождения коррелируются с P-T-параметрами, которые претерпел весь Юго-Западный Памир от ранних до поздних стадий своего развития [9].

Породообразующими минералами магнезиальных скарнов месторождения Кухилал являются магнезит, доломит, энстатит, форстерит, тальк, флогопит, клиногумит, шпинель и крупные скопления пирротина и пирита. Их особенность, несмотря на обилие сульфидов железа, проявлена в очень низкой железистости, от 0 до 1,6% [7]. Форстерит и шпинель частично (иногда полностью) замещены гидроталькитом, клинохлором, серпентином, бруситом и др., скопления которых называются магалами [7, 16].

Положение турмалина в магнезиальных скарнах

Крупные агрегаты турмалина были обнаружены в четвертом разведанном блоке, расположенном в контуре пятого участка, который отрабатывался на благородную шпинель и клиногумит в 2017 году (рис. 1). Турмалин встречен в составе двух минеральных ассоциаций: первая в парагенезисе

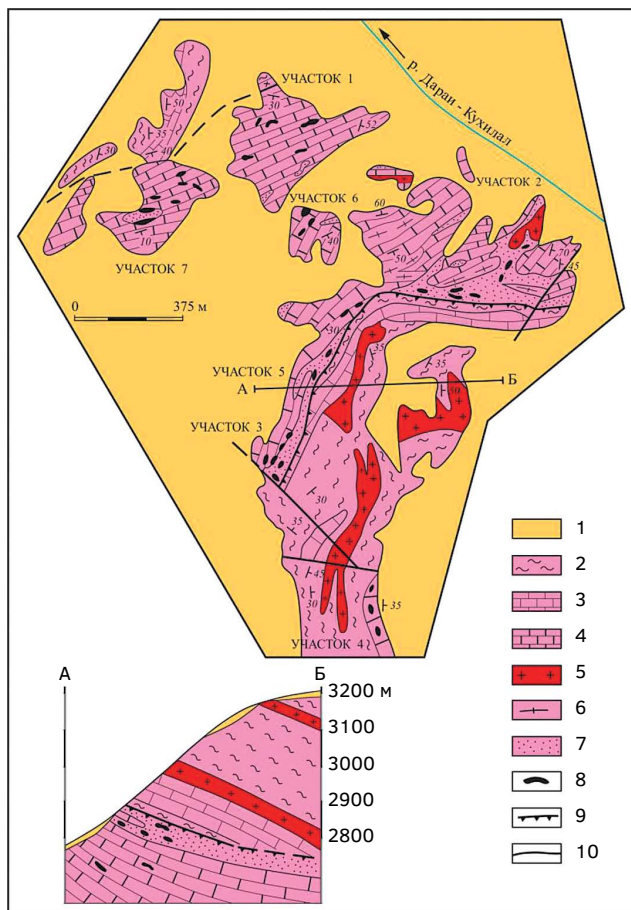


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и разрез месторождения Кухилал по [2] с дополнениями и изменениями [9]: 1 — делювиальные отложения; 2 — силлиманитсодержащие гнейсы и мигматиты; 3—4 — мраморы: 3 — доломитовые, 4 — магнезитовые; 5 — пегматиты, аплиты; 6 — измененные гнейсы; 7—8 — магнезиальные скарны: 7 — энстатитовые с залежами талька и жецдрит-кианитовых пород; 8 — шпинель-форстеритовые; 9 — надвиг; 10 — разломы

Fig. 1. Schematic geological map and cross section of Kukulal deposit [2] with additions and changes [9]: 1 — deluvial deposits; 2 — gneiss and migmatite; 3, 4 — marbles; 3 — calcite; 4 — magnesite; 5 — granites, plagiogranites, pegmatites, aplite; 6 — altered gneiss; 7, 8 — skarn; 7 — enstatite with deposits gedrite and talc-kyanite rocks; 8 — spinel-forsterite; 9 — thrusts; 10 — faults

со шпинелью и форстеритом (рис. 2), а вторая — внутри белой (магнезит, доломит, флогопит, серпентин, хлорит, гиббсит, брусит), мягкой, но плотной массы (рис. 3).

В первой минеральной ассоциации турмалин представлен крупными яблочно-зелеными обособлениями до 10 см в поперечнике на фоне розовой



Рис. 2. Зеленые порфиробласты турмалина среди агрегата белого форстерита и розовой шпинели, в левой части пленки графита, длина штуфа 6,5 см
Fig. 2. Green porphyroblasts of tourmaline, surrounded by white forsterite and pink spinel, in the left side thin graphite aggregates, length — 6.5 cm



Рис. 3. Турмалин внутри серпентин-хлоритовой массы
Fig. 3. Serpentine-chlorite mass containing tourmaline

шпинели и белого форстерита. Хорошо сформированные кристаллы турмалина не обнаружены. Все минералы сильно трещиноваты (рис. 2). В контактах с турмалином на гранях шпинели наблюдается индукционная штриховка, свидетельствующая об одновременном росте этих минералов, а также о том, что турмалин обладал гранями. Эту ассоциацию можно рассматривать как первичную, магнезиально-скарновую, сформированную на прогрессивной стадии гранулитовой фации метаморфизма.

Во второй минеральной ассоциации (рис. 3) турмалин образует одиночные кристаллы от 2 до 20 мм в поперечнике (рис. 4) и друзы до 5×5×3 см (рис. 5). Эта минеральная ассоциация образует линзы длиной до 50 и мощностью 8—10 см. Эту ассоциацию мы рассматриваем как вторичную, послескарновую. В ней турмалин выделяется как реликтовый минерал. Турмалин



Рис. 4. Кристалл турмалина в белом агрегате, длина — 1,5 см

Fig. 4. Tourmaline crystal in white aggregate, length around 1.5 cm

этой ассоциации является главным объектом исследования.

Характеристика вмещающей породы и кристаллов турмалина

Одним из главных минералов ассоциации является хлорит. Он встречается в двух формах: однородной микрозернистой массы и в виде чешуйчатых кристаллов до 1 см, которые являются псевдоморфозами по флогопиту. Его реликты установлены рентгенофазовым анализом. Однородный хлорит образует агрегат молочно-белого цвета в тесных сростаниях с серпентином. Их поверхность бывает покрыта очень мелким рассеянным графитом. В серпентин-хлоритовой массе наблюдаются крупные порфиروбласты в форме плоскогранных кристаллов бесцветного полупрозрачного магнезита и светло-серого доломита эллипсоидной формы до 5 см в поперечнике. Карбонаты как бы погружены в белую серпентин-хлоритовую массу, содержащую реликты флогопита и форстерита. Важными второстепенными минералами этой ассоциации являются брусит и гиббсит, диагностированные в шлифах и рентгенофазовым анализом.

Турмалин имеет яркий яблочно-зеленый цвет. Показатели преломления: $n_o = 1,618—1,619$, $n_e = 1,640—1,642$; плотность 3,00 г/см³. Главные линии на рентгенограмме турмалина представлены следующими значениями: 6,420 (20), 5,009 (30), 4,619 (20), 4,244 (50), 3,999 (50), 3,501 (80), 2,976 (100), 2,632 (10), 2,586 (60), 2,502 (15), 2,385 (20), 2,126 (20), 2,048 (30), 1,925 (23). Данные значения близки к эталонным увита.

Размеры кристаллов варьируют от 0,1 до 15 мм в поперечнике. Кристаллы турмалина похожи



Рис. 5. Друза турмалина, кристаллы в серпентиновой оторочке, длина образца — 4 см

Fig. 5. Tourmaline druse, crystals covered with serpentine, length of sample around 4 cm

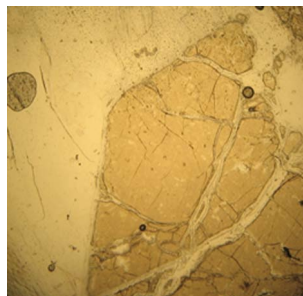
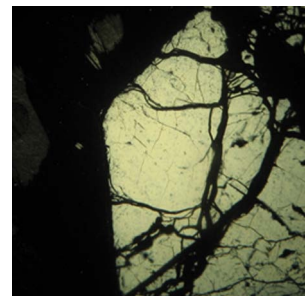


Рис. 6. Кристалл турмалина 2 мм длиной, в шлифе параллельно оси L_3 , объектив $\times 5$

Fig. 6. Tourmaline crystal, 2 mm length, thin section performed parallel to L_3 axis, magnifying $\times 5$



на чечевицу с двумя простыми формами: с одной стороны более развитая пирамида, с противоположной — слабовыпуклая. Пирамиды — асимметричны. Наиболее развитая грань пирамиды имеет символы $\{10\bar{1}1\}$, и слабо развита маленькая грань треугольной формы $\{02\bar{2}1\}$. Призма практически не сформирована, и наблюдается несимметричная, уплощенная дипирамида (рис. 4). В большинстве кристаллов призма отсутствует. Отношение длины кристалла к ширине составляет 1,5:15, 1:5.

Чечевицевидная форма кристаллов турмалина фиксируется в шлифах, изготовленных параллельно оси L_3 (рис. 6). Плеохроизм турмалина проявляется от светло-бежевого до бежевого цвета, в скрещенных николях наблюдаются серые цвета интерференции. Одной из особенностей минерала является отсутствие газово-жидких включений. Твердые включения представлены розовым цирконом до 1,5 мм и чешуйками тунгстенита до 5 мм.

На поверхности серпентин-хлоритовой массы часто отмечаются слепки кристаллов турмалина после того, как они вывалились из породы. Вблизи поверхности слепка белая минеральная масса более плотная, как бы утрамбованная (рис. 7). Здесь же наблюдаются щелевидные пустотки размером $5 \times 0,5$ мм, выполненные бесцветными прозрачными длиннопризматическими уплощенными кристалликами арагонита (рис. 8). Пустотки часто находятся в агрегате брусита.

Турмалин в серпентин-хлоритовой массе всегда покрыт тонкой светло-серой пленкой серпентина до 1 мм толщиной (рис. 5). Многие кристаллы турмалина имеют ростовую зональность. Например, наблюдался кристалл размером 2,2 см в поперечнике, сформированный двумя пирамидами. В его центральной части находится ранний кристалл турмалина (затравка) также без призмы, окруженный 9 зонами роста (рис. 9).

Для химического состава турмалина характерно содержание оксида железа (сотые доли %) и натрия (десятые доли), но значения MgO составляют свыше 14%, CaO — до 4,9%. Геохимической особенностью данного турмалина является заметное уменьшение содержаний Mg , Ca ,

Na , Ti , V , F от центра кристалла к периферии, а Si и Al — увеличение в том же направлении (табл. 1, 2). Аналогичное явление, но для турмалина из пегматитовой жилы Музейная, было установлено [17]. Турмалин содержит Cr до 0,06, V до 0,8 и F до 1,3 мас.%. На диаграмме составов турмалина [10] исследуемые образцы попадают в поле увита.

Данную минеральную ассоциацию турмалина можно сравнить с магалами — рудой, содержащей ювелирную шпинель. Они сложены серпентином и хлоритом, а также гидроталькитом [9], которого нет в изучаемой породе. В ней присутствует не характерное для магалов большое количество карбонатов. Для химического состава серпентин-хлоритового агрегата характерны высокие содержания магнезии, более 34, и оксида кальция — выше 13 мас.%, а также очень высокие содержания легколетучих — потери при прокаливании составили выше 29 мас.% (табл. 3).

Исследуемые турмалины обладают красивым зеленым цветом и при относительно небольшом



Рис. 7. Отпечаток вершины турмалина в серпентин-хлоритовой массе

Fig. 7. Imprint of a tourmaline crystal's top in serpentine-chlorite mass



Рис. 8. Пустотка вблизи турмалина, выполненная кристаллами арагонита, длина 1,5 см

Fig. 8. Cavity near tourmalines, containing aragonite crystals, length around 1.5 cm

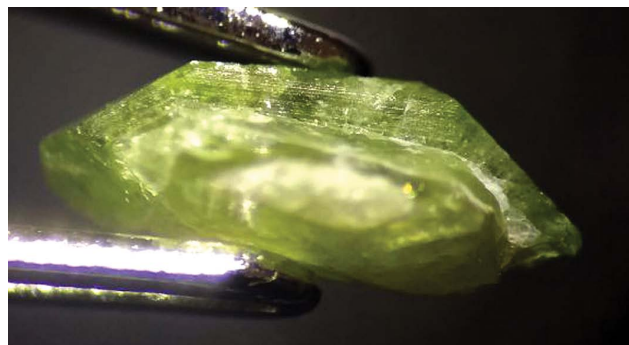


Рис. 9. Поперечный срез зонального кристалла турмалина, длина 2,2 см

Fig. 9. Cross section of a tourmaline crystal showing zonal structure, 2.2 cm

Таблица 1. Химический состав зеленого турмалина от центра зерна к периферии
Table 1. Chemical composition of green tourmaline from center to periphery

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	F	B ₂ O ₃	сумма
1	35,61	1,40	25,42	0,03	14,14	4,92	0,11	0,06	0,82	1,17	10,00	93,68
2	35,94	1,12	26,25	0,02	14,27	4,50	0,19	0,05	0,32	1,33	10,00	93,99
3	35,37	1,09	26,63	-	13,94	4,50	0,20	0,03	0,16	1,19	10,00	93,11
4	35,48	1,44	26,79	0,01	13,82	4,35	0,23	0,01	0,12	1,07	10,00	93,32
5	35,21	1,38	27,45	-	13,37	4,23	0,25	0,02	0,18	0,93	10,00	91,02
6	35,17	1,62	27,51	0,01	13,63	4,23	0,25	0,02	0,14	0,91	10,00	94,49
7	35,24	1,57	27,16	0,02	13,55	4,18	0,26	0,02	0,18	0,88	10,00	94,06
8	35,85	0,74	27,79	0,03	13,81	4,17	0,25	0,02	0,11	1,15	10,00	94,92
9	35,88	0,78	27,29	0,02	13,76	4,07	0,28	0,05	0,24	1,05	10,00	93,42
10	35,20	1,09	28,42	0,01	13,07	3,93	0,28	-	0,15	0,89	10,00	93,04
11	35,91	0,57	28,54	0,03	12,35	2,87	0,42	0,05	0,76	0,43	10,00	94,13
12	36,07	0,41	28,71	0,02	12,44	2,79	0,46	0,06	0,65	0,36	10,00	91,97
13	36,22	0,58	29,33	0,01	12,44	2,48	0,52	0,03	0,09	0,60	10,00	92,30
14	36,08	0,72	28,40	0,01	12,56	2,62	0,49	0,06	0,29	0,61	10,00	91,84
15	36,18	0,38	29,20	0,03	11,79	2,14	0,51	0,05	0,64	0,16	10,00	92,08
16	36,00	0,36	30,33	0,02	11,69	1,81	0,65	0,03	0,07	0,13	10,00	91,09
17	36,09	0,35	29,98	0,02	11,69	1,78	0,63	0,05	0,14	0,21	10,00	90,95
18	36,45	0,34	30,31	0,02	11,76	1,76	0,63	0,02	0,16	0,20	10,00	91,65
19	36,46	0,36	30,25	0,01	11,62	1,68	0,65	0,06	0,14	0,14	10,00	91,67
20	36,37	0,35	30,23	0,02	11,67	1,68	0,64	0,01	0,13	0,09	10,00	91,19
21	36,36	0,32	30,42	0,02	11,63	1,67	0,66	-	0,19	0,14	10,00	91,41

Примечание. Содержание B₂O₃ — не определялось, расчетное. В 7-й и 9-й пробах установлен СоО до 0,01%.

количестве трещин могут быть использованы в качестве ограночного материала. Овальные кристаллы позволяют без особых затруднений придавать им форму кабошона (рис. 10).

Условия образования турмалина

Наблюдения за соотношениями минералов магнезиальных скарнов и турмалина на месторождении Кухилал позволили нам сделать вывод об их сингенетичности. Рассматриваемый турмалин образовался в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Вышеприведенные материалы демонстрируют очевидную генетическую связь турмалина с магнезиальными скарнами.

Ранее на месторождениях магнезиально-скарновой формации, которые можно сравнивать с Кухилалом, было установлено, что боратные минералы, включая турмалин, образуются на поздней стадии скарнового процесса [11, 12, 15]. Упомянутые авторы отмечают редкость турмалина в магнезиальных скарнах. Бор, который является одним

из главных элементов турмалина, по их мнению, был привнесен.

Источник бора для турмалина из магнезиально-скарновой формации Кухилала мы предполагаем в составе протомгнезитов. Они образовались в обстановке соленосного мелководного морского бассейна. П.П. Смолин [14] отнес магнезиты, вмещающие магнезиальные скарны, к магнезиально-карбонатной формации, образовавшейся в результате процесса эвапоризации. Осадочный бор для турмалина также парагенетически связан с этой формацией. В ее контурах наряду с различными солями бора мог бы сформироваться апоосадочный турмалин. Аутигенное образование турмалина было установлено в составе юрских соленосных отложений месторождения Ходжа-Мумин. На этом месторождении были обнаружены бесцветные двухвершинные длинно-призматические кристаллы турмалина размером 2×0,2 мм в галите и соленосной глине [10]. Месторождение галита Ходжа-Мумин расположено

Таблица 2. Формульные коэффициенты турмалина, рассчитанные на 19 катионов
Table 2. Formula coefficients of tourmaline, counted for 19 cations

№	Si	Ti	Al	Mg	Ca	Na	Cr	V	F
1	6,09	0,18	5,12	3,60	0,90	0,04	0,01	0,11	0,63
2	6,11	0,14	5,26	3,62	0,82	0,06	0,01	0,04	0,71
3	6,06	0,14	5,37	3,56	0,83	0,07	-	0,02	0,64
4	6,06	0,18	5,39	3,52	0,80	0,08	-	0,02	0,58
5	6,03	0,18	5,54	3,41	0,78	0,08	-	0,02	0,5
6	6,00	0,21	5,52	3,46	0,77	0,08	-	0,02	0,49
7	6,03	0,20	5,47	3,46	0,77	0,08	-	0,02	0,48
8	6,08	0,09	5,55	3,49	0,76	0,08	-	0,02	0,62
9	6,11	0,10	5,48	3,49	0,51	0,09	0,01	0,03	0,56
10	6,02	0,14	5,72	3,33	0,72	0,09	-	0,02	0,48
11	6,19	0,07	5,80	3,18	0,53	0,14	0,01	0,1	0,24
12	6,20	0,05	5,72	3,19	0,51	0,15	0,01	0,09	0,19
13	6,21	0,07	5,93	3,18	0,46	0,17	-	0,01	0,32
14	6,23	0,09	5,77	3,23	0,48	0,17	0,01	0,04	0,33
15	6,27	0,05	5,97	3,05	0,40	0,17	0,01	0,09	0,09
16	6,22	0,05	6,17	2,86	0,33	0,22	-	0,01	0,07
17	6,25	0,05	6,12	2,91	0,33	0,21	0,01	0,02	0,12
18	6,27	0,04	6,14	2,90	0,32	0,21	-	0,02	0,11
19	6,29	0,05	6,15	2,86	0,31	0,22	0,01	0,02	0,07
20	6,28	0,05	6,15	2,87	0,31	0,21	-	0,02	0,05
21	6,26	0,04	6,17	2,85	0,31	0,22	-	0,03	0,08

Таблица 3. Химический состав серпентин-хлоритовой массы без турмалина, в мас. %
Table 3. Chemical composition of serpentine-chlorite mass, excluding tourmaline (wt %)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	сумма
19,86	0,03	2,94	0,15	0,06	34,32	13,33	0,03	0,04	0,03	29,04	99,83

Примечание. В составе породы присутствуют в мас. %: S — 0,02, Cr и V — по 0,03, Sr — 0,01.

в 400 км к западу от Кухилала. Его территория входила в состав раннедокембрийского Ирано-Пакистанского солеродного бассейна, который был выделен М.А. Жарковым [4] и занимал площадь более 2 млн км². В юрское время процесс повторился. Юрский турмалин из Ходжа-Мумина позволяет аргументировано предположить, что рассматриваемый турмалин мог бы образоваться еще в дометаморфическую стадию диагенеза в архейское время.

На прогрессивном этапе самого раннего регионального метаморфизма в условиях гранулитовой фации были сформированы шпинель, форстерит [9] и турмалин, которые мы наблюдаем в составе первой минеральной ассоциации.

Серпентин-хлоритовая порода является после-скарнововой, а турмалин в ней — реликтовым, первичным минералом. Упругие свойства этой породы способствовали сохранности кристаллов турмалина от тектонических деформаций. Его чечевицевидная форма с отсутствием в ней призм, возможно, обусловлена восстановительной средой кристаллизации при низком содержании SiO₂, характерной для Кухилала. Восстановительная среда установлена по обилию агрегатов пирротина. Концентрически-зональное строение кристаллов турмалина с многочисленными зонами роста свидетельствует о многостадийности процесса его кристаллизации.



Рис. 10. Кабошоны из исследуемых турмалинов: слева 0,3, по центру — 0,5, крупный — 7,7 карата, крайний справа — 0,36 (общая масса — 8,86 карата). На заднем плане препарированная серпентин-хлоритовая порода с одиночным кристаллом турмалина

Fig. 10. Cabachons, made from studying tourmalines: left — 0.3 ct, central small — 0.5 ct, central big — 7.7 ct, right 0.36 ct. On the background — prepared sample of serpentine-chlorite rock with a single tourmaline crystal

Заключение

1) Турмалин из магнезиальных скарнов Кухи-лала имеет весьма необычный габитус — отсутствует главная простая форма кристалла «призма». Чем обусловлено образование такой редкой формы однозначно, ответить мы не можем. Скорее всего, это связано с особенностями состава протовещества (низким содержаниями SiO_2 и Al_2O_3), из которого сформировался турмалин.

2) Химический состав турмалина является отражением состава вмещающей среды. В минерале, после кремния и алюминия, доминируют магний и кальций при ничтожных содержаниях железа и натрия. Турмалин отнесен к фторсодержащему увиту.

3) Бор для турмалина сформировался на стадии седиментации эвапоритов в архейскую эру.

Метаморфизм гранулитовой фации привел к кристаллизации и перекристаллизации турмалина и определил его парагенезис с форстеритом и шпинелью.

4) В турмалине сохранились следы ранней генерации (затравочные кристаллы) и рост вокруг них новых зон кристалла. Все кристаллы и агрегаты турмалина из магалов покрыты серпентиновой оболочкой.

5) Турмалиновые магалы сформировались в послескарновую стадию. В них турмалин является реликтовым минералом, а поздние пластичные минералы (серпентин, хлорит) способствовали сохранению кристаллов в более поздних тектоно-метаморфических процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буданова К.Т., Буданов В.И. Метамагматические формации Юго-Западного Памира. Душанбе: Дониш, 1983. 275 с.
2. Гуревич Я.А. Особенности геологического строения и разведки месторождений благородной шпинели Кухи-Лал (ЮЗ Памир) // В кн.: Геология, поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. Душанбе, 1987. С. 17—20.
3. Другалёва Т.А., Гуревич Я.А., Иорданский Л.В., Смолин П.П. Гипермагнезиальные скарноиды Юго-Западного Памира как уникальное гипермагнезиальное сырье // В кн.: Высокомагнезиальное минеральное сырье. М.: Наука, 1991. С. 190—218.
4. Жарков М.А. Закономерности размещения и условия образования эвапоритовых формаций, содержащих магнезиальные минералы // В кн.: Высокомагнезиальное минеральное сырье. М.: Наука, 1991. С. 61—76.
5. Киселев В.И., Буданов В.И. Месторождения докембрийской магнезиально-скарновой формации Юго-Западного Памира. Душанбе: Дониш, 1986. 223 с.

6. Колесникова Т.А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // В кн.: Драгоценные и цветные камни. М.: Наука, 1980. С. 181—198.
7. Литвиненко А.К. Генетическая позиция благородной шпинели в магнезиальных скарнах Юго-Западного Памира // ЗВМО. 2003. Ч. XXXII. № 1. С. 76—81.
8. Литвиненко А.К. Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 4. С. 305—312.
9. Литвиненко А.К., Романова Е.И. Роль пустот в образовании кристаллов на месторождении благородной шпинели Кухи-Лал, Юго-Западный Памир // Отечественная геология. 2020. № 1. С. 79—86.
10. Минералы. М.: Наука, 1981. 613 с.
11. Перцев Н.Н. Высокотемпературный метаморфизм и метасоматизм карбонатных пород. М.: Наука, 1977. 256 с.
12. Перцев Н.Н., Кулаковский А.Л. Структурно-петрологическая эволюция Таёжного боро-железородного месторождения (Центральный Алдан, Россия) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 3—21.
13. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1976. 207 с.
14. Смолин П.П. Условия формирования месторождений магнезита, талька и брусита в эволюции магнезиально-карбонатных толщ // Геохимия. Петрология (Докл. сов. геологов на XXV сессии МГК). М.: Наука. 1976. С. 450—457.
15. Шабынин Л.И. Формация магнезиальных скарнов. М.: Наука, 1973. 213 с.
16. Файзиев А.Р., Эльназаров С.А. Минералогические особенности и генезис Кухилальского месторождения благородной шпинели (Юго-Западный Памир). Душанбе; Дониш, 2016. 135 с.
17. Яковлева О.С., Пеков И.В., Кононкова Н.Н. Новые данные о турмалинах месторождения Кухилал (Юго-Западный Памир). Мат-лы V Междунар. симпозиума «Минералогические музеи». СПб., 2005. С. 204—205.

REFERENCES

1. Budanova K.T., Budanov V.I. Metamagmatic formations of the Southwestern Pamirs. Dushanbe: Donish, 1983. 275 p. (In Russian).
2. Gurevich Ya.A. Features of the geological structure and exploration of deposits of noble spinel of Kuhlal (Southwestern Pamirs) // In book: Geology, prospecting and exploration of deposits of colored stones of Tajikistan. Dushanbe, 1987. P. 17—20 (In Russian).
3. Drugaleva T.A., Gurevich Ya.A., Jordansky L.V., Smolin P.P. Hypermagnesial skarnoids of the Southwestern Pamirs as a unique hypermagnesial raw material // In book: High-magnesial mineral raw materials. Moscow: Nauka, 1991. P. 190—218 (In Russian).
4. Zharkov M.A. Regularities of placement and conditions of formation of evaporite formations containing magnesian minerals // In book: High-magnesial mineral raw materials. Moscow: Nauka, 1991. P. 61—76 (In Russian).
5. Kiselev V.I., Budanov V.I. Deposits of the Precambrian magnesia-scarn formation of the Southwestern Pamirs. Dushanbe: Donish, 1986. 223 p. (In Russian).
6. Kolesnikova T.A. Noble spinel, clinohumite and manasseite deposits of Kuhlal (Pamir) // In book: Precious and colored stones. Moscow: Nauka, 1980. P. 181—198 (In Russian).
7. Litvinenko A.K. The genetic position of noble spinel in the magnesian skarns of the Southwestern Pamirs // ZVMO. 2003. Ch. XXXIII. No. 1. P. 76—81 (In Russian).
8. Litvinenko A.K. Nuristan-South Pamir province of Precambrian gems // Geology of ore deposits. 2004. Vol. 46. No. 4. P. 305—312 (In Russian).
9. Litvinenko A.K., Romanova E.I. The role of voids in the formation of crystals at the Kuhlal noble spinel deposit, South-Western Pamir // Domestic Geology. 2020. No. 1. P. 79—86 (In Russian).
10. Minerals. Moscow: Nauka, 1981. 613 p. (In Russian).
11. Pertsev N.N. High-temperature metamorphism and metasomatism of carbonate rocks. Moscow: Nauka, 1977. 256 p. (In Russian).
12. Pertsev N.N., Kulakovskiy A.L. Structural and petrological evolution of the Taiga boron-iron ore deposit (Central Aldan, Russia) // Geology of ore deposits. 2002. Vol. 44. No. 1. P. 3—21 (In Russian).
13. Dismemberment of stratified and intrusive formations of Tajikistan. Dushanbe: Donish, 1976. 207 p. (In Russian).
14. Smolin P.P. Conditions of formation of deposits of magnesite, talc and brucite in the evolution of magnesia-carbonate strata // Geochemistry. Petrology (Dokl. sov. geologists at the XXV session of the MGK). Moscow: Nauka, 1976. P. 450—457 (In Russian).
15. Shabynin L.I. Formation of magnesian skarns. Moscow: Nauka, 1973. 213 p. (In Russian).
16. Fayziev A.R., Elnazarov S.A. Mineralogical features and genesis of the Kuhlal noble spinel deposit (Southwestern Pamir). Dushanbe; Donish, 2016. 135 p. (In Russian).
17. Yakovleva O.S., Pekov I.V., Kononkova N.N. New data on tourmalines of the Kuhlal deposit (South-Western Pamir) // Proceedings of the V International Symposium "Mineralogical Museums". Saint-Peterburg, 2005. P. 204—205 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Романова Е.И. — обработала и проанализировала минералогические данные, подготовила графическую информацию, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Якушина О.А. — обработала и проанализировала кристаллохимические и рентгеноструктурные данные, подготовила графическую информацию, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Ekaterina I. Romanova — processed and analyzed mineralogical data, prepared graphical information, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Olga A. Yakushina — processed and analyzed crystal chemical and X-ray structural data, prepared graphical information, 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

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

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

e-mail: akl1954@yandex.ru

тел.: +7 (916) 655-08-08

SPIN-код: 6127-2320

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

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

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

e-mail: akl1954@yandex.ru

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

SPIN-code: 6127-2320

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

Романова Екатерина Ивановна — старший преподаватель кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе»

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

e-mail: romanovaei@mgri.ru

тел.: +7 (916) 520-78-06

SPIN-код: 4657-5368

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2763-6626>

Ekaterina I. Romanova — senior lecturer of the Department of Mineralogy and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

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

e-mail: romanovaei@mgri.ru

tel.: +7 (916) 520-78-06

SPIN-code: 4657-5368

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2763-6626>

Якушина Ольга Александровна — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»; профессор кафедры общей и прикладной геофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна».

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

19, ул. Университетская, г. Дубна, Московская область 141980, Россия

e-mail: yak_oa@mail.ru

тел.: +7 (916) 770-28-30

SPIN-код: 1806-2277

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1166-1448>

Olga A. Yakushina — Dr. of Sci. (Tech.), Leading Researcher, All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N. M. Fedorovsky, Prof. of the General and Applied Geophysics Department, Dubna University.

31, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

19, Universitetskaya str., Dubna, Moscow region 141980, Russia

e-mail: yak_oa@mail.ru

tel.: +7(916)770-28-30

SPIN-code: 1806-2277

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1166-1448>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-67-73>

УДК 550.8.052. 550.831.23. 550.812.14



ОПЫТ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЯ ГРУНТОВ В ДИАПАЗОНЕ 0,05—0,5 Гц С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГРАВИМЕТРА ГНУ-КВ

А.П. БЕЛОВ^{1,*}, А.М. ЛОБАНОВ¹, А.М. ЕРОХИН²¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия² ООО «Петровайзер»
4, кор. 2, Макарова, г. Тверь 170002, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Чувствительный элемент отечественного гравиметра ГНУ-КВ представляет собой низкочастотный вертикальный сейсмограф Б.Б. Голицына, превосходящий по чувствительности к колебаниям грунтов современные промышленные сейсмографы типа СМ-ЗКВ, используемые на практике для регистрации вибрационных полей. Коллективом геофизиков МГРИ гравиметр ГНУ-КВ был адаптирован для работы в режиме портативной сейсмологической станции для регистрации естественных сейсмических колебаний в диапазоне частот 0,05—0,5 Гц. Учитывая эквивалентность гравитационного и инерциального поля, можно сказать, что опробованная технология позволяет не только обнаруживать низкочастотные колебания грунтов, но и оценивать возникающие при этом ускорения и амплитуды смещения грунтов для указанных частот.

Цель. Исследование возможности прибора ГНУ-КВ для регистрации и количественной оценки амплитуды колебания грунтов в мкм и в мГал.

Материалы и методы. Опробование метода определения аномальных участков повышенной вибрации грунтов путем регистрации с помощью гравиметра ГНУ-КВ колебаний грунтов в двух точках: в районе УЛК МГРИ и в районе РУДН вблизи тоннеля метро.

Результаты. В ходе исследования с целью определения амплитуды колебания грунтов в микрометрах и ускорения в $\text{см}/\text{с}^2 \times 10^{-3}$ (в мГал) был определен переводной коэффициент между результатами оцифрованного сигнала колебаний индикатора — маятника ГНУ-КВ и инерционными ускорениями в мГал.

Заключение. Проведенные исследования подтверждают возможности прибора ГНУ-КВ для количественной оценки физических параметров колебаний грунтов.

Ключевые слова: гравиметр ГНУ-КВ, амплитудно-частотная характеристика колебаний грунтов, техногенный микросейсмический фон, сейсмограф СМ-ЗКВ

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Белов А.П., Лобанов А.М., Ерохин А.М. Опыт амплитудно-частотной оценки колебания грунтов в диапазоне 0,05—0,5 Гц с использованием чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(2):67—73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-67-73>

Статья поступила в редакцию 31.10.2022

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

EXPERIENCE OF AMPLITUDE-FREQUENCY ESTIMATION OF GROUND VIBRATIONS IN THE RANGE OF 0,05–0,5 Hz USING THE SENSING ELEMENT OF THE GNU-KV GRAVIMETER

ALEXEY P. BELOV^{1,*}, ALEXANDER M. LOBANOV¹, ALEXANDR M. EROKHIN²

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

² *“Petroviser”
4 bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia*

ABSTRACT

Background. The responsive element of the GNU-KV Russian gravimeter comprises a Golitsyn low-frequency vertical seismograph, which outperforms modern industrial SM-3KV seismographs in terms of sensitivity to ground vibrations. A team of geophysicists at the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting modified the construction of GNU-KV to adapt this device to work in the mode of a portable seismological station for recording natural seismic vibrations in the frequency range of 0.05–0.5 Hz. Given the equivalence of gravitational and inertial fields, the presented technology is capable of not only detecting low-frequency ground vibrations, but also estimating accelerations and amplitudes of ground displacement at these frequencies.

Aim. To investigate the capabilities of the GNU-KV gravimeter for recording and estimating the amplitude of ground vibrations in μm and mGal.

Materials and methods. The proposed method for determining the anomalous areas of increased ground vibration using a GNU-KV gravimeter was tested in two geographical sites: in the vicinity of the Educational and Laboratory Complex of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting and in the area of the RUDN University near a subway tunnel.

Results. When determining the amplitude of ground vibrations in μm and their acceleration in mGal, the conversion coefficient for the results of a digital signal obtained by GNU-KV and inertial accelerations in mGal was determined.

Conclusion. The conducted studies confirm the capabilities of the GNU-KV gravimeter for the quantitative estimation of ground vibrations.

Keywords: GNU-KV gravimeter, amplitude-frequency characteristic, ground vibrations, technogenic microseismic background, SM-3KV seismograph

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

For citation: Belov A.P., Lobanov A.M., Erokhin A.M. Experience of amplitude-frequency estimation of ground vibrations in the range of 0,05–0,5 Hz using the sensing element of the GNU-KV gravimeter. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):67–73. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-67-73>

Manuscript received 31 October 2022

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

* Corresponding author

Твердая оболочка Земли постоянно испытывает собственные колебания в широком диапазоне частот, источниками которых являются природные и техногенные причины. Периоды, амплитуды, место и время существования этих колебаний, которые часто называют микросейсмическим фоном,

меняются в широких пределах [1, 2, 5]. В районах городских и промышленных застроек доминирующее влияние на характеристики колебаний земной поверхности оказывают техногенные источники: наземное и подземное движение транспорта, вибрация трубопроводов и тоннелей метро,

ветровые колебания зданий и др. Природные объекты в стадии промышленной разработки или эксплуатации (месторождения УВ, ПХГ) также генерируют широкий спектр колебаний земной поверхности [3, 4, 7].

Микросейсмические колебания по частотному составу можно приближенно разделить на три группы: высокочастотные — 30—100 Гц, среднечастотные — 10—30 Гц и низкочастотные — 3—10 Гц. Амплитудно-частотные спектры этих колебаний достаточно хорошо изучены, учитывая высокий уровень инерциальных ускорений, несмотря на очень малые амплитуды перемещения грунтов [3]. Основным инструментом таких исследований является вертикальный сейсмограф типа СМ-3КВ, представляющий собой вертикальную неастазированную пружину с катушкой индуктивности, перемещающейся относительно инертной массы и генерирующей электромагнитные колебания. Эти приборы успешно применяются для определения частотно-амплитудных и фазовых характеристик сейсмических колебаний в диапазоне 1—50 Гц [6]. В результате этих исследований определяется скорость сейсмических волн в диапазоне 0,01—100 мкм/с. Минимальная частота изучения микросейсмических колебаний ограничена пределом 2 Гц.

Колебания грунтов в диапазоне менее 1 Гц практически не изучены. Низкочастотные колебания имеют гораздо большие амплитуды по сравнению с равномошными высокочастотными колебаниями. Они распространяются на значительно большие расстояния, поскольку поглощение таких волн породами значительно меньше. Образование таких колебаний связано с динамическим состоянием крупных природных и промышленных объектов. К геологическим объектам, генерирующим подобные колебания, относятся тектонические структуры, залежи углеводородов, процессы отбора/закачки газа в подземных хранилищах газа (ПХГ), состояние конструктивных элементов тоннелей и др. Целью наших исследований является обоснование возможности использования чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ для качественного и количественного изучения низкочастотных колебаний грунтов в диапазоне частот 0,05—0,5 Гц. Чувствительный элемент гравиметра представляет собой горизонтальный астазированный маятник в виде сейсмографа Б.Б. Голицына. Метод измерения приращений силы тяжести — компенсационный, с помощью измерительного микрометричного устройства и компенсационной пружины. Для регистрации колебаний грунтов окуляр гравиметра был

заменен на цифровой видеорегистратор (видеокамера), а маятник гравиметра был выведен в режим свободных колебаний, которые записывались и оцифровывались на компьютере. Собственная частота чувствительного элемента гравиметра ГНУ-КВ равна 0,1—0,2 Гц, т.е. почти такая же, как и у современных стационарных сейсмографов. Чувствительность гравиметра к инерциальным и гравитационным ускорениям — порядка 3—5 мкГал, что достаточно для записи инфранизких частот колебаний грунтов в диапазоне 0,05—0,5 Гц и оценки амплитуд смещения грунтов таких колебаний в мкм.

Благодаря измерительной компенсационной системе гравиметр, в отличие от сейсмографа, является не только индикатором изменения гравитации и инерции, но и измерительным инструментом этих ускорений. Измерительное компенсационное устройство характеризуется постоянной ценой деления оборота микрометричного винта, которое определяется путем эталонирования гравиметра на полигоне или в лаборатории на специальном стенде и может быть использовано для создания кажущихся ускорений для чувствительного элемента. Таким образом можно моделировать колебательные движения маятника при «внесении» в природный колебательный процесс различных амплитуд и колебаний в виде отдельных импульсов, ступенчатых сигналов или даже низкочастотных колебаний заданной частоты и амплитуды. Это необходимо для экспериментального определения переходной характеристики между входным и выходным сигналами и численного определения инерциальных ускорений и амплитуд входящих сигналов.

По общепринятой практике колебания грунтов аппроксимируют гармоническими функциями — синусоидой с периодом ω и амплитудой A :

$$Z = A \sin(\omega t),$$

ускорения колебаний для различных частот и амплитуд будут выражаться формулой:

$$d^2z/dt^2 = \omega^2 A \sin(\omega t).$$

Измеряя ускорение d^2z/dt^2 и частоту колебаний ω , можно вычислить амплитуду колебаний в микрометрах. Так, например, при $d^2z/dt^2 = 1,6$ мГал и $\omega = 0,2$ Гц максимальная амплитуда смещения волны будет равна 0,01 мм.

В настоящее время инерциальные и гравитационные ускорения в науке считаются эквивалентными. В гравиметрии чувствительность относительных статических гравиметров достигает 0,01 мкГал, что эквивалентно инерциальному

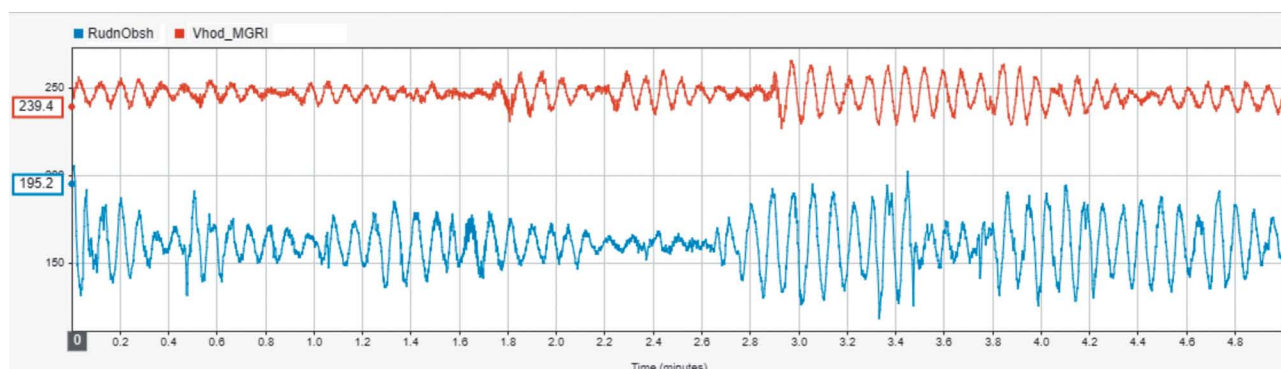


Рис. 1. График временного представления замеров на пунктах «РУДН» и «МГРИ»
Fig. 1. A graph of time representation of measurements at the points “RUDN” and “MGRI”

ускорению в $0,1 \text{ нм/с}^2$. Чувствительность системы отечественных гравиметров ГНУ-КВ гораздо ниже и составляет порядка 3—10 мГал. Тем не менее эти приборы уверенно регистрируют низкочастотные колебания в указанном диапазоне и интенсивности частот. Пример такой регистрации представлен на рисунке 1.

Вследствие переходной характеристики чувствительного элемента гравиметра на входной сигнал, его фильтрационных характеристик, а также неизвестного направления суммарного вектора входящего сигнала его реакция на инерциальные ускорения подставки прибора будет несколько иной, то есть отклонения маятника не будут в точности совпадать с характером колебаний основания гравиметра, а будут доминировать амплитуды гармоник, совпадающие с его частотной характеристикой и с вертикальным фронтом волн. Вычислить теоретические значения переходной характеристики не представляется возможным, так как технические параметры чувствительного элемента нам точно не известны и направление фронта волн также неизвестно. Величину амплитуды инерциальных ускорений исследуемых частот можно оценить приближенно эмпирически путем масштабирования отчетов в единицах ускорений. Для оценки величины амплитуды отклонения маятника гравиметра в единицах ускорения можно использовать три способа:

- путем подачи на чувствительную систему калибровочного единичного импульса инерциального ускорения (а также ступенчатого импульса, калибровочного синусоидального сигнала заданной частоты и амплитуды);
- использовать нормальный вертикальный градиент силы тяжести;
- изменением наклона установки гравиметра;

Нами использованы первые два метода. В первом случае на чувствительную систему мы подавали заданный сигнал путем поворота микрометричного винта компенсационной пружины на 0,1 оборота (что соответствует амплитуде, равной 0,1 значения цены деления микрометричного устройства, примерно $\pm 0,6 \text{ мГал}$). Это будет калибровочный сигнал. Его можно выполнить как ступенчатый сигнал, как единичный импульс или как синусоидальный сигнал с периодом 5—10 с (в ручном исполнении). Анализируя записи регистрирующего гравиметра, мы оценили переводной коэффициент цифровых отсчетов в единицы ускорения.

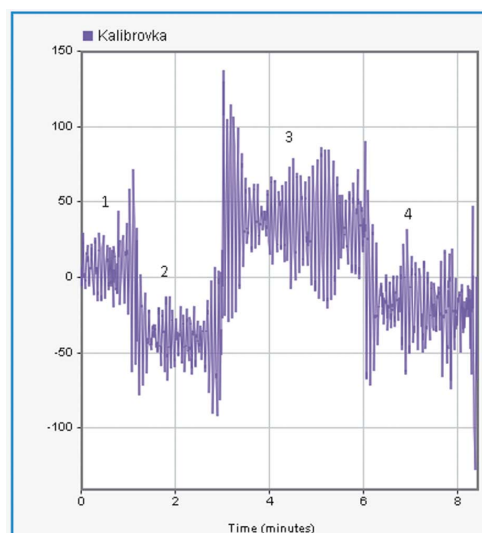


Рис. 2. График колебаний индикатора ГНУ-КВ при проведении эксперимента по калибровке. Числами 1—4 отмечены периоды с различным положением калибровочного винта
Fig. 2. A graph of fluctuations of the GNU-KV indicator during the calibration experiment. The numbers 1—4 indicate periods with different positions of the calibration screw

Для калибровки показаний гравиметра вторым способом мы проводили записи микросейсм на одной и той же точке, но на разных высотах, используя в качестве эталона изменения ускорения силы тяжести, нормальный вертикальный градиент силы тяжести, равный 0,3086 мГал/м. Расстояния между центрами интервалов записей, деленные на приращения калибровочного сигнала, дают представление о величине переводного коэффициента. Проводя описанные экспериментальные калибровочные работы, мы определили оценочную величину переводного коэффициента для программы компьютерной регистрации и обработки. Образцы регистраций и их спектры представлены на рисунках 2, 3.

Представленные спектры колебаний маятника гравиметра показывают, что АЧХ характеристика

при «наложении» калибровочного импульса не изменилась при калибровке.

Основными принципиальными отличиями предлагаемого метода (оцифровка колебания индикатора гравиметра типа ГНУ-КВ) по сравнению с используемыми в настоящее время сейсмографами являются:

- измерение колебаний грунтов в более низком частотном и амплитудном диапазонах, в границах 0,05—0,5 Гц. Как показывает практика, существующие методы ограничиваются частотами от 2 Гц;
- чувствительность гравиметра к низкочастотным колебаниям очень высокая и измеряется микрогалами (1—0,1) нм/с²;
- возможность моделирования колебаний инфранизкой частоты и разной амплитуды и оценки переходной характеристики датчика;

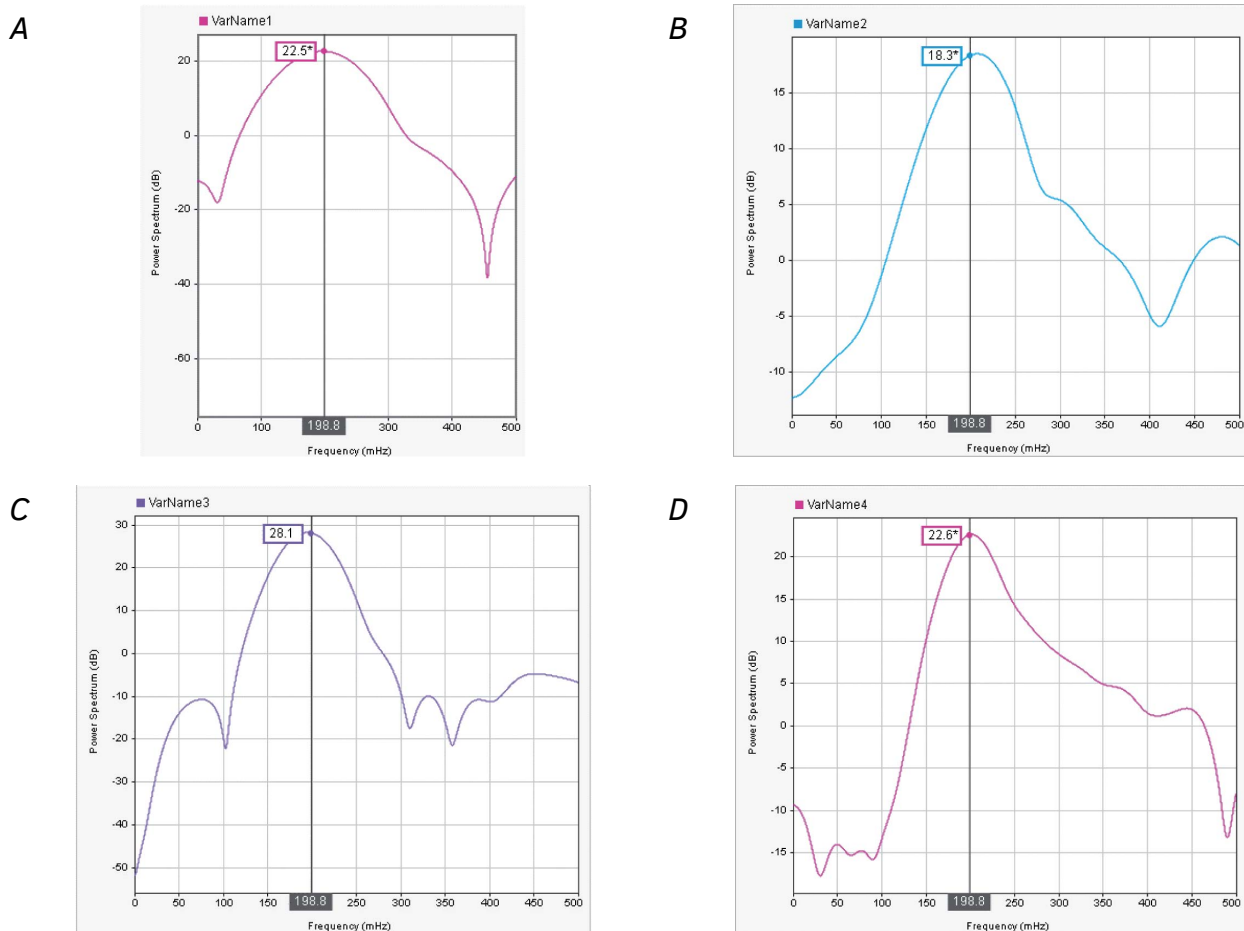


Рис. 3. Графики периодов колебаний индикатора ГНУ-КВ в частотной области: А — при положении калибровочного винта 0; В — при положении калибровочного винта -1; С — при положении калибровочного винта +2; D — при возврате калибровочного винта в положение ноль (исходное)

Fig. 3. Graphs of the periods of fluctuations of the GNU-KV indicator in the frequency domain: A — at the position of the calibration screw 0; B — at the position of the calibration screw -1; C — at the position of the calibration screw +2; D — when the calibration screw is returned to the zero (initial) position

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

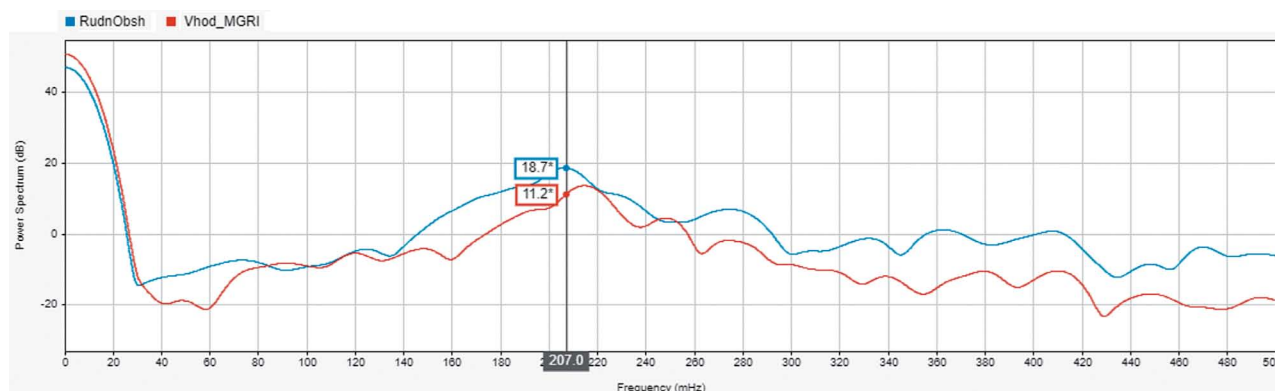


Рис. 4. Частотное представление замеров на пунктах «РУДН» и «МГРИ», где частота от 0 до 0,5 Гц

Fig. 4. Frequency representation of measurements at the points "RUDN" and «MGRI» where the frequency is from 0 to 0.5 Hz

- высокая точность нивелирования прибора, позволяющая более точно регистрировать колебания;
- возможность оценки амплитуды колебания грунтов в мГал.

Заключение

Результаты таких исследований могут быть использованы как для фундаментальных геофизических исследований низкочастотных колебаний земной коры при непрерывном мониторинге с целью изучения процессов подготовки механизмов разрушения динамических напряжений (про-

седания грунтов, оползней и др.), механизма подготовки землетрясений, так и для решения многих прикладных задач геологии и геофизики. В частности, для районирования и изучения динамически нестабильных природных объектов, в инженерной, проектной, экологической деятельности, исследовании строения месторождений УВ, выделении зон вертикальных плотностных контактов (разломов), выделения зон поглощения, при проектировании места заложения поисково-разведочных, эксплуатационных и нагнетательных скважин, оперативном контроле динамики добычи УВ сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буллен К.Е. Плотность Земли. // Под ред. В.Н. Жаркова. М.: Мир, 1978. С. 308—340.
2. Торге В. Гравиметрия // Под ред. А.П. Юзefовича. М.: Мир, 1999. С. 75—76.
3. Лобанов А.М., Романов В.В. Перспективы гравиметрии при изучении динамически нестабильных природных объектов // Разведка и охрана недр. 2015. № 7. С. 42—46.
4. Николаевский В.Н. Изменения сейсмических волн из-за присутствия газа в пластах // Геофизика. 2014. № 3. С. 14—20.
5. Лобанов А.М., Каххоров У.Х., Гарбацевич В.А. Опыт регистрации инфранизкочастотных гравиинерциальных колебаний. Троицк: ИЗМИРАН, 2012.
6. Бережной Д.В., Бирляцев Е.В., Бирляцева Т.Е., Кипоть В.Л., Рыжов В.А., Тумаков Д.Н., Хромченков М.Г. Анализ спектральных характеристик микросейсм как метод изучения структуры геологической среды. Казань: КГУ, 2008. С. 360—386.
7. Birkelo B., Duclos M., Artman B., Schechinger B., Witten B., Goertz A., Weemstra K., Hadidi M.T. A passive low-frequency seismic survey in Abu-Dhabi. SEG, Denver, 2010.

REFERENCES

1. Bullen K.E. Earth Density // Ed. by V.N. Zharkov. Moscow: Mir, 1978. P. 308—340 (In Russian).
2. Torge V. Gravimetry // Ed. by A.P. Yuzefovich. Moscow: Mir, 1999. P. 75—76 (In Russian).
3. Lobanov A.M., Romanov V.V. Prospects of gravimetry in the research of dynamically unstable natural objects // Exploration and protection of mineral resources. 2015. No. 7. P. 42—46 (In Russian).
4. Nikolaevsky V.N. Changes in seismic waves due to the presence of gas in formations // Geophysics. 2014. No. 3. P. 14—20 (In Russian).
5. Lobanov A.M., Kakhkhorov U.H., Gorbatshevich V.A. The experience of recording infra-low-frequency gravitational inertial oscillations. Troitsk: IZMIRAN, 2012 (In Russian).
6. Berezhnoy D.V., Biryaltsev E.V., Belyavtseva T.E., Kipot V.L., Ryzhov V.A., Tumakov D.N., Khrumchenkov M.G. Analysis of spectral characteristics of microseisms as a method of studying the structure of the geological environment. Kazan: KSU. 2008. P. 360—386 (In Russian).
7. Birkelo B., Duclos M., Artman B., Schechinger B., Witten B., Goertz A., Weemstra K., Hadidi M.T. A passive low-frequency seismic survey in Abu-Dhabi. SEG, Denver, 2010.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лобанов А.М. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, сформулировал основные идеи описанного метода, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Белов А.П. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ерохин А.М. — внес вклад в разработку концепции статьи, подобрал математический аппарат для обеспечения расчетов, указанных в статье, разработал программное обеспечение для проведения анализа исходных данных, обеспечил графическое представление данных, присоединился к подготовке текста статьи, окончательно утвердил публикуемую версию и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander M. Lobanov — made the main contribution to the development of the concept of the article, formulated the main ideas of the described method, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexey P. Belov — made the main contribution to the development of the concept of the article, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander M. Erokhin — contributed to the development of the concept of the article, selected a mathematical apparatus to ensure the calculations specified in the article, developed software for analyzing the source data, provided a graphical representation of the data, joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Александр Михайлович — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: lobanovam@mgri.ru
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52
SPIN-код: 8713-9468

Alexander M. Lobanov — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: lobanovam@mgri.ru
tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52
SPIN-code: 8713-9468

Белов Алексей Павлович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: belovap@mgri.ru
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-52

Alexey P. Belov* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: belovap@mgri.ru
tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-52

Ерохин Александр Михайлович — руководитель экспертно-методической группы подразделения ИТ ООО «Петровайзер».
4, корп. 2, Макарова ул., г. Тверь 170002, Россия
e-mail: erokhin_am@petroviser.ru
тел.: + 7 (915) 724-82-76

Alexander M. Erokhin — Head of the Expert and Methodological Group of the IT department, "Petroviser" LLC.
4, bld. 2, Makarova str., Tver 170002, Russia
e-mail: erokhin_am@petroviser.ru
tel.: + 7 (915) 724-82-76

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С.М. САЛЬМАНОВ¹, З.М. НАЗАРОВА², Ю.А. ЛЕОНИДОВА^{2,*}

¹ АО «Полиметалл УК»

², пр. Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Значительные перспективы для сохранности, бережного использования и устойчивого воспроизводства минерально-сырьевой базы (МСБ) горнодобывающего предприятия имеет разработка и внедрение в жизнь концепции жизненного цикла добываемого сырья. Для ее практической реализации необходима разработка системы теоретико-методологических, методических, аналитических, организационных процедур как со стороны государственных органов, так и со стороны научного сообщества и конечных недропользователей с концентрацией внимания на ответственности производителей.

Цель. Проведение детального анализа разработанных на сегодня теоретических концепций управления воспроизводством минерально-сырьевой базы (МСБ) горнодобывающих предприятий и оценка перспектив их использования.

Задачи: 1) анализ текущей ситуации процесса воспроизводства минерально-сырьевой базы; 2) изучение традиционных подходов к управлению воспроизводством минерально-сырьевых ресурсов; 3) оценка перспектив использования передовых концепций управления воспроизводством МСБ в горнодобывающей промышленности.

Материалы и методы исследования. Изучены публикации зарубежных и отечественных авторов в области устойчивого развития. Комплекс исследований включал анализ разработанных на сегодня теоретических концепций управления воспроизводством МСБ, группировку ключевых показателей для оценки устойчивости горнодобывающего предприятия, сравнение подходов к управлению воспроизводством МСБ и другие.

Результаты. Проанализированы особенности механистического подхода к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы, обозначены его ограничения и недостатки. Отдельное внимание уделено концепции, которая базируется на жизненном цикле рудника или шахты. Описаны возможности и перспективы использования методологии управления пропускной способностью минеральных ресурсов.

Заключение. Для перехода на современные концепции менеджменту горнодобывающих компаний необходимо изменить менталитет от сверхприбыльной валовой отработки месторождений к добыче полезных ископаемых с учетом баланса социальных, экологических и экономических норм.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, воспроизводство, управление, жизненный цикл, рудник, переработка минерального сырья

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Сальманов С.М., Назарова З.М., Леонидова Ю.А. Концепции управления воспроизводством минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий и перспективы их применения в современных условиях. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):74—84. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-74-84>

Статья поступила в редакцию 11.04.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

* Автор, ответственный за переписку

MANAGEMENT CONCEPTS FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES

SERGEI S. SALMANOV¹, ZINAIDA M. NAZAROVA², YULIYA A. LEONIDOVA^{2,*}

¹ JSC "Polymetal Management"

2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia

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

ABSTRACT

Background. The development and implementation of the life cycle concepts of extracted raw materials seems promising for the sustainable development of mineral resources by a mining company. The practical implementation of such concepts requires a system of theoretical, methodological, analytical, and organizational procedures developed in close collaboration by state officials, researchers, and subsoil users with a particular focus on the responsibility of producers.

Aim. To carry out an analysis of the existing theoretical concepts for managing the mineral resource base of mining companies and to assess their implementation prospects. The following objectives were formulated: 1) to analyze the current situation in the field of reproduction of mineral resources; 2) to review the management approaches currently used to reproduce mineral resources; 3) to evaluate the prospects of modern concepts for the management of mineral resources in the mining industry.

Materials and methods of research. The authors analyzed the publications of foreign and domestic authors in the field of sustainable development. The complex of studies included an analysis of the theoretical concepts of management of reproduction of the mineral resource base developed to date, grouping of key indicators for assessing the sustainability of a mining enterprise, comparing approaches to management of reproduction of the mineral resource base and others.

Results. Specific features of the mechanistic approach to the management of mineral resources, as well as its limitations and drawbacks, were analyzed. Particular attention was paid to a concept of the life cycle of a mining plant. The possibilities and prospects of using a methodology of mineral resource capacity management are described.

Conclusions. The transition to modern concepts in the management of mining enterprises can be achieved under the condition of changing the existing orientation to super-profitable gross mining to that balancing social, environmental, and economic considerations.

Keywords: mineral resource base, reproduction, management, life cycle, mine, mineral processing

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

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

For citation: Salmanov S.S., Nazarova Z.M., Leonidova Yu.A. Management concepts for the sustainable development of mineral resources. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):74—84. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-74-84>

Manuscript received 11 April 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

* Corresponding author

Минерально-сырьевой комплекс является фундаментом развития экономических систем, поскольку обеспечивает перерабатывающую промышленность сырьем, является поставщиком энергоресурсов. Продукция добывающего сектора составляет львиную долю транспортных перевозок, а наличие на территории государства значительных залежей различных полезных ископаемых способно привлечь международные инвестиции в его хозяйственный комплекс [6]. Наиболее очевидным вкладом горнодобывающего сектора в экономику являются фискальные и валютные поступления. Однако помимо этого он также способствует экономическому росту смежных отраслей, включая повышение спроса на местные товары и услуги, росту инвестиций в инфраструктуру совместного использования. Страны, успешно использующие минеральные ресурсы для развития, сочетают справедливые налоговые режимы — которые оптимизируют фискальные затраты на протяжении всего срока реализации проекта по разработке недр, сохраняя при этом возможность привлечения капитальных вложений, — с политикой, защищающей сообщества и окружающую среду, а также препятствующей распространению анклавного типа развития [3].

Не подлежит сомнению тот факт, что сырьевые минеральные ресурсы необходимы для развития промышленных секторов во всех цепочках создания стоимости. Они определяют качество жизни и технологический прогресс. Сегодня использование металлов и минералов в мире увеличивается благодаря передовому технологическому прогрессу и быстрому росту спроса в развивающихся странах. По оценкам экспертов в период с 2020 по 2040 г. объем мирового потребления полезных ископаемых может удвоиться.

В связи с этим растет обеспокоенность правительств и социальной общественности по поводу потенциальных ограничений в обеспечении минеральным сырьем в силу того, что во многих странах, являющихся традиционными поставщиками ресурсов, горнодобывающая отрасль испытывает определенные сложности. Причинами такого состояния являются изменения геологических характеристик обрабатываемых месторождений (связанные с труднодоступностью рудных тел и со снижением

качества руд), усложнения в законодательной базе недропользования и снижение производительности. В свою очередь, поставки минерального сырья из вторичных источников недостаточны для удовлетворения спроса обрабатывающих отраслей.

Все эти проблемы усугубляются в современных условиях экономической неопределенностью и сложившимся в отрасли контекстом, когда разрабатывать месторождения полезных ископаемых становится все труднее, капитальные вложения на освоение месторождений и затраты на эксплуатацию рудника растут, а эффективное управление рентабельностью отдельных активов затруднено [2].

Принимая во внимание, что доступ к минеральному сырью из первичных источников, то есть из месторождений полезных ископаемых, строго детерминирован широким спектром геологических, технологических, экономических, экологических, правовых и социальных факторов, в настоящее время существует необходимость в обосновании применения концептуальных подходов к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы (МСБ) стран, которые будут поддерживать адаптивность и гибкость ее использования, согласно требованиям времени, экономическим и экологическим условиям. Необходимость достижения обозначенной цели и предопределила выбор темы статьи.

Воспроизводству минерально-сырьевой базы в разных условиях и на примере разных стран и управлению данным процессом посвятили свои труды многие отечественные (М.И. Агошков, А.В. Душин, М.Н. Игнатъева, С.Я. Каганович, Э.М. Назарова, В.П. Орлов, Н.В. Пашкевич, В.Е. Стровский и др.) и зарубежные ученые (L.C. Gray, J.M. Hartwick, H. Hotelling, R.M. Solow и др.).

Ключевые аспекты обеспечения контрольно-надзорной деятельности в сфере недропользования, государственные подходы к управлению недрами нашли отражение в трудах В.Е. Макарова, В.В. Руднева, О.В. Ткачёвой, Е.С. Мелехина, Е.И. Панфилова, J.E. McGill, H.F.J. Theart, P. Kavina, J. Sary и др.

Различные аспекты управления минерально-сырьевой базой, связанные с передовым

опытом поиска и разведки месторождений, методами рационального управления рудниками, планированием горных работ и добычей полезных ископаемых, оптимизацией переработки добытых минерально-сырьевых ресурсов, исследованы в работах Я.В. Алексеева, Е.С. Заскинда, О.М. Конкиной, М. Henckens, F. Biermann, P. Driessen и др.

Отдавая должное достижениям ученых, необходимо отметить, что современное состояние системы недропользования в стране требует комплексного обновления подходов к управлению использованием и воспроизводством минерально-сырьевой базы, которые позволят оптимизировать выгоды от горнодобывающего сектора, обеспечить стабильность его доходов, что будет способствовать макроэкономической стабильности и развитию экономики страны.

С учетом вышеизложенного возникает необходимость проведения детального анализа разработанных на сегодня теоретических концепций управления воспроизводством минерально-сырьевой базы с точки зрения компаний недропользователей и оценке перспектив их использования в современных условиях.

Минерально-сырьевая база как объект исследования и постоянного анализа в связи с ее исчерпаемостью пережила многочисленные предложения по совершенствованию подходов к управлению ее воспроизводством. И хотя некоторые из них принесли положительные плоды, они, как правило, были сосредоточены на отдельных решениях и процедурных улучшениях, а не на системном подходе: как найти, добывать, перерабатывать и продавать минеральные ресурсы оптимальным и устойчивым образом. Кроме того, большинство подходов к совершенствованию управления воспроизводством МСБ не учитывают принципы комплексного использования полезных ископаемых и специфику соответствующих процессов.

Рассмотрим наиболее интересные концепции управления воспроизводством МСБ на горнодобывающих предприятиях более подробно.

Самой распространенной концепцией управления воспроизводством минерально-сырьевой базы является **механистическая**. Она опирается на теорию механистических и органических систем, разработанную Т. Бернсом и Г. Сталкером [11]. Суть данного подхода заключается в том, что полезные ископаемые следует добывать до тех пор, пока не исчерпается весь потенциал горной системы, на базе которой работает добывающее предприятие, то есть объектом воспроизводства по сути является не минерально-сырьевая база

в целом, а конкретный участок недр, который обрабатывает рудник. При этом в состав ключевых показателей воспроизводства, согласно данной концепции, входит эффективность добычи, а также темпы потребления добытых ресурсов. Показатели экологии, деградации окружающей среды, сопоставления расходов и получаемых выгод в данном подходе являются второстепенными.

Данная концепция широко применялась в СССР и сейчас активно используется в некоторых странах Азии и Африки [4].

Механистическая концепция управления воспроизводством минерально-сырьевой базы базируется на теории традиционного операционного менеджмента. Однако применение данной теории в сложных условиях горной промышленности ограничено рядом существенных недостатков.

Первым серьезным недостатком теории традиционного операционного менеджмента применительно к управлению горными работами является ее отношение к проблеме изменчивости качества сырья. Фактически придерживаясь цели добыть как можно больше и любыми средствами, данная теория выводит за «скобки» оценку качества сырья, которое поступает в технологическую цепочку ее переработки.

Во-вторых, вышеназванная теория основывается на предпосылке, что существующие в системе ограничения (геологическая сложность работ, безопасность, стоимость, негативное воздействие на окружающую среду) будут сохранять свое положение в цепочке создания стоимости достаточно долго, чтобы его можно было устранить или нивелировать на каком-то определенном этапе деятельности. А учитывая тот факт, что ограничения при отработке месторождений полезных ископаемых часто подвержены изменениям, что характерно для сложных горнодобывающих сред, применение принципов и методов минимизации их отрицательного влияния может быть ограниченным [8].

И, в-третьих, причинно-следственные связи, часто используемые в этой концепции в рамках управления воспроизводством минерально-сырьевой базы, четко показывают, как кажущиеся незначительными изменения или отклонения в начале цепочки создания стоимости добычи полезных ископаемых могут оказать значительное влияние на эффективность переработки на последующих этапах и в итоге на прибыльность горнодобывающих предприятий [7].

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что использование механистического подхода

к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы имеет серьезные ограничения, которые снижают его ценность, эффективность и применимость на практике. Связаны эти ограничения прежде всего с тем, что в центре внимания данного подхода находятся отдельные части системы (участки, шахты, рудники,), а не весь горнодобывающий комплекс в целом.

В таблице 1 представлены факторы, способствующие ограничению использования механистического подхода для управления воспроизводством минерально-сырьевой базы страны.

На основании данных таблицы 1 можно утверждать, что механистическая концепция управления воспроизводством МСБ не может эффективно работать в сложных горнодобывающих условиях. Фактически она культивирует воспроизводство МСБ, которое в долгосрочной перспективе дестабилизирует деятельность горнодобывающего предприятия и приведет к негативным экономическим результатам.

Более современным подходом к управлению воспроизводством минеральной базы страны является **концепция устойчивого развития горнодобывающей промышленности**, ориентированная на горнодобывающие предприятия. Она также называется «оценка жизненного цикла рудника». Данная концепция схожа с механистическим подходом, но ее главным отличием является то, что устойчивая добыча полезных ископаемых предполагает внедрение на этапе горных работ методов, которые приводят к экологическим и социальным улучшениям по сравнению с традиционными

подходами разработки ресурсов с целью снижения негативного воздействия при сохранении здоровья и безопасности работников и интересов заинтересованных сторон и сообществ [5].

В рамках управления воспроизводством минерально-сырьевой базы для оценки устойчивости горнодобывающего предприятия и возможностей улучшения как добычи сырья, так и экологической ситуации используется ряд ключевых показателей. Эти показатели, представленные в таблице 2, сгруппированы по фазам жизненного цикла рудника.

Показатели, приведенные в таблице 2, являются основными индикаторами, с помощью которых в настоящее время можно измерить устойчивость добычи полезных ископаемых. При рассмотрении разведки и строительства первой части жизненного цикла рудника количественная оценка устойчивости может быть рассчитана путем определения общей площади земли, необходимой для проекта и в конечном итоге нарушенной, а также различных уровней загрязнения. Чем меньше эти негативные воздействия, тем более устойчивым можно считать горнодобывающее предприятие [1].

Ограничением данного подхода к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы недропользователя является то, что, как и в механистической концепции, основное внимание уделяется горнодобывающей деятельности. Эффективность добычи, а также темпы потребления и восстановления добытых ресурсов признаются сторонниками данного подхода в качестве приоритетных

Таблица 1. Ограничения использования механистического подхода к системе управления воспроизводством минерально-сырьевой базы

Table 1. Limitations of the use of a mechanistic approach to the management system for the reproduction of the mineral resource base

Утверждения	Ограничения
Горнодобывающие системы разбиты на части	Только конечный продукт продается потребителю и только после этого генерируется доход
Характеристики сырья могут быть смешаны для получения средней смеси, которая не дестабилизирует последующие процессы	Характеристики сырья, такие как твердость, пористость, текстурные аспекты и т.д., не могут быть смешаны. Например, смесь твердых и мягких пород не даст смеси пород средней твердости
Мощность системы равна мощности минимального звена в системе.	Статистическая дисперсия в производительности отдельных ресурсов и зависимость между ресурсами в системе приводят к тому, что система работает ниже сбалансированного значения мощности
Исправление недостаточно эффективной части в системе улучшит производительность системы линейно	Если ограничение в системе не установлено с использованием принципов потока и платности продукции, велика вероятность того, что производительность ограничения не будет улучшена и, следовательно, производительность системы также не повысится, как ожидалось

Таблица 2. Ключевые показатели устойчивости и соответствующая им фаза жизни рудника
Table 2. Key sustainability indicators and the corresponding phase of mine life

Разведка и разработка месторождений	Операции	Заккрытие и долгосрочный мониторинг
Требования к земле для разработки	Объем потребляемых материалов (вода, реагенты, топливо, использование растворителей)	Популяционное воздействие на индикаторные виды / Потеря биоразнообразия
Площадь разрешенных к разработке земель и нарушенных территорий	Объем образующихся отходов (камень, химикаты, вода)	Уровни загрязняющих веществ в воде и почве
Выбросы пыли	Объем восстановления/переработки материалов	Площадь стабилизированных и реконструированных земель / темпы восстановления
Шумовое загрязнение	Объем образовавшихся опасных и неопасных отходов	Восстановление растительности (количество посаженных деревьев и т.д.)
Склонность к эрозии почвы / оползням / землетрясениям	Скорость истощения ресурсов	Рекультивация
Площадь земли в чувствительных зонах	Уровень выбросов (загрязняющие вещества, парниковые газы)	Количество экологических инцидентов
Интенсивность перевозок (материалы и сотрудники)	Выбросы в атмосферу (пыль и т.д.), общее энергопотребление и процент использования возобновляемых источников энергии	Водные стоки после закрытия предприятия

направлений в отношении устойчивости горнорудной промышленности. Однако взаимосвязь между темпами добычи и рекуперации в значительной степени не учитывается. Возможности запуска замкнутого цикла использования материалов и циркулярной экономики в рамках данного подхода также не рассматриваются. За исключением некоторых моделей полного жизненного цикла, разработанных для конкретных металлов, кругооборот потребления не топливных минералов остается практически не исследованным.

Вторым важным ограничением концепции устойчивого развития горнодобывающей промышленности является отсутствие связи между работой по сокращению экологического следа от горнодобывающей деятельности и разработкой техногенных месторождений, а также вторичного использования минерального сырья.

Отдельного внимания заслуживает концепция, которая появилась около 30 лет назад и называется **методологией управления пропускной способностью минеральных ресурсов (MRTM)**. MRTM использует системный подход к процессу воспроизводства минерально-сырьевой базы и управлению горнодобывающими предприятиями, что приносит более высокие результаты по сравнению с механистическим подходом [10]. Все три измерения MRTM, а именно: физический

поток, платность продукта (денежная стоимость продукта, на которую влияют объем, качество и постоянство качества продукта) и логическое измерение принятия решений содержат элементы теории ограничений (системный подход) (рис. 1).

MRTM фокусируется на обеспечении рентабельности имеющихся запасов минерально-сырьевых ресурсов, а не на традиционной перспективе «затраты или мощности». Обеспечение высокой отдачи от добываемых ресурсов позволит аккумулировать денежные средства для дальнейших разработок, разведок и открытий новых месторождений полезных ископаемых.

MRTM сосредоточена на:

- минимизации истощения и размывания запасов в цепочке создания стоимости добычи;
- синхронизации потока ресурсов с использованием принципов теории ограничений (ТОС) для определения ресурсов, ограниченных по мощности (CCR).

MRTM применяет атрибуты рентабельности запасов и принципы потоков ТОС к цепочке создания стоимости добычи комплексным образом, обращаясь к физическим и нефизическим характеристикам для минимизации изменчивости. Важно отметить, что благодаря тому, что MRTM сосредотачивается на оптимальной прибыли до вычета



Рис. 1. Измерения MRTM
Fig. 1. MRTM measurements

процентов и налогов (EBIT), начиная от месторождения до товарного продукта, это позволяет значительно повысить эффективность добычи при оптимальных эксплуатационных и капитальных затратах.

Данная оптимизированная концепция к управлению воспроизводством минерально-сырьевых ресурсов, сфокусированная на устойчивой EBIT для предприятия, позволяет решить четыре ключевые проблемы, связанные с истощением запасов. К ним относятся:

1. Потери ценных минералов/продукта в процессе выемки и переработки руды на различных этапах цепочки создания стоимости начиная от планирования горных работ на участке до складирования готовой продукции.

2. Потери продукции из-за неэффективной переработки на фабрике (обогащение), которые приводят к низкому извлечению/выходу продукции. Засорение продукта отходами или некачественными химическими элементами, которые ухудшают содержание ценных металлов/

минералов в продукте и снижают его продажную стоимость: т.е. более высокое и более низкое содержание концентрата в продукте и соответствующая разница в цене продажи продукта между двумя вариантами.

3. Отсутствие вариантов цен на продукцию высшего качества, связанное со стабильными и предсказуемыми сортами в контексте спецификаций заказчика (если таковые имеются) из-за плохого контроля качества продукции.

4. Использование нишевых рынков продукции (если таковые имеются) из-за недостатков в системе контроля качества.

В таблице 3 представлено сравнение традиционных подходов к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы страны (механистический, жизненный цикл шахты) с MRTM.

На сегодня для целей управления воспроизводством минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий в разработке находится **концепция устойчивой добычи полезных ископаемых**. Суть данной концепции заключается

Таблица 3. Сравнение традиционных подходов и MRTM к управлению воспроизводством минерально-сырьевой базы
Table 3. Comparison of traditional approaches and MRTM to the management of reproduction of the mineral resource base

Сфера	Традиционный подход	MRTM
Геология	Отбираются составные пробы (метод усреднения) руды, согласованные с ограничениями добычи	Руда и отходы отбираются на основе поведения потока и платежеспособности материала при последующей переработке
	Получаются средние прогнозы содержания и объема	Устанавливаются нормы для конкретной зоны (геологические, технологические, экономические)
	Рассчитываются средние показатели эффективности переработки	Рассчитываются коэффициенты эффективности для конкретной зоны (включая эффекты засорения, разубоживания)
	К данным применяются усредненные модифицирующие коэффициенты, основанные на исторических показателях / передовой практике	Фактор риска / показатель для каждой зоны используется как весовой коэффициент (сложность добычи/переработки)
	Существующие методы переносятся на новые участки добычи	
Горнодобывающая промышленность, производство, переработка. Физические активы. Управление	Потребности в ресурсах (оборудование, расходные материалы, рабочая сила) рассчитываются на основе балансировки мощностей, включая фиксированные коэффициенты (лучшие практики)	Потребности в ресурсах рассчитываются на основе характеристик каждой зоны и платежеспособности готовой продукции по всей цепочке создания стоимости
	Используются средние коэффициенты загрузки и эффективности добычи	Разрабатываются данные по зонам, платежеспособности продукции.
	К данным применяются корректирующие/модифицирующие коэффициенты, основанные на исторических данных	Коэффициент риска / показатель для каждой зоны используются в качестве весового коэффициента (показатель сложности добычи)

в том, что она охватывает весь жизненный цикл минерального сырья начиная от момента открытия и отработки месторождения, а затем предполагает возвращение в циркулярную экономику путем переработки или повторного использования [13]. Отличительной чертой концепции жизненного цикла добываемого сырья от той, которая фокусируется на жизненном цикле рудника, является то, что последняя рассматривает только добычу и переработку. Если подходы, ориентированные на добычу и переработку полезных ископаемых, могут включать в себя лишь некоторые метрики воспроизводства, то концепция жизненного цикла минерального сырья охватывает различные переменные, которые позволяют учитывать больше этапов его жизни, и на этом основании могут быть определены перспективы воспроизводства и факторы, влияющие на устойчивость эколого-экономических систем в целом [12].

Данная концепция включает базовые показатели воздействия на окружающую среду, связанные с жизненным циклом горнодобывающего предприятия (в области нарушения земель, использования ресурсов, производства продукции

и рекультивации отработанных месторождений), а также индикаторы, необходимые для оценки циркулярности полного жизненного цикла соответствующих продуктов, включая производство товаров, уровень потребления на этапе использования и, наконец, сбор и повторное применение добытого материала [15]. Использование всех этих показателей для оценки перспектив воспроизводства минерально-сырьевой базы в будущем позволит получить более целостное представление о потреблении минералов в обществе без ущерба для стратегических ориентиров, используемых в настоящее время промышленными организациями и законодательными органами.

Ожидается, что переход от подходов, ориентированных на горные работы, к концепции, сосредоточенной на жизненном цикле минеральных ресурсов, будет облегчен благодаря исследованиям и технологическому прогрессу [9]. В то же время улучшение кругооборота добываемых ресурсов зависит от системных разработок, которые являются гораздо более сложными. Например, переработка, ориентированная на продукт, представляется потенциальным средством для увеличения

объемов повторного использования сложных электронных отходов, но инфраструктура и мощности переработки в настоящее время не созданы для реализации этого процесса в промышленном масштабе [14].

Подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. На сегодняшний день в науке и практике существуют различные подходы к управлению процессами восстановления минерально-сырьевой базы страны. Некоторые из них опираются на упрощенную модель максимального использования потенциала разрабатываемых недр, другие предполагают более комплексный подход к решению данного вопроса, который учитывает экологические, экономические, территориальные аспекты.

Однако современные вызовы времени свидетельствуют о том, что концепции и традиционные практики воспроизводства минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия не могут адекватно обслуживать сложные горнодобывающие системы, поскольку они по большей части основаны на механистической логике мышления. В связи с этим особую популярность на сегодняшний день приобрела методология управления пропускной способностью минеральных ресурсов, опирающаяся на три измерения: технологические возможности производства, платежеспособность продукции и логическое принятие решений.

Также значительные перспективы и потенциал имеет разрабатываемая на сегодня концепция жизненного цикла добываемого минерального сырья, которая охватывает весь жизненный цикл добытого материала. Переход к этой концепции позволит не только снизить основные экологические последствия, связанные с увеличением темпов добычи, нарушением земель, выработкой недр и закрытием предприятий, но и продлить срок отработки существующих запасов и ресурсов полезных ископаемых.

Для применения современных концепций управления воспроизводством минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий необходимо создать ряд условий. Активное участие в этом процессе должно проявить государство, научное сообщество и компании-недропользователи.

Со стороны государства необходимо разработать законодательные акты, стимулирующие разработку техногенных месторождений и переработку вторичного сырья, включая выделение государственных субсидий и налоговых преференций, разработать мероприятия по повышению качества сбора и утилизации отработанных минеральных ресурсов посредством развития новых мощностей переработки.

Научно-технологическое обеспечение развития минерально-сырьевой базы предусматривает техническое перевооружение геолого-разведочного, добычного, перерабатывающего производств на основе внедрения современных технологий, которое позволит вовлекать в отработку месторождения с низким качеством исходного материала, повышать извлечение полезного компонента из трудноперерабатываемого сырья.

Для перехода на современные концепции менеджмента горнодобывающих компаний необходимо изменить менталитет от сверхприбыльной валовой отработки месторождений к добыче полезных ископаемых с учетом баланса социальных, экологических и экономических норм. Компании-недропользователи, используя стимулирующие меры от государства и научные разработки, получают возможность рентабельно отрабатывать новые источники запасов минерального сырья, продлить жизненный срок отработки природных месторождений, что позволит обеспечить социальную стабильность в регионах с истощающейся минерально-сырьевой базой и получить временной задел для поиска новых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анисимова А.Б.* Полезные ископаемые: от воспроизводства к капиталу // Экономический анализ: теория и практика. 2022. № 5. С. 947—959.
2. *Бодрова Е.В.* Проблема воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ: поиски решения // Каспийский регион: политика, экономика, культура. 2022. № 1 (70). С. 57—68.
3. *Кузина Е.С.* Анализ основных проблем воспроизводства минерально-сырьевой базы России // Наука России: цели и задачи: Сборник научных трудов по материалам XIX международной научной конференции. Екатеринбург: Научно-издательский центр «Л-Журнал». 2020. С. 74—77.
4. *Кузина Е.С.* Экономические проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы России // Научно-аналитический журнал. Наука и практика Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2022. Т. 14. № 4(48). С. 67—72.
5. *Кузнецова Е.В., Дадыкин В.С.* Моделирование системы управления минерально-сырьевым комплексом

- региона с использованием принципа обратной связи // Информатизация и связь. 2021. № 2. С. 134—138.
6. Пономарева К.В., Рыжова Л.П. Проблемы воспроизводства минерально-сырьевой базы России и пути их решения // Финансовая экономика. 2021. № 5. С. 80—85.
 7. Сальманов С.М. Организационно-экономический механизм управления воспроизводством минерально-сырьевой базы // Modern Economy Success. 2022. № 6. С. 213—219.
 8. Alozie A.Ch. Sustainable management of mineral resource active regions: a participatory framework for the application of systems thinking. Great Britain: Imperial College London, 2019. 156 p.
 9. Bleischwitz R. Mineral resources in the age of climate adaptation and resilience // Journal of industrial ecology. 2020. Vol. 24. No. 2. P. 291—299.
 10. Gorman M.R. A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral // Resources, conservation, and recycling. 2018. Vol. 137. P. 281—291.
 11. Hidayat T. Policy on mineral resource management in the good governance perspective // IOP conference series. Materials science and engineering. 2019. Vol. 478. P. 17—23.
 12. Maconachie R. The extractive industries, mineral sector reform and post-conflict reconstruction in developing countries // The extractive industries and society. 2016. Vol. 3. Iss. 2. P. 313—319.
 13. Prilukov A.N. Effective mineral resources management: emergence and development of scientific ideas and conceptions // International multidisciplinary scientific geoconference. 17th Conference. Bulgaria. 2017. P. 53—269.
 14. Spooren J. Near-zero-waste processing of low-grade, complex primary ores and secondary raw materials in Europe: technology development trends // Resources, conservation, and recycling. 2020. Vol. 160. P. 77—83.
 15. Underground space, the legal governance of a critical resource in circular economy // Resources policy. 2021. Vol. 73. P. 89—94.

REFERENCES

1. Anisimova A.B. Minerals: from reproduction to capital // Economic analysis: theory and practice. 2022. No. 5. P. 947—959.
2. Bodrova E.V. The problem of reproduction of the mineral resource base of the Russian Federation: the search for a solution // The Caspian region: politics, economics, culture. 2022. No. 1(70). P. 57—68.
3. Kuzina E.S. Analysis of the main problems of reproduction of the mineral resource base of Russia // Science of Russia: Goals and objectives. Collection of scientific papers based on the materials of the XIX International Scientific Conference. Yekaterinburg: Scientific Publishing Center "L-Journal". 2020. P. 74—77.
4. Kuzina E.S. Economic problems of reproduction of the mineral resource base of Russia // Scientific and analytical journal Science and Practice of the Plekhanov Russian University of Economics. 2022. Vol. 14. No. 4(48). P. 67—72.
5. Kuznetsova E.V., Dadykin V.S. Modeling of the management system of the mineral resource complex of the region using the feedback principle // Informatization and communication. 2021. No. 2. P. 134—138.
6. Ponomareva K.V., Ryzhova L.P. Problems reproduction of the mineral resource base of Russia and ways to solve them // Financial Economics. 2021. No. 5. P. 80—85.
7. Salmanov S.M. Organizational and economic mechanism of management of the mineral resource base reproduction // modern economics success. 2022. No. 6. P. 213—219.
8. Alozie A.Ch. Sustainable management of mineral resource active regions: a participatory framework for the application of systems thinking. Great Britain: Imperial College London, 2019. 156 p.
9. Bleischwitz R. Mineral resources in the age of climate adaptation and resilience // Journal of industrial ecology. 2020. Vol. 24. No. 2. P. 291—299.
10. Gorman M.R. A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral // Resources, conservation, and recycling. 2018. Vol. 137. P. 281—291.
11. Hidayat T. Policy on mineral resource management in the good governance perspective // IOP conference series. Materials science and engineering. 2019. Vol. 478. P. 17—23.
12. Maconachie R. The extractive industries, mineral sector reform and post-conflict reconstruction in developing countries // The extractive industries and society. 2016. Vol. 3. Iss. 2. P. 313—319.
13. Prilukov A.N. Effective mineral resources management: emergence and development of scientific ideas and conceptions // International multidisciplinary scientific geoconference. 17th Conference. Bulgaria. 2017. P. 53—269.
14. Spooren J. Near-zero-waste processing of low-grade, complex primary ores and secondary raw materials in Europe: technology development trends // Resources, conservation, and recycling. 2020. Vol. 160. P. 77—83.
15. Underground space, the legal governance of a critical resource in circular economy // Resources policy. 2021. Vol. 73. P. 89—94.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Назарова З.М. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Леонидова Ю.А. — подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergei S. Salmanov — developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Zinaida M. Nazarova — prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Yuliya A. Leonidova — prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сальманов Сергей Миншакирович — кандидат экономических наук, директор дирекции бюджетирования, аналитического контроля и отчетности АО «Полиметалл УК»,
2, пр. Народного ополчения, г. Санкт-Петербург 198216, Россия
e-mail: Salmanov@polymetal.ru
SPIN-код: 5268-9080

Sergey M. Salmanov — Cand. of Sci. (Econ.), Director of the Directorate of Budgeting, Analytical Control and Reporting of JSC Polymetal management.
2, Narodnogo Opolcheniya ave., Saint-Petersburg 198216, Russia
e-mail: Salmanov@polymetal.ru
SPIN-code: 5268-9080

Назарова Зинаида Михайловна — доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: nazarovazm@mgri.ru
тел.: + 7 (495) 255-15-10 (доб. 2142)
SPIN-код: 4447-0660

Zinaida M. Nazarova — Dr. of Sci. (Econ.), Prof., Head of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nazarovazm@mgri.ru
tel.: + 7 (495) 255-15-10 (ext. 2142)
SPIN-code: 4447-0660

Леонидова Юлия Анатольевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»,
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: leonidovaya@mgri.ru
тел.: + 7 (495) 255-15-10 (доб. 2078)
SPIN-код: 9869-6281

Yuliya A. Leonidova — Cand. of Sci. (Econ.), Assoc. Prof. of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: leonidovaya@mgri.ru
tel.: + 7 (495) 255-15-10 (ext. 2078)
SPIN-code: 9869-6281

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-85-91>

УДК 550.8.011



ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Б.А. ОВЕЗОВ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Россия занимает одно из ведущих мест в мире по добыче полезных ископаемых, полностью обеспечивая потребности всех отраслей страны собственным минеральным сырьем. От эффективности освоения запасов во многом зависит состояние нефтегазовой и смежных отраслей. Геолого-разведочные работы (ГРП) на любой стадии проводятся в комплексе и заканчиваются прежде всего определением количества и качества заключенного в месторождении полезного компонента, его формы и размеров. В последнее время прогресс лабораторных исследований идет по линии создания и внедрения отечественных аппаратных методов, способных в короткий срок и с расчетной достоверной вероятностью определять содержание полезных компонентов.

Цель. Исследование методов получения коэффициента пропорциональности в зависимости от характера разведываемого рудного месторождения и анализ зависимости количества отбора лазером микропроб от относительной стандартной погрешности опробования основной генеральной пробы.

Материалы и методы. Используется положение Ричардса — Чечотта, труды Демонда и Хальфердаля, проводится анализ классов ошибок.

Результаты. При исследовании было выявлено, что с увеличением количества отбора микропроб (импульсы) уменьшается относительная стандартная погрешность опробования основной генеральной пробы. Количество микроопробований аналитической пробы зависит от степени неоднородности распределения полезного компонента.

Заключение. С увеличением количества отбора лазером микропроб (импульсы) уменьшается относительная стандартная погрешность опробования основной генеральной пробы. Количество микроопробований аналитической пробы зависит от степени неоднородности распределения полезного компонента (K , α).

Ключевые слова: геологоразведка, пробы, анализ, распределение Гаусса, аппаратные методы исследования, полезный компонент.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Овезов Б.А. Пути рациональной разработки методов анализа минерального сырья и продуктов их переработки. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):85—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-85-91>

Статья поступила в редакцию 15.02.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

APPROACHES TO RATIONAL DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHODS FOR MINERAL RAW MATERIALS AND PRODUCTS OF THEIR PROCESSING

BATYR A. OVEZOV

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

ABSTRACT

Background. Russia occupies a leading position in the global extraction of minerals, meeting all the demands of Russian economy. The efficiency of resources development determines the efficiency of both the oil and gas industry, as well as related economic sectors. At any stage, geological prospecting and exploration works are carried out sequentially and assume identification of the quantity, quality, shape and size of the valuable component contained in the deposit. In Russia, the recent trend in the development of laboratory research methods consists in creating and implementing hardware approaches capable of identifying the content of valuable components rapidly and accurately.

Aim. To compare the existing approaches for obtaining the proportionality coefficient depending on the specifics of the ore deposit under exploration and to analyze the dependence of the amount of laser sampling of microprobes on the relative standard error of sampling the main general sample.

Materials and methods. The Richards–Chechott equation and Demond and Halferdahl works were studied. An analysis of error classes was carried out.

Results. The relative standard error of sampling the main general sample was found to decrease with an increase in the number of microsamples (pulses). The number of microprobes of an analytical sample depends on the heterogeneity of the valuable component distribution.

Conclusion. An increase in the number of laser sampling of microsamples (pulses) leads to a decrease in the relative standard error of sampling the main general sample. The number of microprobes of an analytical sample depends on the heterogeneity of the valuable component distribution (K , α).

Keywords: exploration, sampling, analysis, Gaussian distribution, hardware analytical methods, valuable component

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

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

For citation: Ovezov B.A. Approaches to rational development of analytical methods for mineral raw materials and products of their processing. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):85—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-85-91>

Manuscript received 15 February 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

За последнее десятилетие наука накопила богатый опыт по анализу минералов, руд и продуктов, содержащих полезные компоненты в пробах различного и часто весьма сложного физико-химического состава.

Для контроля технологических процессов при разведке и добыче минерального сырья с целью более полного извлечения полезных компонентов на каждой стадии проводится систематиче-

ское опробование руд и продуктов их переработки. От того, насколько точно будет определено содержание полезного компонента в разведываемом районе и произведен подсчет запасов на основании аналитических данных, зависит мощность проектируемого горнорудного предприятия и его дальнейшая рентабельность. В геологии этап опробования организован с помощью двух последовательно производимых процедур:

- взятие пробы или отбор средней пробы (навески) от конкретного количества опробуемого продукта;

- исследование содержаний полезных компонентов в пробе аналитическими методами.

Для получения «представительной» конечной пробы исходную руду подвергают дроблению, перемешиванию, пропорциональному сокращению до минимально допустимой массы при определенной крупности материала, истиранию до крупности 0,074 мм. Надежная масса конечной пробы связана с крупностью составляющего материала согласно положению Ричардса — Чечотта следующим уравнением [1]:

$$W = Kd^2, \quad (1)$$

где W — масса первоначальной пробы, кг; K — коэффициент пропорциональности, зависящий от характера разведываемого рудного месторождения; d — диаметр куса максимального размера, мм.

Основываясь на анализе работы [2] многих горнорудных предприятий и ряде теоретических расчетов, Ричардс и Чечотт предложили известную в теории пробоотбирания таблицу, которая позволила с определенным допущением связать зависимость коэффициента K с крупностью кусков отбираемой горной породы, неоднородности распределения в ней полезного компонента.

Далее Демонд и Хальфердаль доказали, что показатель степени в уравнении (1) не может быть

величиной постоянной, так как для анализа, как правило, представляют руды разных типов, поэтому эта формула в отношении показателя степени требует корректировки. Величина коэффициента (K) должна зависеть от количества содержащегося полезного компонента, размеров рудных минералов и в основном характера их распределения по всей массе опробуемого рудного тела при постоянном диаметре частиц, равном единице [1].

Они вывели зависимость следующего вида [7]:

$$W = Kd^\alpha, \quad (2)$$

где показатель степени $\alpha = 1,5—2,6$ для руд различного состава.

Учитывая, что в уравнении (2) показатель степени дробный, К.П. Пожарицкий представил ее в следующем виде [3]:

$$\log W = \log K + \alpha \log d. \quad (3)$$

Логарифмическая диаграмма обработки проб согласно расчетам по уравнению (3) приведена на рисунке 1.

С учетом технологических характеристик обработки и извлечения полезного компонента руды по значениям коэффициентов K и α согласно уравнению $W = Kd^\alpha$, по данным Н.В. Барышникова и П.Л. Каллистова, подразделяются на пять категорий [4].

В теории опробования существенное значение имеет наиболее точное определение количества и веса аналитических проб, отбираемых от основной генеральной пробы. Насколько точно будет соответствовать количество определенного компонента в аналитической пробе содержанию этого компонента в генеральной пробе, настолько меньше ошибка опробования. Но, тем не менее, статистическая погрешность является неизбежным следствием, т.к. средняя проба (аналитическая) отбирается по принципу сокращения. Это в первую очередь характерно для золотосодержащих руд, особенно второй и третьей категории с неравномерным распределением металла. Авторами [6] сделан вывод о влиянии на показатель выявления золота в пробах величины грубообломочных пород.

Известно, что чем меньше размеры золотин при $C = \text{const}$, тем большее число их находится в обработанной пробе. Минимальная надежная масса навески для анализа определяется по формуле [10]:

$$P = Nr, \quad (4)$$

где P — масса навески; r — масса материала элементарного объема обработанной пробы,

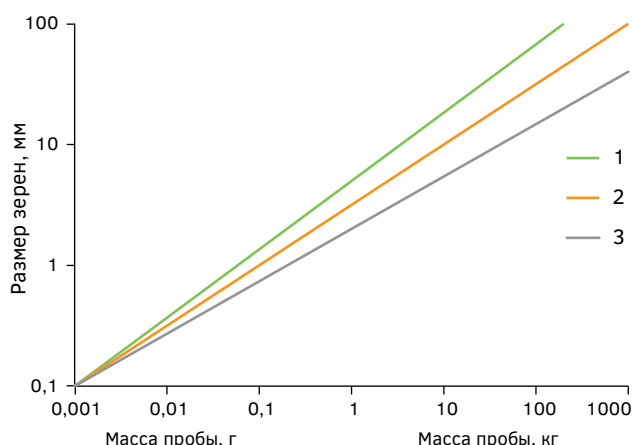


Рис. 1. Логарифмическая диаграмма обработки проб по К.Л. Пожарицкому: 1 — пробы весьма равномерных руд ($\alpha = 1,8$); 2 — пробы равномерных руд ($\alpha = 2,0$); 3 — пробы неравномерных руд ($\alpha = 2,25$)

Fig. 1. Logarithmic diagram of sample processing by K.L. Pozharitsky: 1 — samples of very uniform ores ($\alpha = 1.8$); 2 — samples of uniform ores ($\alpha = 2.0$); 3 — samples of uneven ores ($\alpha = 2.25$)

в которой расположена одна частица золота ($N = 1$) максимальной крупности.

Масса материала элементарного объема зависит от содержания золота (C мг/г) в пробе (массой QV г), его удельной массы (g мг/мм³) и размеров самых крупных частиц золота (d мм) в обработанной пробе, которые связаны между собой следующими зависимостями [12]:

- 1) Количество золота в пробе — CQ .
 - 2) Объем, занимаемый этим золотом, — CQ/g .
 - 3) Количество частиц золота в пробе — CQ/gd^3 .
- Тогда масса элементарного объема равна

$$P = \frac{Q}{CQ/gd^3} = gd^3/C. \quad (5)$$

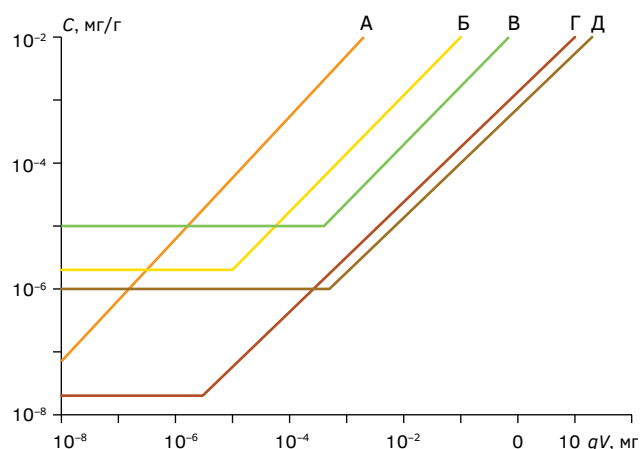


Рис. 2. Зависимость выявления устойчивой массы навески и границ ее применения в распространенных методах анализа от содержания (C мг/г) и массы золотин (qV мг) при одинаковом ($N = 1$) распространении металла. 1. Поле количественных определений содержания золота определенным способом; 2. Граница устойчивого использования навески; 3. Поле деформированных результатов определения; 4. Нижняя граница определяемых содержаний золота. А — радиоактивный метод (0,5 г); Б — химико-спектральный (10 г); В — пробирный и его модификации (50 г); Г — химико-радиоактивный (100 г); Д — хлорирование (500 г)

Fig. 2. The dependence of the detection of the stable mass of the sample and its limits in the common methods of analysis on the content (C mg/g) and weight of goldenseal (qV mg) at the same ($N = 1$) metal distribution. 1. The field of quantitative determinations of the gold content of a particular method; 2. The boundary of the sustainable use of the sample; 3. The field of deformed results of determination; 4. Lower limit of determinable gold contents. А — radioactive method (0.5 g); Б — chemical-spectral (10 g); В — assay and its modifications (50 g); Г — chemico-radioactive (100 g); Д — chlorination (500 g)

С учетом поправочного коэффициента надежная масса навески равна

$$P = N f d^3 / C,$$

где $f = 0,05$ — для рудного золота; $f = 0,25$ — для россыпного.

По результатам расчетов составлено соотношение выявления надежной навески и границ ее применения в различных способах от содержаний (C мг/г) и массы золотин (gV мг), при одинаковом ($N = 1$) распределении металла (рис. 2).

Горизонтальные линии — это линии равных содержаний, а вертикальные — линии равной массы золотин. На основании расчетов [6] можно предположить, что минимальная масса навески при чувствительности определения $5,5 \times 10^{-5}\%$ должна быть порядка 10 г. При количественном спектральном анализе золота применяется навеска 0,02 г, которая за 3—3,5 мин полностью испаряется из угольного электрода. Это минимальная навеска, которую можно применить в лазерном макроанализе (рис. 3) для того, чтобы выйти на представительность навески не ниже эмиссионного спектрального анализа [5, 8, 9, 14].

Кроме представительности анализа, которая оценивается весом одновременно используемой навески, к существующим методам исследований применяются требования к точности и чувствительности. Точность некоторыми авторами оценивается как воспроизводимость, правильность, т.е. близость к его истинному значению.

При выявлении факторов, вызывающих погрешности аналитических измерений, метрологическая оценка методик анализа выявляется с помощью математической статистики и теории вероятности. Главной целью обработки данных в анализе является обобщение и приведение результата к конечному, свободному от несущественной информации [13].

Аналитическими исследованиями установлено, что результаты нескольких дублирующих измерений концентраций полезного компонента всегда в какой-то степени отличаются друг от друга, это вызвано погрешностью анализа или ошибкой. Ошибки можно разделить на два больших класса [15, 18]. К первому классу отнесены детерминированные, или систематические, ошибки. Их природа может быть определена самим методом анализа или причина может быть и не установлена. Систематические ошибки в производственных условиях определяются и контролируются с помощью «внешнего» лабораторного контроля. Второй класс — недетерминированные, случайные, ошибки вызываются неконтролируемыми переменными.

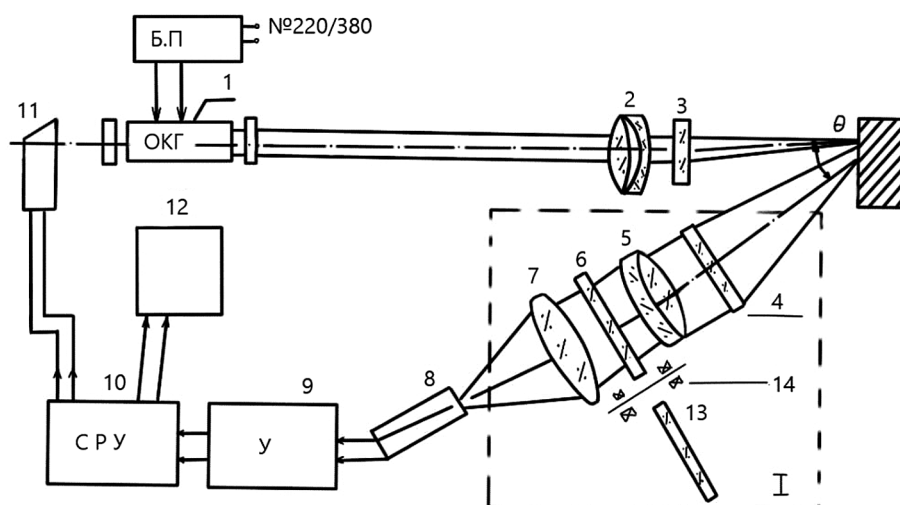


Рис. 3. Оптико-электронная схема прибора (вариант 1). 1. Лазер; 2. Фокусирующий объектив $f' = 70\text{--}80\text{ мм}$; 3. Защитное стекло; 4. Кварцевое защитное стекло; 5. Коллиматорный объектив $f' = 100\text{ д/ } f_1 = 1:3$; 6 и 13. Интерференционные светофильтры; 7. Линза $f' = 150$; 8. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), фотонные детекторы (ФД); 9. Усилитель сигналов; 10. Счетно-решающее устройство; 11. Цифровой индикатор; 12. Блок памяти усредненного по J и t сигнала; 14. Револьверная головка со сменными фильтрами; БП. Блок питания оптического квантового генератора (ОКГ), усилитель ПАЭ

Fig. 3. Optoelectronic circuit of the device (Option 1). 1. Laser; 2. Focusing lens $f' = 70\text{--}80\text{ mm}$; 3. Protective glass; 4. Quartz protective glass; 5. Collimator lens $f' = 100\text{ d/ } f_1 = 1:3$; 6 and 13. Interference filters; 7. Lens $f' = 150$; 8. PMT, FD; 9. Signal amplifier; 10. Calculating device; 11. Digital indicator; 12. Memory block averaged over J and t signal; 14. Turret with replaceable filters; BP. OKG power supply, PAE amplifier

Случайные ошибки снижают правильность анализа, но, проводя наблюдение более точно, можно в какой-то степени освободиться от недетерминированных ошибок посредством внутрилабораторного контроля, повторяя анализы тех же компонентов.

Если подойти строго, то статистическая обработка может быть применена только к случайным

ошибкам. Для определения точности выполнения того или иного метода анализа рассматривают определенное число наблюдений данного рода для того, чтобы показать представительную выборку из генеральной совокупности данных. В аналитике принято, что свойство генеральной совокупности случайных ошибок анализа подчиняется закону распределения Гаусса. В дифференциальной форме функции распределения имеют вид [16, 17]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (6)$$

где σ — стандартное отклонение совокупности; μ — средняя для всей совокупности.

На практике обычно пользуются нормированным выражением, где центр распределения функции переносится на начало координат, а по оси абсцисс откладывают величины X_i и μ выраженных в долях σ [11].

Функция распределения Гаусса в долях σ приведена на рисунке 4.

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}, \quad (7)$$

где $u = (x - \mu) / \sigma$.

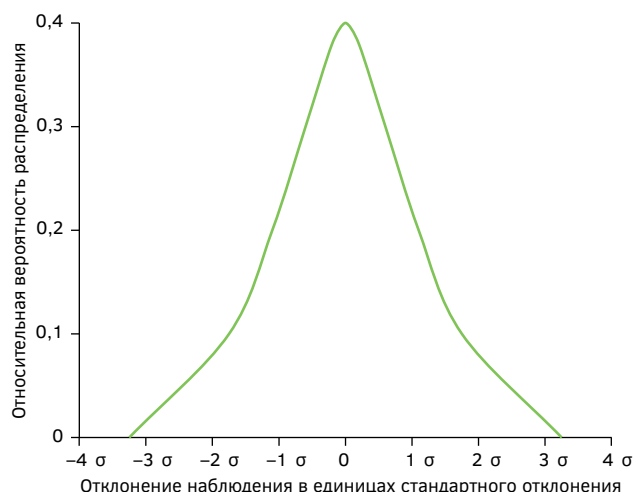


Рис. 4. Кривая распределения Гаусса

Fig. 4. Gaussian distribution curve

Известно, что вероятность появления отклонений больше 3σ приблизительно равна 0,27%; вероятность появления отклонений больше 2σ равна 5% и больше 1σ — 33%.

Ошибка, равная $0,67\sigma$, называется вероятной ошибкой анализа. Вероятность появления ошибки больше или меньше этого значения равна 0,5 [11].

Заключение

С увеличением количества отбора лазером микропроб (импульсы) уменьшается относительная стандартная погрешность опробования основной генеральной пробы. Количество микроопробований аналитической пробы зависит от степени неоднородности распределения полезного компонента (K, α).

ЛИТЕРАТУРА

1. Барышников И.Ф. и др. Пробоотбирание и анализ благородных металлов. М.: Металлургия, 1978. 3 с.
2. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика / Под ред. В.И. Конова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 312 с.
3. Коньшев В.О. О методике определения близких к истинным содержаний золота в рудных телах // Отечественная геология. 2018. № 2. С. 44—58.
4. Кузнецов А.П., Коротков В.А. Пробирный анализ. Основные методы пробирного корректирования драгоценных металлов // Аналитический контроль благородных металлов. Коллективная монография. 2022. 23 с.
5. Кузнецова Д.А., Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р. Анализ возникновения вибраций в процессе бурения // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 11(131). С. 88—93. EDN ТКСКХН.
6. Куликов А.А., Куликов А.Б. Миронов А.Г. Неравномерное распределение золота в материале обработанных проб грубообломочных пород и вопросы отбора оптимальных навесок // Золотодобыча. Вып. 7. 1979. С. 1282—1290.
7. Мостович В.Я. Пробирное искусство: методы сухого пути. М., 1934. 158 с.
8. Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р. Анализ возникновения торсионных вибраций в компоновке низа буровой колонны // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 1(133). С. 60—67.
9. Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р., Кузнецова Д.А. Анализ существующей проблемы с вибрациями в телеметрических системах и модернизация алгоритмов работы // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2023. № 1(361). С. 20—25. DOI: 10.33285/0130-3872-2023-1(361)-20-25. EDN SXDZRG.
10. Олейникова Г.А. Восстановительное разложение — основа универсальной методики анализа горных пород на содержание благородных металлов // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 93—102.
11. Остроумов Г.В. Методические основы исследования химического состава горных пород, руд и минералов // Недр. 1979. С. 37—52.
12. Пласкин И.Н. Опробование и приборный анализ. М.: Металлургия, 1987. 267 с.
13. Ревенко А.Г. Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5. № 1. С. 101—114.
14. Ямалова А.У., Фролова М.С., Щербакова К.О., Овезов Б.А. Забойный автоматический лазерный макроанализатор для комплексного освоения УВ запасов // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 7(127). С. 88—91.
15. Adeniji A.W. The applications of laser technology in downhole operations—a review // International petroleum technology conference. OnePetro, 2014.
16. Batarseh S., et al. Downhole high-power laser tools development and evolutions // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. OnePetro, 2018.
17. Girard R., Tremblay J., Neron A., Longuepee H., Makvandi S. Automated Gold Grain Counting. Part 2: What a Gold Grain Size and Shape Can Tell // Minerals. 2021. Vol. 11 379 p. DOI: 10.3390/min11040379
18. Wegscheider W. Validation: an Example // Quality in Chemical Measurements. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. P. 79—87.

REFERENCES

1. Baryshnikov I.F., et al. Sampling and analysis of precious metals // Moscow: Metallurgy, 1978. 3 p. (In Russian).
2. Veyko V.P., Libenson M.N., Chervyakov G.G., Yakovlev Ye.B. Interaction of laser radiation with matter. Power Optics / Ed. V.I. Konova. Moscow: FIZMATLIT, 2008. 312 p. (In Russian).
3. Konyshov V.O. On the method for determining close to true gold grades in ore bodies // Domestic geology. 2018. No. 2. P. 44—58 (In Russian).
4. Kuznetsov A. P., Korotkov V. A. Test analysis. The main methods of assay correction of precious metals // Analytical control of precious metals. 2022. 23 p. (In Russian).
5. Kuznetsova D.A., Ovezov B.A., Shcherbakova K.O., Kalendarova L.R. Analysis of the occurrence of vibrations during drilling // Neftegaz.RU Business Journal. 2022. No. 11(131). P. 88—93 (In Russian). EDN TKCKXH.
6. Kulikov A.A. Kulikov A.B. Mironov A.G. Uneven distribution of gold in the material of processed samples

- of coarse clastic rocks and issues of selecting optimal weights. T. 34. Iss. 7. 1979. P. 1282—1290 (In Russian).
7. Mostovich V.Ya. Sampling art. Moscow, 1934. 158 p. (In Russian).
 8. Ovezov B.A., Shcherbakova K.O., Kalendarova L.R. Analysis of the occurrence of torsion vibrations in the layout of the bottom of the drill string // *Neftegaz. RU Business Journal*. 2023. No. 1(133). P. 60—67 (In Russian).
 9. Ovezov B.A., Shcherbakova K.O., Kalendarova L.R., Kuznetsova D.A. Analysis of the existing problem with vibrations in telemetry systems and modernization of operation algorithms // *Construction of oil and gas wells on land and at sea*. 2023. No. 1(361). P. 20—25 (In Russian). DOI: 10.33285/0130-3872-2023-1(361)-20-25. EDN SXDZRG.
 10. Oleynikova G.A. Reductive decomposition — the basis of a universal method for the analysis of rocks for the content of noble metals // *Regional geology and metallogeny*. 2021. No. 85. P. 93—102 (In Russian).
 11. Ostroumov G. V. Methodological bases for the study of the chemical composition of rocks, ores and minerals // *Subsoil*. 1979. P. 37—52 (In Russian).
 12. Plaskin I.N. Sampling and assay analysis. Moscow: Metallurgy, 1987. 267 p. (In Russian).
 13. Revenko A.G. Physical and chemical methods for studying rocks and minerals at the Analytical Center of the Institute of Earthquake Conservation of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences // *Geodynamics and Tectonophysics*. 2014. T. 5. No. 1. P. 101—114 (In Russian).
 14. Yamalova A.U., Frolova M.S., Shcherbakova K.O., Ovezov B.A. Downhole automatic laser macroanalyzer for integrated development of hydrocarbon reserves // *Business magazine Neftegaz.RU*. 2022. No. 7(127). P. 88—91 (In Russian).
 15. Adeniji A.W. The applications of laser technology in downhole operations—a review // *International petroleum technology conference*. OnePetro, 2014.
 16. Batarseh S., et al. Downhole high-power laser tools development and evolutions // *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference*. OnePetro, 2018.
 17. Girard R., Tremblay J., Neron A., Longuepee H., Makvandi S. Automated Gold Grain Counting. Part 2: What a Gold Grain Size and Shape Can Tell // *Minerals*. 2021. Vol. 11 379 p. DOI: 10.3390/min11040379
 18. Wegscheider W. Validation: an Example // *Quality in Chemical Measurements*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001. P. 79—87.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Batyr A. Ovezov — 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 АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Овезов Батыр Аннамухамедович — начальник отдела организации научных мероприятий и молодежной науки ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: ovezovba@mgri.ru

тел.: +7 (922) 472-20-86

SPIN-код: 1806-6788

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0213-8137>

Batyr A. Ovezov — Head of the Department of Organization of Scientific events and Youth Science, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: ovezovba@mgri.ru

tel.: +7 (922) 472-20-86

SPIN-code: 1806-6788

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0213-8137>



Л.В. ПУСТОВАЛОВ И СТАНОВЛЕНИЕ НАУКИ ОБ ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ В НАШЕЙ СТРАНЕ

В.Г. КУЗНЕЦОВ^{1,2}

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

² ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

АННОТАЦИЯ

Отмечена роль Л.В. Пустовалова в создании в нашей стране теоретической базы науки об осадочных породах, формулировании и обосновании важнейших закономерностей осадочного процесса и его стадий. Выделены и описаны процессы и результаты этих стадий — выветривания, переноса, осаднения, в результате чего происходит дифференциация осадочного материала и образование тех или иных осадочных пород разного состава и строения. Сформулированы понятия о стадиях диагенеза и эпигенеза (катагенеза). Впервые были намечены черты эволюции осадочного процесса: обстановок осадкообразования, образования тех или иных осадочных минералов и пород.

Ключевые слова: Л.В. Пустовалов, осадочная дифференциация, диагенез, эволюция осадочного породообразования

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кузнецов В.Г. Л.В. Пустовалов и становление науки об осадочных породах в нашей стране. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(2):92—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-92-99>

Статья поступила в редакцию 24.01.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 25.05.2023

L.V. PUSTOVALOV AND THE ESTABLISHMENT OF SEDIMENTARY RESEARCH IN RUSSIA

VITALY G. KUZNETSOV^{1,2}

¹ Gubkin University
65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

² Oil and Gas Research Institute of RAS
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

ABSTRACT

This article is dedicated to the role of L.V. Pustovalov in creating the theoretical foundations of sedimentary research in Russia, including determination and substantiation of the most important regularities governing sedimentary processes and their stages. The constituting stages of sedimentary processes, such as weathering, transport, and deposition, were identified and described. These stages lead to the differentiation of sedimentary material and the formation of sedimentary rocks of different composition and structure. The concepts of the stages of diagenesis and epigenesis

(catagenesis) were formulated. For the first time, specific features of sedimentary process evolution were outlined, including sedimentation conditions and formation of individual sedimentary minerals and rocks.

Keywords: L.V. Pustovalov, sedimentary differentiation, diagenesis, evolution of sedimentary rock-forming

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

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

For citation: Kuznetsov V.G. L.V. Pustovalov and the establishment of sedimentary research in Russia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(2):92—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-92-99>

Manuscript received 24 January 2023

Accepted 24 May 2023

Published 25 May 2023

В августе 2022 года Л.В. Пустовалову исполнилось бы 120 лет. И хотя его нет с нами, основные идеи и научные разработки этого ученого до сих пор побуждают интерес и в той или иной степени присутствуют и развиваются, при этом, согласно законам диалектики, нередко развитие не «отрицает» выдвинутые ранее положения, но представляет их в новом, более глубоком значении. Ни в коей мере не ставя целью подробный анализ научных идей и научного наследия Л.В. Пустовалова, настоящие заметки посвящены некоторым крайне важным аспектам научного наследия этого выдающегося ученого.

Двадцатые–тридцатые годы двадцатого столетия — это время становления самостоятельной науки об осадочных породах, их составе, строении, механизмах и обстановках образования, преобразовании и изменении в течение геологической истории Земли. Подобные исследования совершенно независимо и в той или иной мере одновременно формировались и развивались в разных странах и на разных континентах. Так, в 1922 г. в США был организован Комитет по седиментологии, призванный определенным образом систематизировать и в той или иной форме обобщить направления исследовательских работ в области осадочных пород, в том числе для преподавания этой новой дисциплины в университетах страны.

Последнее нашло свое выражение в подготовке и издании в 1925 г. специального «Трактата по седиментологии» коллектива авторов во главе с У.Х. Твенхофелом. Второе издание этого пособия было переведено и издано на русском языке в 1936 г. под названием «Учения об образовании осадков».

1922 год стал знаковым и в нашей стране — в этом году М.С. Швецов в Московском университете начал читать специальный курс по петрографии осадочных пород; аналогичный курс в том же году прочел Б.П. Кротов в Казанском университете. В дальнейшем Б.П. Кротов отошел от педагогической деятельности и посвятил себя полностью науке, а М.С. Швецов до конца жизни успешно совмещал научную работу с преподавательской и создал, по сути дела, первый учебник «Петрография осадочных пород», впервые изданный в 1932 году и затем дважды переизданный с соответствующими изменениями и дополнениями в 1945 и 1958 гг. [20]. В том же 1922 г. в Ленинградском горном институте будущий академик Д.В. Наливкин начал читать курс «Учения о фациях» как раздел науки об осадочных породах.

Возвращаясь непосредственно к Л.В. Пустовалову, следует указать, что в 1934 г. он был приглашен в созданный в 1930 г. при разделе и на базе соответствующего факультета Горной академии Московский нефтяной институт, где возглавил кафедру минералогии и кристаллографии.

Л.В. Пустовалов начал реорганизацию кафедры с переориентации ее деятельности как в области преподавания, так и области научной, именно на осадочные породы. Он перераспределил часовую нагрузку на изучение именно осадочных пород, а не «чистой» кристаллографии, минералогии и общей петрографии, а также организовал проведение новых лабораторных и аналитических работ, в том числе гранулометрического, химического — карбонатного и др. — видов анализов. Сейчас эти анализы могут показаться простыми и примитивными, но тогда они были массовыми, рабочими, направленными на исследование именно осадочных пород.

Можно с полной уверенностью утверждать, что вершиной подобной переориентировки учебной и научной деятельности кафедры было написание и издание Л.В. Пустоваловым учебного пособия для нефтяных вузов «Петрография осадочных пород» [12]. Первая часть в виде отдельного тома названа «Основы литологии (петрологии) осадочных пород», вторая часть — «Структура, текстура, окраска и описание главнейших типов осадочных пород» и третья — «Таблицы», а по сути дела — альбомы иллюстраций.

Крайне важны положения Л.В. Пустовалова о названии науки, которые изложены в самом начале первого тома. Во Введении он отметил, что «...петрография осадочных пород не только всесторонне описывает соответствующие минеральные образования, т.е. фиксирует наблюдаемые в природе факты, но также занимается вопросами происхождения современных и древних осадков, вопросами их генезиса, т.е. изучает всю историю развития осадочной породы с момента ее образования до современного состояния, тесно увязывает эту историю с геологической историей земной коры и всей Земли в целом. Таким образом, учение об осадочных породах является сейчас не только описательной, но и исторической наукой, поэтому правильнее ее было бы называть не петрографией, а петрологией или литологией осадочных пород». И далее: «...вполне уместно поэтому именовать учение о современных и древних минеральных осадках литологией осадочных пород в отличие от петрологии магматических и метаморфических образований, подчеркивая тем самым не только ее описательное, но и генетическое содержание» (все выделения сделаны Л.В. Пустоваловым) [12, т. I, с. 7].

Сам термин «литология» именно для осадочных пород ранее использовался геологами Германии еще в XIX веке. Так, один из крупнейших исследователей рубежа XIX и XX столетий И. Вальтер в капитальном «Введении в геологию как историческую науку» половину более чем тысячестраничного тома посвятил описанию под этим термином осадочных пород и их происхождению, причем установил 7 фаз — стадий осадочного процесса: Выветривание, Абразия, Транспорт, Осаждение (дословно — осаждение с образованием слоев), Диагенез, Метаморфизм [30].

Позднее Н.М. Страхов [15, 16] сформулировал положение о двухуровневой структуре литологии как науки: первый, более описательный — это петрография осадочных пород, которая направлена на детальное изучение конкретных

видов осадочных пород: обломочных, карбонатных, кремнистых, солевых и т.д., их составе, структурах, текстурах и, естественно, лишь частично, если можно так выразиться, на более теоретических аспектах — механизмах и обстановках происхождения этих пород. Второй уровень науки — это синтез и теоретическое осмысление общих закономерностей осадочного породообразования. В свою очередь, последний уровень — теоретическая литология — опять-таки условно, без четких границ между ними, в настоящее время включает три раздела: стадияльно-литогенетический, седиментационно-генетический и историко-литологический. По сути дела, без подобного подразделения эти направления с той или иной степенью детальности и, соответственно, обоснованности выводов были намечены Л.В. Пустоваловым.

Именно в этом плане интересно рассмотреть некоторые положения Л.В. Пустовалова, их развитие в настоящее время.

Одним из основных, если, по сути, не основным развиваемым Л.В. Пустоваловым, положений было введение и разработка учения об осадочной дифференциации вещества в осадочном процессе. В настоящих заметках нет необходимости разбирать подробно схемы самого Л.В. Пустовалова 1940 года. Важнее отметить развитие, а следовательно, и определенную коррекцию первичных представлений этого явления.

Сейчас ясно, что дифференциация, разделение вещества происходит практически на всех стадиях осадочного процесса и, естественно, не столь схематично и, с современных позиций, даже примитивно, как это дано в первичной схеме Л.В. Пустовалова.

Первый уровень глобального разделения вещества — это уровень выветривания, стадия образования самого осадочного материала. Существенно упрощая и схематизируя ситуацию, можно указать на практически хрестоматийные примеры выветривания гранитоидов, когда из алюмосиликатов вначале выделяются и удаляются щелочные элементы, затем щелочно-земельные и на заключительных стадиях — кремнезем. В итоге формируется классическая зональность коры выветривания: дресвянистая, гидрослюдистая, каолининовая и латеритная зоны, то есть разные осадочные образования со своим, отличным от исходного составом.

Схема дифференциации обломочного материала на стадиях переноса и осаждения — обломочная дифференциация Л.В. Пустовалова — это не просто разделение материала по размеру

обломков, но и более значимое, глобальное количественное разделение вещества. А.П. Лисицыным показано, что в Мировой океан с суши поступает 92,4% обломочного и только 7,6% растворенного вещества [9].

При этом на периферии океанов — на шельфе, континентальном склоне и его подножии — осаждается 92,2% терригенного материала и только 7,8% поступает в центральные зоны океана. Другими словами, происходит разделение, дифференциация не только по размеру, но и по количеству вещества. Противоположная картина с растворенным материалом — в периферийных зонах океанов осаждается 58%, а 42% соответственно, то есть почти половина вещества, переносится далее и осаждается в пелагических областях. В определенной степени подобную ситуацию предвидел и сам Л.В. Пустовалов, который полагал, что на определенном этапе механическая и химическая дифференциация реализуются одновременно, но на каком-то этапе перенос и осаждение обломочного материала прекращается и преобладает, нередко абсолютно, дифференциация хемогенная [12, т. II, с. 267]. Это положение под названием «фазовая дифференциация» после работ Н.М. Страхова вошло в лексикон литологов.

Если механическая дифференциация была воспринята более или менее позитивно, то химическая вызвала достаточно негативное отношение. Дело в том, что чисто графическая иллюстрация этого положения в книге Л.В. Пустовалова подосознательно вызвала чрезвычайно упрощенное представление о том, что образование осадков того или иного состава зависит от положения, точнее удаления, от источников самого осадочного материала, что в корне неверно.

В самой общей форме можно говорить о том, что породы левой части схемы химической дифференциации Л.В. Пустовалова формируются в условиях гумидного климата, а правой — семиаридного и аридного [6]. Более того, конкретные геологические, в том числе климатические, условия и, соответственно, обстановки, способы осадконакопления могут достаточно тесно соприкасаться. Наглядным примером последнего является осадконакопление в Каспийском море и связанной с ним лагуне — Кара-Богаз-Гол. В существенно опресненном за счет активного притока пресных вод из гумидной климатической зоны Каспийском море идет седиментация песчано-глинистых и известковых (раковинных) отложений, а в примыкающей к нему лагуне

с ее резко повышенной соленостью — самых правых членов схемы химической дифференциации Л.В. Пустовалова.

Другими словами, дифференциация осадочного материала при переносе и осаждении — отнюдь не прямая зависимость от места образования этого материала и места осаждения тех или иных отложений. Более того, может быть, в существенно меньших масштабах, но разделение вещества и формирование из в той или иной степени однородной и многокомпонентной по составу субстанции относительно «чистых» образований происходит не только на стадии переноса и осаждения. Таково, например, перераспределение вещества и образование диагенетических конкреций. Кстати, само определение стадии диагенеза и характеристика происходящих на этой стадии процессов были сформулированы Л.В. Пустоваловым, что позднее отметил академик Н.М. Страхов, глубокие и детальные исследования диагенеза которого стали практически эталонными [16, с. 78—79]. Уже этот краткий экскурс показывает, что практически на всех стадиях осадочного процесса различными способами происходит разделение вещества и осадочный процесс в целом — это глобальный, многостадийный и многоуровневый по масштабам и результатам процесс количественного и качественного разделения вещества, его дифференциация в пространстве и времени.

В пятидесятых годах Л.В. Пустовалов обратился к проблеме вторичных преобразований осадочных пород, организовал реализацию серии исследований, которые затем были оформлены и опубликованы в специальном теоретическом сборнике «О вторичных изменениях осадочных пород» [13] и положили начало детальному изучению этой стадии в работах А.Г. Коссовской, А.В. Копелиовича, В.Д. Шутова, И.М. Симановича, О.В. Япаскурта и др., что в итоге вылилось в большой самостоятельный раздел литологии в целом.

Нельзя не коснуться еще одного очень важного направления, которое относительно осадочного процесса впервые в столь четкой форме было сформулировано Л.В. Пустоваловым. Это вопрос об эволюции осадочного породообразования, а по сути дела, эволюции геологических процессов в истории Земли.

Вице-президент АН СССР академик А.Л. Яншин даже назвал Л.В. Пустовалова основоположником учения об эволюции осадочного породообразования и геологических процессов в целом в истории Земли [27], отметив с некоторым сожалением, что «...сломлена парадигма

актуализма была не в области тектоники, а в области литологии» [26, с. 5].

В рамках этого направления изучено и описано изменение в геологической истории Земли отдельных типов осадочных пород и осадочных формаций, а также были установлены общие закономерности изменения геологических, включая геохимические, обстановок и, соответственно, осадочных процессов в геологической истории по крайней мере за 3,2—3,4 млн лет, что нашло свое выражение в серии докладов на многочисленных совещаниях разного, в том числе международного, уровня и многочисленных публикациях [1, 3—5, 7, 8, 10, 18, 19, 22—25]. В итоге к настоящему времени в литологии сформировалось самостоятельное направление изучения эволюции осадочного процесса, которое в том числе восстанавливает изменение геохимических обстановок, наличие различных процессов осадконакопления и формирования тех или иных осадочных образований, то есть литология решает очень общие проблемы эволюции внешних геосфер Земли, но постановка проблемы и первые примеры эволюции образования отдельных типов осадочных пород — заслуга Л.В. Пустовалова.

Отмечая несомненные заслуги Л.В. Пустовалова в становлении литологии как самостоятельной и важной отрасли геологии, нельзя не коснуться тех аспектов науки, по которым он отчетливо и однозначно высказывался, но современное состояние знаний показывает ошибочность его взглядов и положений.

Прежде всего и важнее всего — это его отношение к роли организмов и жизни в образовании как конкретных осадочных пород, так и в осадочном процессе в целом.

Цитируем: «Организмы, сами зависящие в своем развитии от неорганической жизни земного шара, не могли и не могут самостоятельно играть той будто бы ведущей определяющей роли, которую ошибочно нередко приписывают им в данном случае» [12, т. I, с. 375]. И далее: «...как преимущественное развитие организмов с соответствующим составом своего скелета, так и особенно благоприятные условия для сохранения именно таких организмов, совпадают с выпадением и накоплением того же самого или близкого продукта химической дифференциации» [там же, с. 376].

Другими словами, по Л.В. Пустовалову, именно обстановки осадконакопления определяют и обуславливают развитие в этом месте

(в современной терминологии — локацию) тех или иных организмов.

Настоящая статья не предполагает развития дискуссии с объяснением тех или иных положений. Удивительно другое. Работая с Я.В. Самойловым — соратником и единомышленником В.И. Вернадского, общаясь с самим В.И. Вернадским, Л.В. Пустовалов не осознал и не воспринял их идеи о роли жизни в создании обстановок внешних геосфер — гидро- и атмосферы, которые в значительной, если не основной, мере определяют и саму химическую обстановку внешних геосфер, и соответственно механизмы и способы осаждения материала.

Основные научные и педагогические работы Л.В. Пустовалова были посвящены системам породного уровня — закономерным ассоциациям минералов, слагающих горную породу, в данном случае осадочную. Но одновременно он рассмотрел, правда, очень кратко, и атомарный, элементный уровень, введя понятие о геохимических фациях. Эта сторона его научного творчества была весьма положительно воспринята одним из творцов геохимии в нашей стране академиком А.Е. Ферсманом, который включил соответствующую статью Л.В. Пустовалова в качестве отдельного параграфа в главе о геохимии гипергенных процессов в свой капитальный труд «Геохимия» [17, 698—701]. Не касаясь подробно этого вопроса, можно констатировать, что Л.В. Пустовалов выделил и охарактеризовал ряд геохимических фаций, однако принцип их выделения и, если можно так выразиться, их равнозначность, равноуровневость, равномасштабность были явно поверхностны. Так, были выделены пустынная геохимическая фация и фация сероводородная, то есть использованы абсолютно разные основания для подразделения. Многие объяснения причин образования тех или иных геохимических фаций не выдержали проверки временем. Например, пирит как показатель сероводородной геохимической фации образуется в абсолютном большинстве случаев в диагенезе и сероводородная геохимическая обстановка никак не связана с положением границы сероводородного заражения в водной толще выше уровня осадка, как это описано у Л.В. Пустовалова. Достаточно указать на факт частой пиритизации остатков организмов и, в частности, их раковин. Сами организмы обитали в кислородсодержащей среде, а уже в осадке, в диагенезе создавалась восстановительная, в том числе сероводородная, геохимическая обстановка, что и обусловило образование сульфидов, в том

числе и пиритизацию раковин. Даже в современном Черном море с его сероводородным заражением содержание пирита в осадках глубоководных областей с сероводородом и мелководных с кислородом одинаково. По этому поводу Н.М. Страхов отметил, что «...черноморские илы отнюдь не отличаются каким-либо особым богатством FeS_2 , а тот пирит, какой имеется, возник, как обычно, в илах, а вовсе не в воде моря» [14, стр. 136]. Добавим, что большую, если не основную, роль в образовании пирита имеют бактерии, что изучено и описано в работах микробиологов [2]. Словосочетание «сероводородное заражение» заменено ныне на краткий более звучный термин — аноксия, и именно под этим словом широко используется, в частности, для объяснения массовых вымираний (см., например, [28, 29]), что, как отмечено выше, никакого отношения к обстановкам в придонном слое, где и обитает фауна, не имеет.

Понятно, что критиковать отдельные положения и выводы спустя несколько десятилетий после первых сообщений по крайней мере некорректно, однако само введение геохимических идей и методов в изучение осадочных пород и осадочного процесса в целом, сама постановка проблемы геохимических обстановок седименто-, диа- и катагенеза была впервые осуществлена именно Л.В. Пустоваловым, и это оказалось весьма плодотворным направлением, которое в итоге вылилось в создание целого раздела геохимии — геохимии гипергенеза [11].

Введенное Л.В. Пустоваловым понятие о геохимических обстановках седиментации и диагенеза в виде положения о геохимических фациях прочно вошло в лексикон литологов, и, с той или иной

степенью достоверности, они реконструируются в процессе литологических исследований.

Завершить краткий очерк о работах Л.В. Пустовалова можно высказыванием патриарха отечественной науки об осадочных породах М.С. Швецова: «...работа Л.В. Пустовалова сыграла большую положительную роль в развитии осадочной петрографии. Прежде всего она подчеркнула существование точных закономерностей образования осадочных пород и взаимоотношений и связей последних между собой. Она способствовала, как в свое время статья Я.В. Самойлова, пробуждению и повышению интереса к изучению осадочных пород и пониманию необходимости выявления основных законов их образования. И, наконец, что было не менее важно, у тех исследователей, которые считали положения Л.В. Пустовалова ошибочными, она вызвала потребность глубже вникнуть в сущность общих закономерностей осадочного породообразования, которых без того эти исследователи, может быть, и не стали бы касаться. Таким образом, работа Л.В. Пустовалова, как и ее критика, способствовала привлечению внимания к целеустремленной разработке основ теории осадкообразования и поискам путей решения этой проблемы, основанных на тщательном изучении точных фактических данных, и сыграла немалую роль в развитии теоретических основ нашей науки» [21, с. 209—210].

Литология, как любая наука, живет, развивается, углубляется, вплоть до полного изменения отдельных ее частей и разделов, и это показатель ее значимости, жизнеспособности, того, что заложил в ее основание Л.В. Пустовалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анатольева А.И.* Главные рубежи эволюции красноцветных формаций. Новосибирск: Наука, 1978. 190 с. (Тр. ИГиГ СО АН СССР, вып. 416).
2. *Бактериальная палеонтология.* М.: ПИН РАН, 2002, 188 с.
3. *Броневой В.А., Теняков В.А.* К эволюции бокситообразующих процессов в фанерозое // *Литология и полезные ископаемые*, 1987. № 1. С. 41—50.
4. *Жарков М.А.* Эволюция галогенного осадконакопления в истории Земли // 27-й Международный геол. конгресс. Доклады советских геологов. Литология. М.: Наука, 1984. Т. 4. С. 69—75.
5. *Кузнецов В.Г.* Эволюция карбонатакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.
6. *Кузнецов В.Г.* Учение Л.В. Пустовалова об осадочной дифференциации и его современное состояние // *Бюллетень МОИП. Отд. геол.*, 2005. Т. 80. Т. 4. С. 66—74.
7. *Кузнецов В.Г.* Эволюция доломитообразования и ее возможные причины // *Бюллетень МОИП. Отд. геол.*, 2005. Т. 80. Вып. 4. С. 49—66.
8. *Кузнецов В.Г.* Эволюция осадочного породообразования в истории Земли. М.: Научный мир, 2016. 212 с.
9. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
10. *Михайлов Б.М.* Эволюция обстановок бокситонакопления в геологической истории Земли // *Проблемы генезиса бокситов.* М.: Наука, 1975. С. 41—55.
11. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 288 с.
12. *Пустовалов Л.В.* Петрография осадочных пород.

- Гостоптехиздат, М.—Л., 1940. Ч. 1. 476 с. Ч. 2. 420 с. Ч. 3. 63 с.
13. Пустовалов Л.В. О вторичных изменениях осадочных горных пород и их геологическое значение // О вторичных изменениях осадочных пород. Тр. ГИН, вып. 5. Изд-во АН СССР, 1956 С. 3—52.
 14. Страхов Н.М. Осадкообразование в Черном море // Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд. АН СССР, 1954. С. 81—136.
 15. Страхов Н.М. О теоретической литологии и ее проблемах // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1957. № 11. С. 15—31.
 16. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.
 17. Ферсман А.Е. Геохимия. Избранные труды. Т. 111. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 98 с.
 18. Хворова И.В. Основные черты эволюции кремне-накопления в фанерозое // Эволюция осадочного процесса в океанах и на континентах. М.: Наука, 1983. С. 111—120.
 19. Холодов В.Н. Эволюция кремне-накопления в истории Земли // Происхождение и практическое использование кремнистых пород. М.: Наука, 1987. С. 6—43.
 20. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. М.: Гостоптехиздат, 1958. 416 с.
 21. Швецов М.С. Материалы к истории развития науки об осадочных породах в СССР // Очерки по истории геологических знаний. Вып. 6. М.: Изд. АН СССР, 1958. С. 97—237.
 22. Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993. 240 с.
 23. Эволюция нефте- и газообразования в истории Земли. М.: Наука, 1986. 223 с.
 24. Эволюция осадочного процесса в океанах и на континентах. М.: Наука, 1983. 264 с.
 25. Эволюция осадочного рудообразования в истории Земли. М.: Наука, 1984. 231 с.
 26. Яншин А.Л. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Л.: Наука, 1988. 39 с.
 27. Яншин А.Л. Л.В. Пустовалов — основоположник учения об эволюции геологических процессов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 1993. № 4. С. 3—9.
 28. Joachimski M.M., Buggisch W. Anoxic events in the late Frasnian — Causes of the Frasnian-Famenian faunal crisis? // Geology, 1993. Vol. 21. P. 675—678.
 29. Huang Y., Chen Z.-Q., Algeo Th., et al. Two-stage marine anoxia and biotic response during the Permian-Triassic transition in Kashmir, northern India: pyrite framboid evidence // Global and Planetary Change. 2019. Vol. 172. P. 124—139.
 30. Walther J. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Iena, Gustav Fischer, 1893/1894. 1148 p.

REFERENCES

1. Anatolieva A. I. Main Landmarks of the Evolution of Redstone Formations. Novosibirsk: Nauka, 1978. 190 p. (Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Academy of Sciences of the Soviet Union, no. 416) (In Russian).
2. Bacterial Paleontology. Moscow: Paleontological Institute of Russian Academy of Sciences, 2002. 188 p.
3. Bronevoy V.A., Tenyakov V.A. To the Evolution of Bauxite-Forming Processes in Phanerozoic // Lithology and Mineral Resources. 1987. No. 1. P. 41—50 (In Russian).
4. Zharkov M.A. Evolution of Halogenic Sedimentation in the Earth History // 27th International Geological Congress. Reports of the Soviet Geologists. Lithology. Moscow: Nauka, 1984. Vol. 4. P. 69—75 (In Russian).
5. Kuznetsov V.G. Evolution of Carbonate Accumulation in the Earth History. Moscow: GEOS, 2003. 262 p.
6. Kuznetsov V.G. L.V. Pustovalov's Doctrine on Sedimental Differentiation and Its Current State // Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Division. 2005. Vol. 80. No. 4. P. 66—74 (In Russian).
7. Kuznetsov V.G. Evolution of Dolomite Formation and Its Possible Reasons // Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Division. 2005. Vol. 80. No. 4. P. 49—66 (In Russian).
8. Kuznetsov V.G. Evolution of Sedimental Rock-Forming in the Earth History. Moscow: Nauchny Mir, 2016. 212 p. (In Russian).
9. Lisitsyn A.P. The Processes of Ocean Sedimentation. Moscow: Nauka, 1978. 392 p. (In Russian).
10. Mikhaylov B.M. Evolution of the Settings of Bauxite-Forming in the Geological History of the Earth // Problems of Bauxite Genesis. Moscow: Nauka, 1975. P. 41—55 (In Russian).
11. Perelman A.I. Geochemistry of Elements in the Hypergenesis Zone. Moscow: Nedra, 1972. 288 p. (In Russian).
12. Pustovalov L.V. Petrography of Sedimentary Rocks. Moscow — Leningrad: Gostoptekhizdat, 1940. Part I. 476 p. Part II. 420 p. Part III. 63 p. (In Russian).
13. Pustovalov L.V. On Secondary Changes in Sedimentary Rocks and Their Geological Significance // On Secondary Changes of Sedimentary Rocks. Proceedings of Geological Institute. Vol. 5. Academy of Sciences of the Soviet Union, 1956. P. 3—52 (In Russian).
14. Strakhov N.M. Sedimentation in the Black Sea // Sedimentation in Modern Reservoirs. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union, 1954. P. 81—136 (In Russian).
15. Strakhov N.M. On Theoretical Lithology and Its Problems // Izvestiya: Geological Series, 1957. No. 11. P. 15—31 (In Russian).
16. Strakhov N.M. Fundamentals of the Lithogenesis Theory. Vol. 1. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union, 1960. 212 p. (In Russian).
17. Fersman A.E. Geochemistry. Selected Writings.

- Vol. III. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union, 1955. 98 p. (In Russian).
18. Khvorova I.V. Main Characteristics of the Evolution of Silica Sedimentation in Phanerozoic // Evolution of the Process of Sedimentation in the Oceans and on the Continents. Moscow: Nauka, 1983. P. 111—120 (In Russian).
 19. Kholodov V.N. Evolution of Silica Sedimentation in the Earth History // Genesis and Practical Use of Siliceous Rocks. Moscow: Nauka, 1987. P. 6—43 (In Russian).
 20. Shvetsov M.S. Petrography of Sedimentary Rocks. Moscow: Gostoptekhizdat, 1958. 416 p. (In Russian).
 21. Shvetsov M.S. Materials to the history of Sedimentary Rocks Science in the USSR // Essays on the History of Geological Knowledge. No. 6. Moscow: Academy of Sciences of the Soviet Union, 1958. P. 97—237 (In Russian).
 22. Evolution of Geological Processes in the Earth History. Moscow: Nauka, 1993. 240 p. (In Russian).
 23. Evolution of Oil and Gas Formation in the Earth History. Moscow: Nauka, 1986. 223 p. (In Russian).
 24. Evolution of the Process of Sedimentation in the Oceans and on the Continents. Moscow: Nauka, 1983. 264 p. (In Russian).
 25. Evolution of Sedimentary Mineralization in the Earth History. Moscow: Nauka, 1984. 231 p. (In Russian).
 26. Yanshin A.L. Evolution of the Geological Processes in the Earth History. Leningrad: Nauka, 1988. 39 p. (In Russian).
 27. Yanshin A.L. L.V. Pustovalov — a Founder of the Doctrine on Evolution of Geological Processes // Geology, Geophysics and Oil and Gas Reservoir Engineering. 1993. No. 4. P. 3—9 (In Russian).
 28. Joachinski M.M., Buggisch W. Anoxic events in the late Frasnian — Causes of the Frasnian-Famenian faunal crisis? // Geology. 1993. Vol. 21. P. 675—678.
 29. Huang Y., Chen Z.-Q., Algeo Th., et al. Two-stage marine anoxia and biotic response during the Permian-Triassic transition in Kashmir, northern India: pyrite framboid evidence // Global and Planetary Change. 2019. Vol. 172. P. 124—139.
 30. Walther J. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Iena, Gustav Fischer, 1893/1894. 1148 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Vitaly G. Kuznetsov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Кузнецов Виталий Германович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»; ведущий научный сотрудник ФГБН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук».

65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия
e-mail: vgkuz@yandex.ru
тел.: +7 (499) 507-91-72, +7 (495) 330-39-42
SPIN-код: 9477-8454
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Vitaly G. Kuznetsov — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof. of the Department of Lithology of Gubkin University; Leading Researcher at the Oil and Gas Research Institute of RAS.

65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia
e-mail: vgkuz@yandex.ru
tel.: + 7 (499) 507-91-72, + 7 (495) 330-39-42
SPIN-code: 9477-8454
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

