

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

2023

Том 65, № 1
Vol. 65, #1

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

1

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Научно-методический журнал

Том 65, № 1

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. 1

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

Шестопалов 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	31.03.2023
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	31.03.2023
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

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 8 К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНОВЫХ РУД**

Ю.П. ПАНОВ, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ, А.Г. СЕКИСОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 15 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ ФЫОКШОН, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ**

Т. ЧАН ВАН, П.А. ИГНАТОВ, Т. МАЙ ЧОНГ

- 28 СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕРРИТОРИЙ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ РАСПОЛОЖЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ**

Н.Н. ЗИНЧУК, В.И. КОПТИЛЬ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 43 ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЭОЦЕН-ПАЛЕОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БАССЕЙНОВОГО АНАЛИЗА И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Е.В. ВЯТКИНА, Е.А. ЛАВРЕНОВА, М.С. ЛЕВИЦКАЯ, У.С. СЕРИКОВА

- 55 НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИЕ ТОЛЩИ ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ**

П.А. ВОЛКОВА, Е.А. ЛАВРЕНОВА, М.С. ЛЕВИЦКАЯ, Т.Н. СУЮНБАЕВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 67 ЮВЕЛИРНЫЕ СЕПТАРИИ МАРОККО. ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА**

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ

- 77 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Т.А. БУДЫКИНА, Л.В. ГАНДУРИНА

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- 89 АЛИЕВОВЕДЕНИЕ КАК НАУЧНЫЙ ФЕНОМЕН**

Н.Г. ВАЛИЕВ, А.Г. ШОРИН

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 8 TO THE QUESTION OF APPLICATION OF NEW PHYSICAL AND CHEMICAL GEOTECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF URANIUM ORE DEPOSITS**
YURI P. PANOV, OLEG S. BRYUKHOVETSKY, ARTUR G. SEKISOV

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 15 LOCALIZATION PATTERNS OF GOLD MINERALIZATION IN THE PHUOC SON AREA, CENTRAL VIETNAM**
TIEN TRAN VAN, PETR A. IGNATOV, TU MAI TRONG
- 28 COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DIAMONDS FROM AREAS WITH A HIGH DENSITY OF KIMBERLITE BODIES**
NIKOLAY N. ZINCHUK, VASILY I. KOPTIL

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 43 OIL AND GAS POTENTIAL OF THE EOCENE-PALEOCENE DEPOSITS OF THE BLACK SEA-CASPIAN REGION BASED ON BASIN ANALYSIS AND BM&PSM MODELING**
ELIZAVETA V. VYATKINA, ELENA A. LAVRENOVA, MARIA S. LEVITSKAYA, ULYANA S. SERIKOVA
- 55 TRIASSIC SOURCE ROCKS OF THE EASTERN CISCAUCASIA**
POLINA A. VOLKOVA, ELENA A. LAVRENOVA, MARIA S. LEVITSKAYA, TEMIRBOLAT N. SUYUNBAYEV

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 67 JEWELRY MOROCCO SEPTARIA. GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS AND MINERAL COMPOSITION**
DMITRY A. PETROCHENKOV
- 77 INVESTIGATION OF AGRILLACEOUS ROCK PROPERTIES BY THERMAL ANALYSIS**
TATIANA A. BUDYKINA, LYUDMILA V. GANDURINA

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 89 "ALIYEVEDENIE" AS A SCHOLARLY PHENOMENON**
NIYAZ G. VALIEV, ALEXANDER G. SHORIN



К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНОВЫХ РУД

Ю.П. ПАНОВ¹, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ^{1,*}, А.Г. СЕКИСОВ²

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

² ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»
30, ул. Александровская, г. Чита 672039, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Подземное выщелачивание урана является перспективным геотехнологическим процессом, обеспечивающим кардинальное повышение технической, экономической эффективности и экологической безопасности освоения урановых месторождений. В статье рассмотрены основные разработки МГРИ в этой области.

Цель. Исследовать процессы активационного выщелачивания урана рабочими растворами, прошедшими электрофотохимическую обработку до контактирования с рудой.

Материалы и методы. Активационная подготовка выщелачивающих растворов обеспечивает возможность синтеза активных гидратированных форм кислорода и водорода с коллективизированными протонами и гидроксил-ионами, кластеризованными молекулами воды. После предокисления активным карбонатным раствором проведено модельное скважинное выщелачивание хлоридно-гипохлоритным, содовым, сернокислотным растворами. Тестирующее перколяционное выщелачивание урана из руд месторождений Учкудук и Сугралы активированными растворами, проведенное на стендах, конструкция которых разработана в МГРИ совместно с сотрудниками ИГД ДВО РАН и ЗабГУ, подтвердило потенциальную возможность существенного повышения коэффициента извлечения урана.

Результаты. При выщелачивании растворами карбоната натрия и карбоната аммония извлечение урана из проб руды месторождения Сугралы составило 52 и 59% соответственно. В то же время использование активированного раствора перкарбоната натрия, совмещающего функцию окислителя и комплексообразователя, позволило достичь 87—88% извлечения урана в продуктивные растворы за 21 день без предварительного предокисления.

Заключение. Полученные результаты исследований подтверждают перспективность использования шахтного (блочного) и скважинного выщелачивания урана активированными растворами.

Ключевые слова: урановые руды, геотехнологии, месторождение, растворы, выщелачивание

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Панов Ю.П., Брюховецкий О.С., Секисов А.Г. К вопросу применения новых физико-химических геотехнологий освоения месторождений урановых руд. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):8—14. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-8-14>

Статья поступила в редакцию 22.12.2022

Принята к публикации 30.01.2023

Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

TO THE QUESTION OF APPLICATION OF NEW PHYSICAL AND CHEMICAL GEOTECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF URANIUM ORE DEPOSITS

YURI P. PANOV¹, OLEG S. BRYUKHOVETSKY^{1,*}, ARTUR G. SEKISOV²

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

² *Zabaikalsky State University
30, Alexandro-Zavodskaya str., Chita 672039, Russia*

ABSTRACT

Background. Underground uranium leaching is a promising geotechnological process due to its potential to provide for a radical increase in the technical and economic efficiency, as well as environmental safety, of uranium deposit development. In this article, we discuss the main results in this direction obtained by specialists of the Russian State University for Geological Prospecting.

Aim. To study the processes of uranium leaching by activated solutions, which undergo electropho-tochemical treatment prior to contacting with the ore.

Materials and methods. Activation preparation of leaching solutions enables the synthesis of active hydrated forms of oxygen and hydrogen with collectivized protons and hydroxyl ions clustered by water molecules. Following the stage of pre-oxidation with an active carbonate solution, a model downhole leaching with chloride-hypochlorite, soda, and sulfuric acid solutions was carried out. Testing percolation leaching of uranium from the ores of the Uchkuduk and Sugrally deposits by activated solutions was conducted at laboratory installations designed by the the Russian State University for Geological Prospecting jointly with the Institute of Mining of Far-East Branch of the Russian Academy of Sciences and Zabaikalsky State University. As a result, the potential of a significant increase in uranium extraction was noted.

Results. When leaching with sodium carbonate and ammonium carbonate solutions, the uranium extraction from ore samples from the Sugrally deposit comprised 52% and 59%, respectively. At the same time, the use of an activated solution of sodium percarbonate, which combines the functions of an oxidizing agent and a complexing agent, resulted in an 87–88% uranium extraction into productive solutions during 21 days without preliminary pre-oxidation.

Conclusion. The results obtained confirm the prospects of using mine (block) and downhole uranium leaching with activated solutions.

Keywords: uranium ores, geotechnologies, deposit, solutions, leaching

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

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

For citation: Panov Yu.P., Bryukhovetsky O.S., Sekisov A.G. To the question of application of new physical and chemical geotechnologies in the development of uranium ore deposits. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):8—14. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-8-14>

Manuscript received 22 December 2022

Accepted 30 January 2023

Published 31 March 2023

* Corresponding author

Дальнейшее развитие и укрепление минерально-сырьевой базы атомной энергетики России, ее оборонной мощи связано с разработкой и внедрением ресурсосберегающих технологий освоения месторождений урановых руд,

обеспечивающих полноту извлечения балансовых запасов урана и сопутствующих металлов.

Россия по производству урана занимает четвертое место в мире после Канады, Австралии, Казахстана [16].

Она обладает значительными запасами урановых руд, основная часть которых заключена в месторождениях Забайкальского края и Бурятии. Преимущественно российские запасы урана представлены рядовыми и бедными по содержанию урана рудами. Разработка месторождений таких руд традиционными технологиями добычи характеризуется низкой рентабельностью и значительными объемами некондиционного сырья, оставляемого в целиках и в неотработанных участках залежей. Поэтому применение **физико-химических геотехнологий** для добычи бедного уранового сырья имеет достаточно большие перспективы.

Вместе с тем вследствие ряда объективных причин, и в первую очередь из-за высокого выхода негабарита, завышенного среднего размера кусков руды после ее взрывной подготовки, кольматации порового пространства, блочное подземное выщелачивание (БПВ) пока не нашло широкого применения на отечественных предприятиях. На крупнейшем российском предприятии, производящем основное количество урана в стране, — **Приаргунском горно-химическом объединении** (ППГХО) эта технология использовалась на его нескольких рудниках, но вследствие ряда технологических проблем не получила широкого развития [16].

В МГРИ на протяжении нескольких десятилетий проводились научные исследования и инженерные изыскания в области физико-химических геотехнологий разработки месторождений урана различного генезиса (на территории России, Украины, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, а также ГДР, Чехословакии), в результате которых был предложен ряд технических решений, позволяющих решить задачи эффективной взрывной и гидромеханической подготовки руд к БПВ, повышения коэффициента извлечения урана из сложнорастворимых минералов растворами, подготовленными в электрохимических и фотоэлектрохимических реакторах и др. [16]

Главной гидрогеохимической особенностью выщелачивания урана является естественное присутствие перекисных соединений в поровых водах, обусловленное процессами их радиолиза при взаимодействии с продуктами дочерних продуктов распада ядер урана-238, в первую очередь гамма-квантами, излучаемыми изотопом радона 226. Основными перекисными соединениями, образующимися при таком радиолизе, являются перекись водорода и гидратированные гидроксил-радикалы, представляющие собой сильные

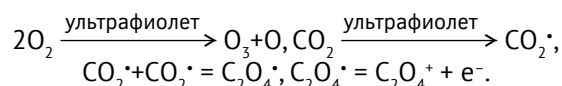
окислители, которые интенсифицируют процессы его выщелачивания. Радиолитическая перекись водорода при взаимодействии с двухвалентным железом распадается на гидроксил-ион и гидроксил-радикал. Гидроксил-радикал не только активно окисляет минералы, но и образует в результате гидратации активные водные кластеры, формирующие гидратные оболочки для комплексообразователей, тем самым повышая их растворяющую способность по отношению к урану.

По-видимому, вследствие таких природных особенностей уран, находящийся в составе рудных минералов, представляющих собой окислы (уранинит, настуран) или оксосиликаты (коффинит уранофан и др.), устойчивых к воздействию пероксидов, не встречается в рудах в форме сульфидов. Если перенос урана и осуществлялся в гидротермальных растворах в составе гидросульфидов и сульфидов, то впоследствии, после осаждения на геохимических барьерах, они окислялись пероксидами, переходя в оксидные формы. В то же время с геотехнологических позиций наличие в рабочих растворах комплексообразователей (сульфатов, карбонатов) на фоне присутствия в поровых водах перекисных соединений обеспечивает, при отсутствии осложняющих факторов, возможность выщелачивания урана с относительно высокими показателями.

В большинстве случаев вследствие взаимодействия комплексообразователей с непродуктивными жильными минералами (кальцитом, доломитом и др.), наличия процессов кольматации в продуктивных пластах гидрогенных осадочных месторождений урана или в отбитой руде гидротермальных штокерковых и жильных месторождений, его выщелачивание может быть в значительной степени затруднено. Кроме того, при шахтном (блочном) выщелачивании при подготовке скальной руды взрывом не обеспечивается полноценный контакт рудных минералов с рабочими растворами. Поэтому, несмотря на ряд технических решений, позволяющих в определенной степени снизить проявление таких негативных факторов, проблема повышения эффективности использования физико-химических геотехнологий при освоении урановых месторождений актуальна и в настоящее время [1—11, 14, 15, 17, 18, 20—22].

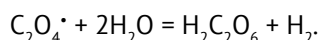
Одним из перспективных направлений совершенствования технологий подземного выщелачивания урана можно считать использование в основном процессе рабочих растворов, содержащих надугольные кислоты или перкарбонаты щелочных металлов, продуцирующие

при контакте с поверхностью рудных минералов окислители — гидратированные активные формы кислорода и комплексообразователь для урана — анионы угольной кислоты. При этом, в отличие от сернокислотных растворов, перкарбонатные не приводят к образованию сульфатов кальция и магния, обуславливающих при высоком карбонатном модуле (более 2,5% CO_2) коагустацию порового пространства и в то же время, в сравнении с содовыми растворами, имеют существенно большую реакционную способность по отношению к урановым минералам [10, 12, 13, 15, 22]. Перкарбонатные растворы, содержащие надуглекислотные соединения с функциональной группой COOH , могут быть получены при электролизе растворов гидрокарбоната или карбоната натрия и фотохимической обработке прианодной зоны реактора. При электролизе на аноде в виде мелких пузырьков выделяются углекислый газ и сопутствующий двухатомный кислород, которые при облучении ультрафиолетовым светом соответственно переходят в озон и активные радикальные и ионизированные соединения углерода и кислорода:

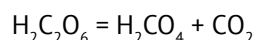


Эти соединения могут быть синтезированы и при использовании технологии взрывоинъекционной подготовки блока к выщелачиванию [10, 20]. Использование взрывоинъекций позволяет существенно улучшить качество дробления и обеспечить полноценную пропитку руды реагентами; соответственно, повысить извлечение ценных металлов на 20—30%, что доказано укрупненными экспериментами по выщелачиванию молибдена и золота из скальных руд штокверкового месторождения Гитче-Тырныауз.

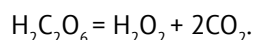
При гидратации при контакте с пленочной водой, окружающей газоподобные пузырьки с парами воды, находящимися внутри них, радикальные соединения продуцируют надугольную кислоту:



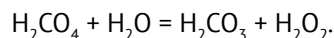
Далее надугольная кислота диспропорционирует с образованием мононадугольной кислоты и углекислого газа



или пероксида водорода и углекислого газа



Образующаяся мононадугольная кислота H_2CO_4 при контакте с минеральной частицей диспропорционирует с образованием пероксида водорода и угольной кислоты:



При этом перекись водорода выполняет роль окислителя, а угольная кислота при взаимодействии с оксидом урана — комплексообразователя, формирующего комплексное соединение $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$.

Диффузионные процессы обеспечивают проникновение активных реагентов во внутреннее пространство пор и трещин кусков руды и перемещение продуктов реакций между компонентами минеральной фазы и реагентами. Молекулярная и ионная диффузия реагента и отвод продуктов реакции происходят за счет разности концентраций как во внутривещном пространстве, так и на поверхности рудного куска. При этом основным барьером для проникновения катионов, и в том числе протонов к поверхности минерала, является ее положительно заряженный адсорбционный слой. Поэтому диффузионные процессы на границе раздела фаз интенсифицируются при использовании перкарбонатных растворов за счет наличия в них нейтральных, но реакционно-активных гидроксил-радикалов, при диссоциации которых образуются легко проникающие через адсорбционный слой пленочной воды супероксид-ионы кислорода и активные протоны. Соответственно обеспечивается возможность непосредственного взаимодействия этих частиц с атомами поверхностного слоя самого рудного минерала.

Экспериментальное подтверждение вышеприведенным теоретическим положениям было получено сотрудниками МГРИ при проведении серии опытов по перкарбонатному выщелачиванию урана из представительных проб руд гидрогенных месторождений Учкудук и Сугралы (Навоийский горно-металлургический комбинат).

Месторождение Учкудук представлено рудной минерализацией, основу которой составляют уранинит и настуран с незначительной долевой частью коффинита. В рудах месторождения Сугралы урановая минерализация в основном представлена существенно более сложнорастворимыми коффинитом и уранофаном. Содержание урана в технологической пробе руды месторождения Учкудук составило 0,7%, в пробе руды месторождения Сугралы содержание урана 0,4%. Для экспериментального выщелачивания из навесок эти пробы готовились в лабораторном электрофотохимическом реакторе. На стадии

электроактивационной обработки исходного гидрокарбонатного раствора содержание растворенного кислорода после электрохимической обработки пластовой воды Сугралинского месторождения увеличилось с 5 до 9 мг/л, что при последующей фотохимической обработке раствора позволяет генерировать в ней и перекись водорода. Таким образом, при использовании перкарбонатных растворов обеспечивается высокое извлечение урана и из такого сложнорастворимого минерала, как уранофан.

Эксперимент по перколяционному выщелачиванию урана пероксидно-карбонатными растворами, полученными путем электрофотохимической обработки исходного гидрокарбонатного раствора из двух параллельных навесок проб руды месторождения Сугралы со значительной долей в ней коффинита и уранофана, позволил достичь 87—88%-го извлечения в продуктивные растворы за три недели. При этом предварительное закисление навесок не проводилось. Расчеты

по данным анализов твердой фазы показали практически такой же результат (84,5% по первой навеске, 87,3% по второй). Суммарное Ж:Т составило 1,7:1. Подачу перкарбонатных растворов прекратили при падении содержания урана в продуктивном растворе до 50 мг/л. На пробе руды месторождения Учкудук извлечение урана по данной схеме составило более 90%.

Таким образом, перкарбонатные растворы потенциально могут быть использованы при разработке как гидрогенных, так и гидротермальных месторождений урановых руд, разрабатываемых как скважинным способом, так и другими методами физико-химической геотехнологии.

Технология перкарбонатного выщелачивания может с успехом использоваться как на действующих, так и на новых уранодобывающих предприятиях России при отработке как забалансовых, так и балансовых урановых руд, а также комплексных руд, содержащих кроме урана молибден и рений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюховецкий О.С., Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Повышение эффективности освоения месторождений поликомпонентных руд со сложноизвлекаемыми формами золота на основе использования их блочно-скважинного выщелачивания // Горный журнал. 2020. № 2. С. 66—69.
2. Голик В.И., Брюховецкий О.С., Габараев О.З. Технологии освоения месторождений урановых руд: Учебное пособие. М.: МГИУ, 2007. 132 с.
3. Крылова Л.Н. Эффективность применения озона для извлечения металлов из минерального сырья // Известия вузов. Цветная металлургия. 2022. № 28(2). С. 4—15. DOI: 10.17073/0021-3438-2022-2-4-15
4. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Рассказова А.В. Фотохимические и электрохимические процессы в геотехнологии. Чита: ЗабГУ, 2019. 306 с.
5. Секисов А.Г., Панов Ю.П., Брюховецкий О.С., Рассказова А.В. Перспективные геотехнологии освоения золотonosных россыпей Восточного Забайкалья // Eurasian Mining. 2022. № 2. С. 34—37.
6. Balikhin A.V. Uranium mineral-resources: the current state and perspectives for development. Review // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra. 2019. No. 1. P. 36—50. DOI: 10.31643/2019/6445.05
7. Brown S.H. Radiological aspects of in situ uranium recovery // ICM 2007: Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, Pts A and B. P. 1465—1477.
8. Langanay J., Romary T., Freulon X., Langlais V., Petit G., Lagneau V. Uncertainty quantification for uranium production in mining exploitation by In Situ Recovery // Computational Geosciences. 2021. Vol. 25. № 3. P. 831—850. DOI: 10.1007/s10596-02010018-x
9. Lasheen T. A., El-Ahmady M.E., Hassib H.B., Helal A.S. Oxidative leaching kinetics of molybdenum-uranium ore in H₂SO₄ using H₂O₂ as an oxidizing agent // Frontiers of Chemical Science and Engineering. 2013. Vol. 7. № 1. P. 95—102. DOI: 10.1007/s11705-0131317-6
10. Li C.G., Tan K.X., Liu Z.Z., Xia L.S., Tan W.Y., Chen L. Prediction model of uranium concentration for in situ leaching pregnant solution based on uranium chemical fractions of ores // 2018 Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. Vol. 318. № 2. P. 1379—1387. DOI: 10.1007/s10967-018-6190-9
11. Li Q.C., Zhou J. Research on character of solute transport in in-situ leaching of uranium in sandstone uranium deposit // International Conference on Design, Manufacturing and Mechatronics (ICDMM). 2016. P. 1086—1094.
12. Orrego P.P., Orrego J., Hernandez A. Reyes Uranium and molybdenum recovery from copper leaching solutions using, ion exchange // Hydrometallurgy. 2019. Vol. 184. P. 116—122. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.12.02
13. Oryngozhin E.S., Fedorov E.V., Alisheva Z.N., Mitishova N.A. In-situ leaching technology for uranium deposits // Eurasian Mining. 2021. No. 2. P. 31—35. DOI: 10.17580/em.2021.02.07
14. Pan H.B., Liao W.S., Wai C.M., Oyola Y., Janke C.J., Tian G.X., Rao L.F. Carbonate-H₂O₂ leaching for equestering uranium from seawater // Dalton Transactions. 2014. Vol. 43. № 28. pp. 10713—10718. DOI: 10.1039/c3dt53404a
15. Rakishev B., Mataev M., Kenzhetaev Z., Altaybayev B., Shampikova A. Research into leaching of uranium from core samples in tubes using surfactants // Mining of mineral deposits. 2020. Vol. 14. № 4. P. 97—104. DOI: 10.33271/mining14.04.097

16. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the malmyzh Cu–Au porphyry deposit // *Minerals*. 2021. Vol. 11. № 1. P. 1—11. DOI: 10.3390/min11010069
17. Titova S., Skripchenko S., Smirnov A., Rychkov V. Processing of Chloride-Containing Productive Solutions after Uranium in-situ Leaching by Ion Exchange Method // *Indonesian Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 19. № 1P. 231—238. DOI: 10.22146/ijc.34460
18. Umanskii A.B., Klyushnikov A.M. Development of NaNO_2 -O-2 system as an oxidant at uranium leaching processes // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2012. Vol. 293. № 1. P. 193—198.
19. Valiyev K.K., Bugubayeva A.U., Amandykova A.B., Bulaev A.G. Uranium and molybdenum leaching from the ore of “Vostok” deposit // *Proceedings of the Tula States University-Sciences of Earth*. 2019. Vol. 4. P. 92—99.
20. Wang W.G., Tan K.X., Xie E.J., Liu J., Cai G.L. Supercritical CO₂ fluid leaching of uranium from sandstone type ores // *Advances in Chemical, Material and Metallurgical Engineering*. 2013. Vol. 634—638. P. 3517—3521. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.3517
21. Xie H., Zhao J.W., Zhou H.W., Ren S.H., Zhang R.H. Secondary utilizations and perspectives of mined underground space // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2020. Vol. 96. No. 103129. DOI: 10.1016/j.tust.2019.103129
22. Zhou Y.P., Li G.R., Xu L.L., Liu J.H., Sun Z.X., Shi W.J. Uranium recovery from sandstone-type uranium deposit by acid in-situ leaching — an example from the Kujiertai // *Hydrometallurgy*. 2020. Vol. 191. № 105209. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.105209

REFERENCES

1. Bryukhovetsky O.S. Sekisov A.G., Lavrov A.Yu., Rasskazova A.V. Improving the efficiency of development of deposits of multicomponent ores with complex forms of gold based on the use of their block-well leaching // *Gorny Journal*. 2020. No. 2. P. 66—69 (In Russian).
2. Golik V.I., Bryukhovetsky O.S., Gabaraev O.Z. Technologies for the development of uranium ore deposits: Textbook. Moscow: MGIIU, 132 p. (In Russian).
3. Krylova L.N. Efficiency of ozone application for extraction of metals from mineral raw materials // *News of universities. Non-ferrous metallurgy*. 2022. Vol. 28. No. 2. P. 4—15. (In Russian). DOI: 10.17073/0021-3438-2022-4-15
4. Sekisov A.G., Lavrov A.Yu., Rasskazova A.V. Photochemical and electrochemical processes in geotechnology. Chita: ZabGU. 2019. 306 p. (In Russian).
5. Sekisov A.G., Panov Yu.P., Bryukhovetsky O.S., Rasskazova A.V. Promising geotechnologies for the development of gold-bearing placers of Eastern Transbaikalia // *Eurasian Mining*. 2022. No. 2. P. 34—37 (In Russian).
6. Balikhin A.V. Uranium mineral-resources: the current state and perspectives for development. Review // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra*. 2019. No. 1. P. 36—50. DOI: 10.31643/2019/6445.05
7. Brown S.H. Radiological aspects of in situ uranium recovery // *ICEM 2007: Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management*, Pts A and B. P. 1465—1477.
8. Langanay J., Romary T., Freulon X., Langlais V., Petit G., Lagneau V. Uncertainty quantification for uranium production in mining exploitation by In Situ Recovery // *Computational Geosciences*. 2021. Vol. 25. No. 3. P. 831—850. DOI: 10.1007/s10596-02010018-x
9. Lasheen T.A., El-Ahmady M.E., Hassib H.B., Helal A.S. Oxidative leaching kinetics of molybdenum-uranium ore in H_2SO_4 using H_2O_2 as an oxidizing agent // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 2013. Vol. 7. No. 1. P. 95—102. DOI: 10.1007/s11705-0131317-6
10. Li C.G., Tan K.X., Liu Z.Z., Xia L.S., Tan W.Y., Chen L. Prediction model of uranium concentration for in-situ leaching pregnant solution based on uranium chemical fractions of ores // *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*. 2018. Vol. 318. No. 2. P. 1379—1387. DOI: 10.1007/s10967-018-6190-9
11. Li Q.C., Zhou J. Research on character of solute transport in in-situ leaching of uranium in sandstone uranium deposit // *International Conference on Design, Manufacturing and Mechatronics (ICDMM)*. 2016. P. 1086—1094.
12. Orrego P.P., Orrego J., Hernandez A. Reyes Uranium and molybdenum recovery from copper leaching solutions using, ion exchange // *Hydrometallurgy*. 2019. Vol. 184. P. 116—122. DOI: 10.1016/j.hydromet.2018.12.02
13. Oryngozhin E.S., Fedorov E.V., Alisheva Z.N., Mitishova N.A. In-situ leaching technology for uranium deposits // *Eurasian Mining*. 2021. No. 2. P. 31—35. DOI: 10.17580/em.2021.02.07
14. Pan H.B., Liao W.S., Wai C.M., Oyola Y., Janke C.J., Tian G.X., Rao L.F. Carbonate-H₂O₂ leaching for sequestering uranium from seawater // *Dalton Transactions*. 2014. Vol. 43. No. 28. P. 10713—10718. DOI: 10.1039/c3dt53404a
15. Rakishev B., Mataev M., Kenzhetaev Z., Altaybayev B., Shampikova A. Research into leaching of uranium from core samples in tubes using surfactants // *Mining of mineral deposits*. 2020. Vol. 14. No. 4. P. 97—104. DOI: 10.33271/mining14.04.097
16. Sekisov A., Rasskazova A. Assessment of the possibility of hydrometallurgical processing of low-grade ores in the oxidation zone of the malmyzh Cu–Au porphyry deposit // *Minerals*. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 1—11. <https://doi.org/10.3390/min11010069>
17. Titova S., Skripchenko S., Smirnov A., Rychkov V. Processing of Chloride-Containing Productive Solutions after Uranium in-situ Leaching by Ion Exchange Method // *Indonesian Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 231—238. DOI: 10.22146/ijc.34460

18. Umanskii A.B., Klyushnikov A.M. Development of NaNO_2 -O-2 system as an oxidant at uranium leaching processes // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2012. Vol. 293. No. 1. P. 193—198.
19. Valiyev K.K., Bugubayeva A.U., Amandykova A.B., Bulaev A.G. Uranium and molybdenum leaching from the ore of "Vostok" deposit // Proceedings of the Tula States University-Sciences of Earth. 2019. Vol. 4. P. 92—99.
20. Wang W.G., Tan K.X., Xie E.J., Liu J., Cai G.L. Supercritical CO_2 fluid leaching of uranium from sandstone type ores // Advances in Chemical, Material and Metallurgical Engineering. 2013. Vol. 634—638. pp. 3517—3521. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.3517
21. Xie H., Zhao J.W., Zhou H.W., Ren S.H., Zhang R.X. Secondary utilizations and perspectives of mined underground space // Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. Vol. 96. No. 103129. DOI: 10.1016/j.tust.2019.103129
22. Zhou Y.P., Li G.R., Xu L.L., Liu J.H., Sun Z.X., Shi W.J. Uranium recovery from sandstone-type uranium deposit by acid in-situ leaching — an example from the Kujieertai // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 191. No. 105209. DOI: 10.1016/j.hydromet.2019.105209

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

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

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

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Панов Юрий Петрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности ректора ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2002

e-mail: rektor@mgri.ru

SPIN-код: 9249-9725

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Yuri P. Panov — Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Acting Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2002)

e-mail: rektor@mgri.ru

SPIN-code: 9249-9725

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Брюховецкий Олег Степанович* — доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 21-19

e-mail: bryhovetskyos@mgri.ru

SPIN-код: 8619-2065

Oleg S. Bryukhovetsky * — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (495) 255-15-10, ext. 21-19

e-mail: bryhovetskyos@mgri.ru

SPIN-code: 8619-2065

Секисов Артур Геннадьевич — доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет».

30, ул. Александрo-Заводская, г. Чита 672039, Россия

e-mail: sekisovag@mail.ru

SPIN-код: 3191-8779

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5780-6150>

Artur G. Sekisov — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Zabaykalsky State University.

30, Alexandro-Zavodskaya str., Chita 672039, Russia

e-mail: sekisovag@mail.ru

SPIN-code: 3191-8779

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5780-6150>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-15-27>

УДК 553.3/.4: 551.7.03



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНЕ ФЬЮКШОН, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ

Т. ЧАН ВАН^{1,2,*}, П.А. ИГНАТОВ¹, Т. МАЙ ЧОНГ²¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия² Главное управление геологии и полезных ископаемых Вьетнама
б, Фам Нгу Лао ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

АННОТАЦИЯ

Введение. Раскрыты закономерности локализации золотой минерализации района Фьюкшон Центрального Вьетнама, локализованной в протерозойско-кембрийском метаморфическом комплексе в зоне гранитного блока Бенжанг — Куешон позднепалеозойского возраста.

Цель. Установление закономерностей локализации золотой минерализации в районе Фьюкшон, Центральный Вьетнам.

Материалы и методы. Использованы геологические материалы, результаты документации горных выработок и керн оценочных скважин, изучения вещественного состава руд по 15 прозачным шлифам и 18 аншлифам, 127 атомно-абсорбционным анализам.

Результаты. В пределах золотого рудного поля Фьюкшон в Центральном Вьетнаме детально изучен участок рудников Байдат и Байго, расположенный в зоне окончания взбросо-сдвига. Золоторудные тела представлены субпараллельными сланцеватости кварц-сульфидными жилами. Рудовмещающими являются послойные зоны тектонических нарушений, которые образовались на участке окончания взбросо-сдвига и осложняли западные крылья и замки антиклиналей. Они формировались в режиме региональных субширотных горизонтальных напряжений. Большое значение в рудоконтроле имеют горизонты углеродистых кварц-серицитовых сланцев. Имеют место крутопадающие пострудные разломы, смещающие рудные тела. Выделяются две стадии золотой минерализации. Ранняя характеризуется широким развитием сфалерита и меньшим количеством золота. В позднюю стадию происходило основное осаждение золота и формировался галенит. Судя по геохронологическим данным по изотопии аргона в биотите, золотая минерализация на Байдате и Байго, вероятно, формировалась в триасе (250—200 млн лет назад), на стадии затухания регионального метаморфизма индосинского орогенеза.

Заключение. Полученные результаты следует использовать при локальном прогнозе золоторудных месторождений в Центральном Вьетнаме.

Ключевые слова: золото, Центральный Вьетнам, рудопроявление, графитистые сланцы, разлом, тектоническая брекчия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Чан Ван Т., Игнатов П.А., Май Чонг Т. Закономерности локализации золотой минерализации в районе Фьюкшон, Центральный Вьетнам. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):15—27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-15-27>

Статья поступила в редакцию 23.12.2022

Принята к публикации 14.03.2023

Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

LOCALIZATION PATTERNS OF GOLD MINERALIZATION IN THE PHUOC SON AREA, CENTRAL VIETNAM

TIEN TRAN VAN^{1,2,*}, PETR A. IGNATOV¹, TU MAI TRONG²

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

² General Administration of Geology and Mineral Resources of Vietnam
6, Pham Ngu Lao str., Ha Noi 100000, Viet Nam

ABSTRACT

Background. In this paper, the authors aim to reveal the localization patterns of gold mineralization in the Phuoc Son region of Central Vietnam, which formed a Proterozoic-Cambrian metamorphic complex in the zone of the Late Paleozoic Benzhang–Queshon granite block.

Aim. To determine the localization patterns of gold mineralization in the Phuoc Son area, Central Vietnam.

Materials and methods. The research was based on geological materials, as well as mine working and appraisal well data. The material composition of the materials was studied using 15 transparent sections and 18 polished sections. In total, 127 samples were subjected to atomic absorption spectroscopy.

Results. Within the Phuoc Son gold ore field in Central Vietnam, the site of the Baidat and Baigo mines located in the zone of reverse-shear termination was investigated. Here, the gold ore bodies are represented by quartz-sulfide veins subparallel to schistosity. The ore-bearing zones are layered zones of tectonic faults, which formed at the end of the reverse-shear period and complicated the western limbs and locks of the anticlines. These zones were formed under regional sublatitudinal horizontal stresses. The horizons of carbonaceous quartz-sericite schists are of great importance in ore control. There are steeply dipping post-ore faults that displace ore bodies. Two gold mineralization stages can be distinguished. The early stage was characterized by a wide development of sphalerite and a smaller amount of gold. The later stage was associated with the main precipitation of gold and formation of galena. According to the geochronological data on the argon isotopy in biotite, the gold mineralization at Baidat and Baigo was probably formed in the Triassic (250–200 Ma ago), at the stage of extinction of the regional metamorphism of the Indosinian orogeny.

Conclusion. The results obtained should be used when conducting local forecasting of gold deposits in Central Vietnam.

Keywords: gold, Central Vietnam, ore occurrence, graphitic shales, fault, tectonic breccia

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

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

For citation: Tran Van T., Ignatov P.A., Mai Trong T. Localization patterns of gold mineralization in the Phuoc Son area, Central Vietnam. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):15–27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-15-27>

Manuscript received 23 December 2022

Accepted 14 March 2023

Published 31 March 2023

* Corresponding author

В Центральном Вьетнаме известно большое число золоторудных месторождений и имеется значительный потенциал открытия новых объектов [1–3, 4]. Типичными представителями этого региона являются месторождения рудного поля Фьюкшон

провинции Куангнам, характеристике которых посвящена данная статья.

Золото-сульфидная минерализация в этом рудном поле открыта в результате геохимической съемки 1996 г. (аномалия Дакса). Рудники в Фьюкшон

начали функционировать с 1998 г. Разведкой занималась «Новая горнодобывающая компания Вьетнама» (NVMC). Установлено, что жильные рудные тела сложены сульфидно-кварцевыми Au-Ag-Pb-Zn рудами, формировавшимися из средне-низкотемпературных гидротерм [8]. К 2005 г. подсчитаны запасы 616 254 т руд со средним содержанием золота 9,73 г/т и 1 440 733 т ресурсы руд золота [4]. В связи с очевидным промышленным значением этого рудного поля и перспективами новых открытий важно показать геологические условия локализации золотой минерализации.

Фактический материал и методы исследований

Для изучения закономерностей локализации золотого оруденения использованы: геологические карты масштабов 1:200 000; 1:50 000 и 1:10 000 [1, 2, 4]; результаты оценочного бурения в объеме 27 280 пог. м 94 наклонных скважин глубиной от 90 до 491 м. Помимо керн и обнажений в горных выработках, вещественный состав руд изучен по 15 прозрачным шлифам и 18 аншлифам. Распределение полезных компонентов определено по 127 атомно-абсорбционным анализам, пробы отбирали из кварцевых жил из керна в 2017—2018 гг., они обработаны и проанализированы во Вьетнамском Центре геологического и экспериментального анализа. Для определения возраста руд использованы данные масс-спектрометрии Ar-Ar методом по биотиту, отобранному их керна золоторудных кварцевых жил. Анализы $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ выполнены во Вьетнамском Центре геологического и экспериментального анализа, г. Ханой, аналитик Н.В. Нам. Эксперимент проводился на многоколлекторном масс-спектрометре «Thermo Fisher Scientific ARGUSVI», соединенном с линией извлечения/очистки газа из нержавеющей стали и лазерной системой «Photon Machines Fusion 10.6 CO₂». Масс-спектрометр ARGUSVI имеет радиус 13 см, расширенную геометрию на 90°, статический вакуум, магнитный сектор, в котором размещен источник типа Нира и фиксированная матрица из пяти фарадеев (с малошумящими резисторами $1 \times 10^{12} \Omega$) и один компактный дискретный диод (CDD). Детекторы с высокой (H) и низкой (L) массой обозначаются как H2, H1, AX, L1, L2 и CDD (AX = аксиальный). Масс-спектрометр ARGUSVI имеет объем 700 см³ и номинальное разрешение по массе 200. Чувствительность для аргона составляет $3,55 \times 10^{-17}$ моль/фА (1×10^{-3} А/Торр) при токе ловушки 200 мкА, как определено по измеренным аликвотам биотита GA1550 [9].

Основные черты геологического строения рудного поля и месторождения

Месторождение Фьюкшон расположено примерно в 6 км к северо-западу от города Хам Дык в Центральном Вьетнаме. Одноименное рудное поле занимает 60 км² (12×5 км), где отрабатываются два жильных рудных объекта: Байдат и Байго (рис. 1).

Центральная часть рудного поля сложена главным образом слюдистыми и углеродистыми сланцами, филлитами, мраморами и амфиболитами, которые смяты в сложные складки [8]. Сланцевые и филлитовые пачки слагают обширные выходы на поверхности по всей площади, мраморы и амфиболиты встречаются редко, что подтверждено бурением. Также незначительно распространены дайки, штоки и силлы разного состава, от ультраосновных до кислых разностей, и связанные с ними роговики. Эти интрузивные тела преимущественно слепые и встречены в скважинах.

В пределах рассматриваемого рудного поля закартирована сложная крупная антиклинальная структура, погружающаяся к северо-северо-востоку [7]. Установлено, что пластичные сланцы относительно больше деформированы, чем менее компетентные амфиболиты, габбро и гнейсы [7].

На западе площади расположены позднепалеозойские граниты, на востоке — протерозой-нижнекембрийские гнейсы. Небольшие тела гранитов встречаются и на участке золоторудных объектов, где они пересекаются дайками основных пород. Результаты петрографического анализа гранитов показывают, что они метаморфизованы в зеленосланцевой фации. Изотопный возраст циркона из них по U-Pb методу оказался 260 млн лет [6]. Распространение гнейсов комплекса Хам Дык ограничено меридиональным разломом По Ко. Комплекс представлен гранито-гнейсами, гранат-роговообманково-биотитовыми гнейсами и плагиогнейсами [10]. Считается, что породы образовались в результате двух орогенных событий, одно из которых произошло от ордовика до силура, второе — от средней перми до раннего триаса [6]. Сиениты выявлены на северо-востоке рудного поля Фьюкшон. Они редко выходят на поверхность. Породы изменены, поскольку вкрапленники и основная масса частично или полностью замещены хлоритом.

В пределах Фьюкшон закартированы фрагменты региональных разломов северо-западного и меридионального простирания с падением от западного до субвертикального Конг Плонг, По Ко, Хе Рин и К7. Разлом По Ко прослежен

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

по меридиану более чем на 100 км [10]. Он ограничивает блок глубоко метаморфических пород и считается правым взбросо-сдвигом с амплитудой латерального смещения более 30 км [5, 7].

Золоторудные тела Байдат и Байго локализованы на юго-востоке рудного поля Фьюкшон, где

сосредоточены штоки и силлы габбро. Породы серпентинизированы с незначительным содержанием талька и карбонатных минералов. Кварцево-золоторудные жилы приурочены к горизонтам углеродистых сланцев, включающих линзы мраморов (рис. 2).

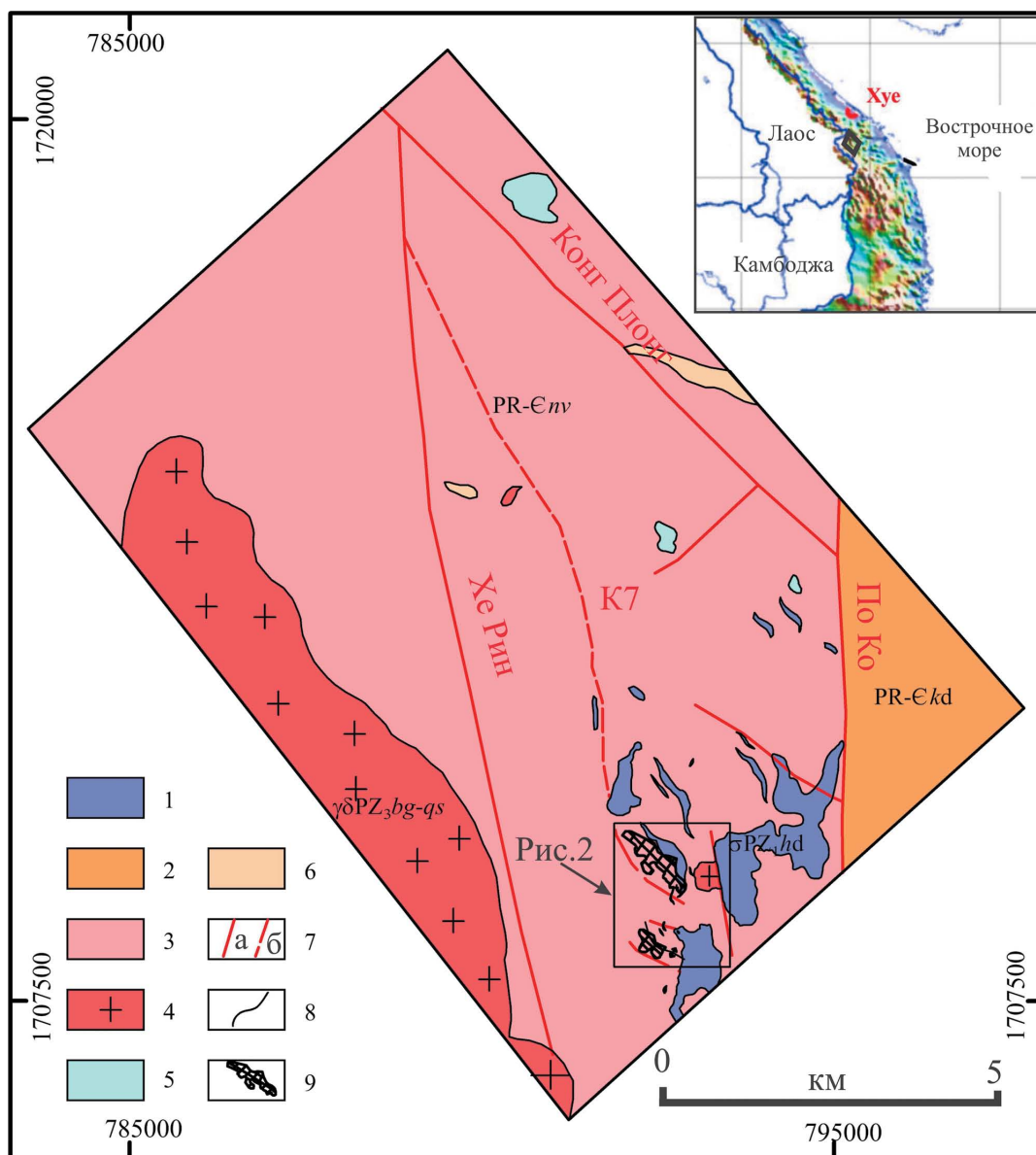


Рис. 1. Геологическая карта рудного поля Фьюкшон [5, 7]. 1 — метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиепдык (σPZ_1hd); 2 — гнейсы протерозой-нижнекембрийского комплекса Хам Дык (PR-Ekd); 3 — сланцы, филлиты, мраморы и роговики протерозойско-кембрийской толщи Нуйву (PR-Env); 4 — позднепалеозойские граниты Бенжанг — Куешон (PZ₃bg-qs); 5 — андезиты; 6 — сиениты; 7 — разломы (а) — главные; (б) — второстепенные; 8 — геологические границы; 9 — проекции золоторудных жильных залежей

Fig. 1. Geological map of the Phuoc Son ore field [5, 7]. 1 — metagabbro of the Lower Paleozoic Hiep Duc Complex (σPZ_1hd); 2 — gneisses of the Proterozoic-Lower Cambrian complex Kham Duc (PR-Ekd); 3 — shales, phyllites, marbles, and hornfels of the Proterozoic — Cambrian Nuivuu (PR-Env); 4 — Late Paleozoic Ben Giang — Que Son granites (PZ₃bg-qs); 5 — andesites; 6 — syenites; 7 — faults (a) — main; (b) — secondary; 8 — geological borders; 9 — projections of gold vein deposits

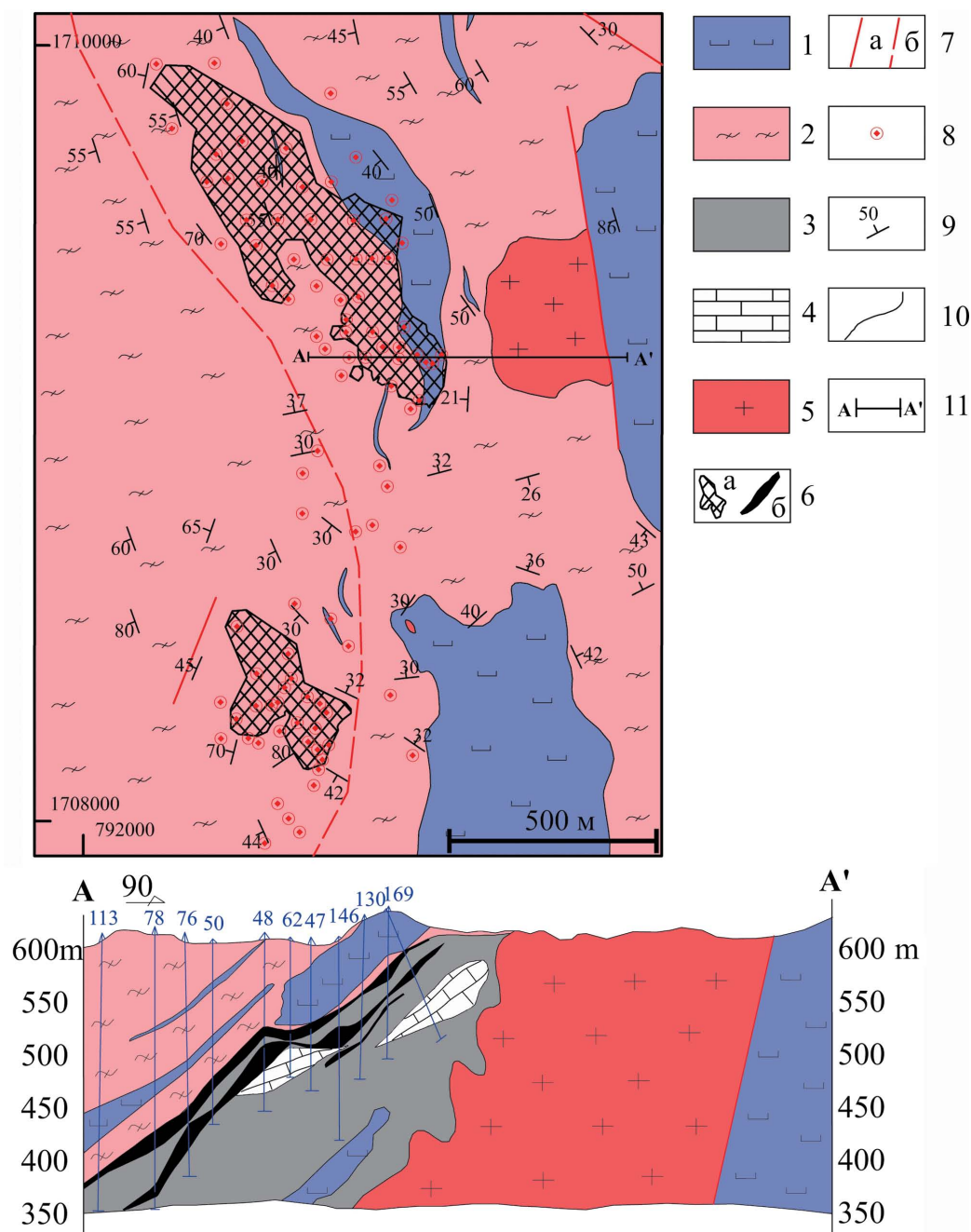


Рис. 2. Геологическая карта района Фьюкшон с рудными зонами Байго на севере и Байдат на юге и схематический разрез по линии А-А' [5, 7]. 1 — метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиендзык; 2—4 — метаморфизованные вулканогенно-осадочные протерозойско-кембрийские породы толщи Нуйву (PR-Env): 2 — сланцы и филлиты; 3 — графитистые сланцы; 4 — мраморы; 5 — позднепалеозойские граниты Бен-жанг — Куешон; 6 — проекции в плане (а) и сами золоторудные сульфидно-кварцевые жилы (б); 7 — разломы главные (а) и второстепенные (б); 8 — устья скважин; 9 — элементы залегания; 10 — геологические границы; 11 — линия разреза

Fig. 2. Geological map of the Phuoc Son region with the Bai Go ore zones in the north and Bai Dat in the south and a schematic section along the A-A' line [5, 7]. 1 — metagabbro of the Lower Paleozoic Hiep Duc complex; 2—4 — metamorphosed volcanic-sedimentary Proterozoic-Cambrian rocks of the Nui Vu sequence (PR-Env): 2 — shales and phyllites; 3 — graphite shales; 4 — marbles; 5 — Late Paleozoic Ben Giang — Que Son granites; 6 — plan projections (a) and the gold ore sulfide-quartz veins themselves (b); 7 — main (a) and secondary (b) faults; 8 — wellheads; 9 — occurrence elements; 10 — geological boundaries; 11 — cut line

Отмечаются раздувы жил в осевых частях мелких складок, осложняющих моноκиналь. На одном из профилей на участке Байдат установлена типичная седловидная рудная жила (рис. 3).

Слюдистые и графитистые сланцы представляют собой тонкие, обычно 0,5 мм плитки кварц-мусковит-графитового состава со смещенной горизонтальной тонкополосчатой и линзовидной текстурой. Графитистые сланцы часто чередуются с другими сланцами. Минеральная ассоциация кварца, биотита, мусковита и серицита широко представлена вдоль сланцеватости. Также присутствуют пирит и следы магнетита, ильменита и пирротина. Такие породы встречены только на участке рудных жил Байдат и Байго.

Мраморы слагают линзы мощностью от первых до нескольких десятков метров. Встречаются мраморы с пльчатой текстурой, что отражает вязко-пластические послойные деформации.

Интервал роговиков с вкрапленниками гранатов в несколько метров мощности вскрыт скважинами на участке Байго, где имеется шток гранитов.

Типичные разрезы по объектам Байго и Байдат с локализацией серебро-золотой полиметаллической минерализации в углеродистых сланцах приведены на рисунке 4.

Участок золоторудных жил контролируется зоной окончания на юг разлома К7, что указывает на важную роль тектонических нарушений в образовании месторождений [4]. Эта часть разлома К7 представлена серией пологих взбросов со сдвиговой компонентой, протяженностью 4 км, падающих в северо-западном направлении [7]. Латеральное сжатие на участке выклинивания

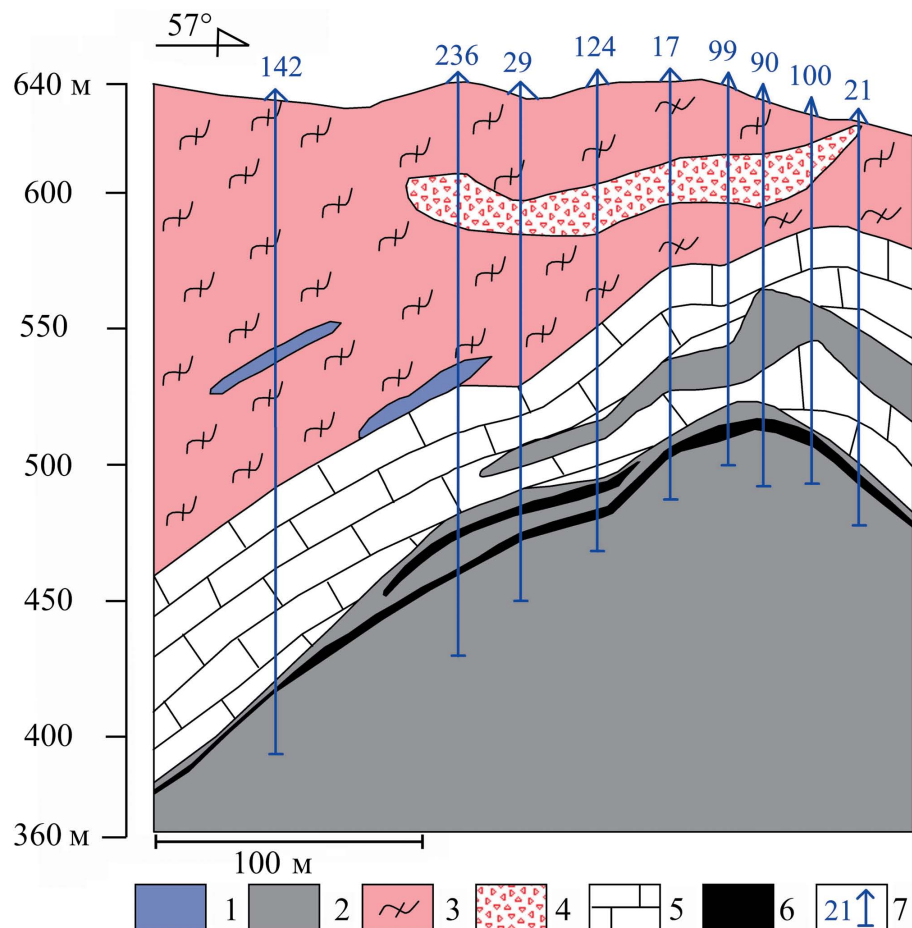


Рис. 3. Седловидная жила рудника Байдат. 1 — метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиепдык; 2—4 — протерозойско-кембрийские породы толщи Нуьву: 2 — графитистые сланцы; 3 — сланцы и филлиты; 4 — выветрелые кварцевые зоны; 5 — мраморы; 6 — золоторудные сульфидно-кварцевые жилы; 7 — скважина и номер

Fig. 3. Saddle vein of Baidat mine. 1 — metagabbro of the Lower Paleozoic Khipdyk Complex; 2—4, Proterozoic–Cambrian rocks of the Nuivu sequence: 2 — graphitic schists; 3 — shales and phyllites; 4 — weathered quartz zones; 5 — marbles; 6 — gold ore sulfide-quartz veins; 7 — well and number

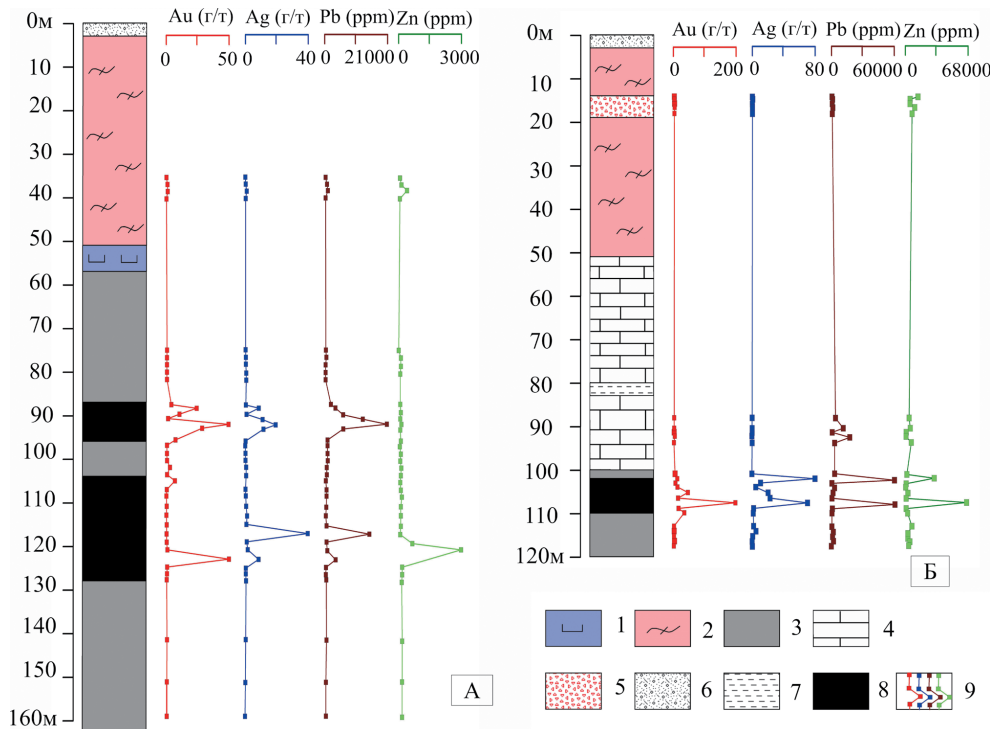


Рис. 4. Фрагменты схематических колонок с диаграммами содержаний Au, Ag, Pb и Zn. А — скважина 048 из Байго; Б — 013 из Байдат. 1 — метагаббро нижнепалеозойского комплекса Хиепдык; 2—4 — протерозойско-кембрийские породы толщи Нуйву: 2 — сланцы и филлиты; 3 — графитистые сланцы; 4 — мраморы; 5 — выветрелые кварцевые зоны; 6 — выветренные сланцы; 7 — зеленые сланцы; 8 — золоторудные сульфидно-кварцевые жилы; 9 — содержания золота, серебра, свинца и цинка

Fig. 4. Fragments of schematic columns with diagrams of Au, Ag, Pb, and Zn contents. A — well 048 from Bai Go; B — 013 from Bai Dat. 1 — metagabbro of the Lower Paleozoic Hiep Duc complex; 2—4 — Proterozoic-Cambrian rocks of the Nui Vu sequence: 2 — shales and phyllites; 3 — graphite shales; 4 — marbles; 5 — weathered quartz zones; 6 — weathered shales; 7 — green shales; 8 — gold ore sulfide-quartz veins; 9 — content of gold, silver, lead and zinc

взбросо-сдвига реализовано серией рудовмещающих послойных тектонических нарушений. Они субсогласно нарушают западное крыло антиклинальной складки с углами падения на северо-запад 30—60°.

На месторождениях имеют место пострудные сдвиги с вертикальным падением, которые смещают кварц-сульфидные рудные жилы и вмещающие их углеродистые сланцы. Они или «сухие», или выполнены кварц-карбонатными агрегатами.

Форма рудных тел, их связь со взбросо-сдвигами, замками и крыльями антиклиналей, складками высокого порядка, послойными нарушениями в горизонтах углеродистых сланцев весьма похожи на кварцево-золоторудные жилы гигантского месторождения Бендиго в Австралии [11]. Это позволяет надеяться на открытие в рудном районе не только слепых многоярусных субсогласных со сланцевой толщей, но и секущих рудных залежей.

Пересечение золоторудными кварц-сульфидными жилами метаморфической сланцеватости

вмещающих пород, присутствие в жилах обломков сланцев (рис. 5Б) позволяют считать, что зелено-сланцевый метаморфизм вмещающих пород был до золоторудной минерализации.

Помимо жильных выполнений, золото-сульфидная минерализация встречается в цементе тектонических брекчий в мраморах и частично в гнездах и вкраплениях в ассоциирующих с ними кристаллических сланцах.

Изучение стенок горных выработок, керн, каротажа, результатов опробования и аналитики показали, что золотоносная минерализация связана с сульфидами, слагающими кварцевые жилы, прожилки, гнезда и цемент тектонических брекчий. В составе руд установлен пирит, галенит, халькопирит, пирротин, молибденит, магнетит, графит. Они находятся в сростании с кварцем, серицитом, хлоритом и эпидотом (рис. 6).

Руды имеют брекчиевую, прожилковую и вкрапленную текстуры. Среднее содержание сульфидов составляет 3—62% в Байдат и 3—15% в Байго.

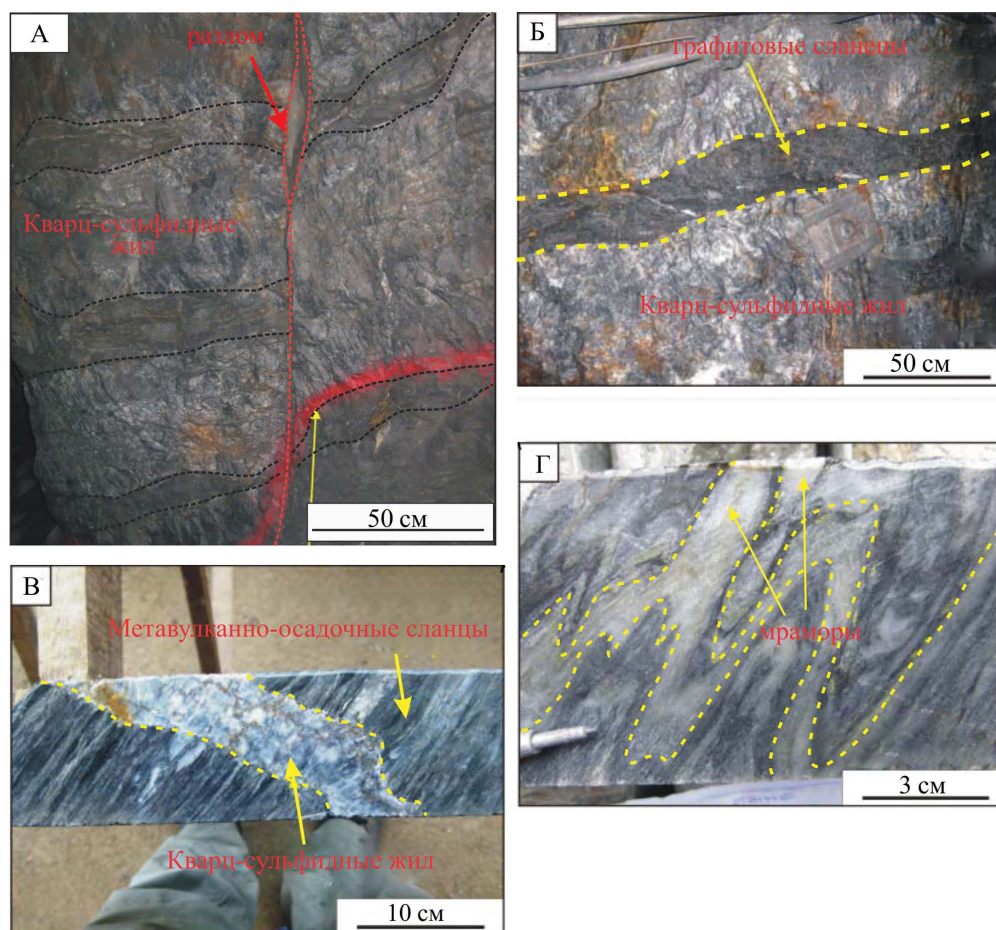


Рис. 5. Примеры соотношения минеральных ассоциаций рудных жил и вмещающих пород, установленных на участке подземной разработки Байдат: А — пострудный разлом, пересекающий и смещающий массивную кварц-сульфидную жилу. Б — крупный обломок углеродистого сланца, вовлеченный в массивную кварц-сульфидную жилу. В — кварц-сульфидная жила, пересекающая углеродистые сланцы, с мелкими обломками углеродистых сланцев. Г — мрамор плейчатой текстуры

Fig. 5. Examples of the ratio of mineral associations of ore veins and host rocks established at the Baydat underground mining site: А — post-ore fault crossing and displacing a massive quartz-sulfide vein. Б — a large fragment of carbonaceous shale involved in a massive quartz-sulfide vein. В — in a quartz-sulfide vein crossing carbonaceous shales with small fragments of carbonaceous shales. Г — marble of slab texture

На месторождениях Фьюкшон выделяют две стадии золотой минерализации: раннюю менее продуктивную с выделениями сфалерита и позднюю основную рудную с галенитом. Они характеризуются более или менее сходными минеральными ассоциациями и обычно встречаются в кварц-сульфидных агрегатах, наложенных на регионально метаморфизованные породы, и смещены пострудными нарушениями [4, 6]. По результатам анализа включений в кварце установлено, что рудные минералы образуются в контрастном диапазоне температур от 300 до 230 °С и от 245 до 185 °С [4]. По 21 пробе золота из Фьюкшон выполнен микрозондовый анализ. Значения $Au/(Au + Ag)$ колеблются в пределах от 73,95

до 93%, в среднем 84,52%, пробность золота составляет от 657 до 988 [4, 6].

Возраст минерализации установлен по изотопии Ar-Ar в биотите. Пробы отобраны из кварцевых жил из скважин LK 267 и LK 270 (табл.).

Поскольку в обеих выборках были получены несогласующиеся возрастные спектры, возраст интерпретировался на основе суммарного возраста газа. Модельный возраст составил $211,6 \pm 0,1$ и $203,9 \pm 0,1$ млн лет, что соответствует поздне-триасовой эпохе.

Золотоносные кварц-сульфидные жилы Байдат и Байго залегают субсогласно со сланцеватостью вмещающих пород, что указывает на послонный тип рудовмещающих разломов. Это корре-

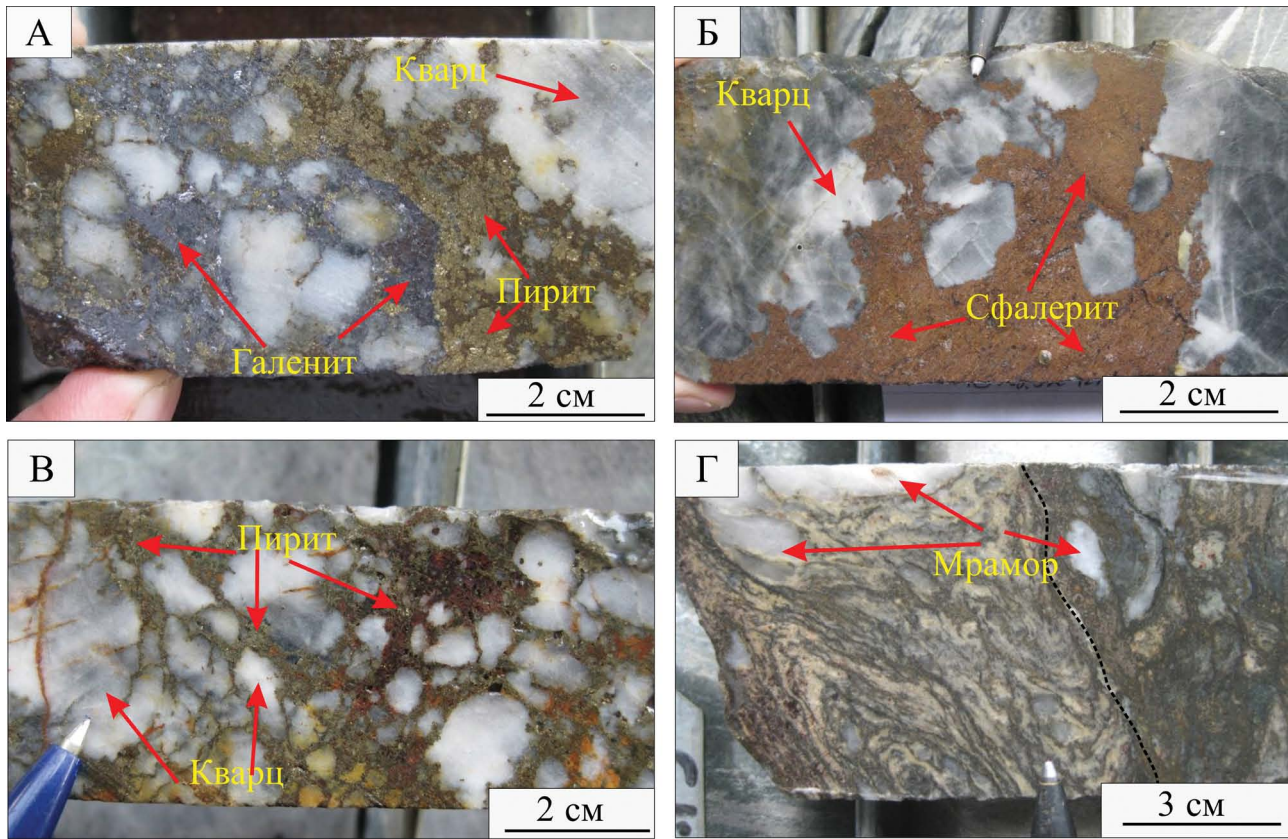


Рис. 6. Текстуры золото-сульфидных руд. А—В брекчиевые и прожилковые текстуры золото-сульфидных руд. Г — вкрапленные выделения сульфидов в мраморе

Fig. 6. Textures of gold-sulfide ores. А—В breccia and vein textures of gold-sulfide ores. Г — disseminated sulfide deposits in marble

спондируется с взбросо-надвиговым механизмом формирования разломов на участке рудных жил в условиях горизонтального по широте тектонического стресса. Предположение о правсдвиговой компоненте взброса хорошо объясняет северо-западное простирание золоторудных тел, которые могли формироваться в зонах локально-растяжения.

Основное рудное тело Байдат «BDMQ» расположено в сложной кварц-сульфидной жиле, локализованной в верхней части графитистых сланцев, расположенной от границы мраморов и актинолит-альбитовых и кварц-слюдистых сланцев от 0 до 20 м. Рудное тело, вскрытое в 64 скважинах, расположено в юго-западном крыле складки Байдат (СЗ-ЮВ). Оно имеет размеры 440×300 м, прослежено с северо-востока на юго-запад, ширина проекции изменяется от 120 до 300 м, средний угол наклона 31° на северо-запад. Мощность рудного тела колеблется от 0,11 м до 8,37 м, в среднем 2,37 м, коэффициент вариации мощности 77,8 %.

Минеральный состав руд включает пирит, пирротин, галенит и золото. Общее содержание сульфидов в рудном теле колеблется от 3 до 60%, из них пирита до 2%, пирротина до 1,5%, галенита до 12% и сфалерита до 50%. Содержание золота в рудном теле варьирует от 0,39 до 60,57 г/т, в среднем 14,88 г/т, коэффициент вариации 96,27%. Содержание других элементов (Ag, Pb и Zn) в рудном теле сильно изменчиво, а именно: содержание серебра составляет от 0,15 до 239,0 г/т, в среднем 24,63 г/т; свинца от 12 до 140 680 ppm — в среднем 155 962 ppm; цинка от 15 до 118 716 ppm, в среднем 17 058 ppm.

Основное рудное тело Байго «BGUQ1» вскрыто 26 скважинами со средним углом наклона 34°. Его мощность варьирует от 0,53 до 8,75 м, в среднем 2,04 м, коэффициент вариации мощности 89,17%. Жильная масса состоит в основном из кварца с небольшим объемом слюдяных сланцев, представляющих собой агрегат серицита, биотит и хлорита. Руды представлены в основном пирротин, пиритом, сфалеритом и галенитом

Таблица. Результаты масс-спектральных анализов биотита из рудных образований
Table. Results of mass spectral analyses of biotite from ore formations

№ ступени	$\Sigma {}^{39}\text{Ar}, \%$	${}^{40}\text{Ar} (\times 10^{-13} \text{ моль})$	${}^{39}\text{Ar} (\times 10^{-14} \text{ моль})$	Ca/K	% ${}^{40}\text{Ar}^*$	${}^{40}\text{Ar}^*/{}^{39}\text{Ar}$	Возраст
Образец LK267, биотит, J = 0,024691 $\pm$ 0,000004							
1	5,3	0,83731 $\pm$ 0,00025	1,6635 $\pm$ 0,0063	0,3474 $\pm$ 0,0002	94,1	4,7357 $\pm$ 0,0027	199,5 $\pm$ 0,11
2	10,6	0,83787 $\pm$ 0,00029	1,67773 $\pm$ 0,00065	0,0639 $\pm$ 0,0002	97,8	4,8833 $\pm$ 0,0027	205,37 $\pm$ 0,11
3	15,6	0,78984 $\pm$ 0,00027	1,56947 $\pm$ 0,00063	0,0314 $\pm$ 0,0003	98,5	4,9566 $\pm$ 0,0027	208,28 $\pm$ 0,11
4	20,5	0,7764 $\pm$ 0,00025	1,53818 $\pm$ 0,00054	0,0157 $\pm$ 0,0003	98,6	4,9798 $\pm$ 0,0024	209,21 $\pm$ 0,1
5	23,1	0,40216 $\pm$ 0,00014	0,80353 $\pm$ 0,00036	0,012 $\pm$ 0,0005	99	4,9576 $\pm$ 0,0029	208,33 $\pm$ 0,11
6	26	0,45463 $\pm$ 0,00015	0,91703 $\pm$ 0,00033	0,0073 $\pm$ 0,0007	99,1	4,9114 $\pm$ 0,0025	206,49 $\pm$ 0,1
7	29,1	0,48789 $\pm$ 0,00017	0,96415 $\pm$ 0,00043	0,0061 $\pm$ 0,0005	99	5,0118 $\pm$ 0,0029	210,48 $\pm$ 0,11
8	33,5	0,71738 $\pm$ 0,00022	1,40123 $\pm$ 0,00048	0,0046 $\pm$ 0,0003	98,9	5,0628 $\pm$ 0,0024	212,5 $\pm$ 0,09
9	37,2	0,57555 $\pm$ 0,0002	1,15269 $\pm$ 0,0004	0,0036 $\pm$ 0,0005	99,2	4,9543 $\pm$ 0,0025	208,2 $\pm$ 0,1
10	43,5	1,00493 $\pm$ 0,00033	1,9912 $\pm$ 0,00076	0,0025 $\pm$ 0,0003	99,1	5,0043 $\pm$ 0,0025	210,18 $\pm$ 0,1
11	51,1	1,19051 $\pm$ 0,00043	2,36569 $\pm$ 0,00085	0,0018 $\pm$ 0,0002	99,2	4,9905 $\pm$ 0,0026	209,63 $\pm$ 0,1
12	57,3	0,96007 $\pm$ 0,00035	1,94986 $\pm$ 0,00086	0,0021 $\pm$ 0,0002	99,4	4,8928 $\pm$ 0,0028	205,75 $\pm$ 0,11
13	65,4	1,22387 $\pm$ 0,00045	2,551 $\pm$ 0,00071	0,002 $\pm$ 0,0002	99,4	4,7692 $\pm$ 0,0022	200,83 $\pm$ 0,09
14	76,2	1,63618 $\pm$ 0,00067	3,38903 $\pm$ 0,00142	0,0013 $\pm$ 0,0002	99,5	4,8033 $\pm$ 0,0028	202,19 $\pm$ 0,11
15	88,2	1,82219 $\pm$ 0,00084	3,78644 $\pm$ 0,00189	0,0015 $\pm$ 0,0001	99,5	4,7895 $\pm$ 0,0033	201,64 $\pm$ 0,13
16	94,7	0,93138 $\pm$ 0,00039	2,04035 $\pm$ 0,00098	0,002 $\pm$ 0,0003	99,4	4,5381 $\pm$ 0,003	191,6 $\pm$ 0,12
17	100	0,75436 $\pm$ 0,00024	1,65711 $\pm$ 0,00066	0,0018 $\pm$ 0,0003	98,8	4,4972 $\pm$ 0,0023	189,96 $\pm$ 0,09
Образец LK270, биотит, J = 0,024687 $\pm$ 0,000004							
1	37,1	1,90699 $\pm$ 0,00063	3,67775 $\pm$ 0,00121	0,0028 $\pm$ 0,0001	98,8	5,1213 $\pm$ 0,0025	214,79 $\pm$ 0,1
2	50,0	0,64033 $\pm$ 0,00017	1,28167 $\pm$ 0,0005	0,0014 $\pm$ 0,0004	99,3	4,9597 $\pm$ 0,0024	208,38 $\pm$ 0,09
3	58,7	0,42818 $\pm$ 0,00012	0,86821 $\pm$ 0,00027	0,001 $\pm$ 0,0001	99,2	4,8936 $\pm$ 0,0021	205,76 $\pm$ 0,08
4	67,2	0,41549 $\pm$ 0,00013	0,8394 $\pm$ 0,00029	0,0005 $\pm$ 0,0003	99,2	4,9104 $\pm$ 0,0023	206,43 $\pm$ 0,09
5	73,8	0,3276 $\pm$ 0,00011	0,65904 $\pm$ 0,00014	0,0021 $\pm$ 0,0003	99,3	4,9362 $\pm$ 0,0021	207,45 $\pm$ 0,08
6	81,2	0,36931 $\pm$ 0,00012	0,73285 $\pm$ 0,00039	0,0015 $\pm$ 0,0006	99,2	5,0015 $\pm$ 0,0032	210,04 $\pm$ 0,13
7	90,4	0,45456 $\pm$ 0,00015	0,91509 $\pm$ 0,0003	0,0015 $\pm$ 0,0005	99,3	4,9328 $\pm$ 0,0024	207,32 $\pm$ 0,1
8	95,2	0,25149 $\pm$ 0,00008	0,47311 $\pm$ 0,00012	0,0012 $\pm$ 0,0009	99,5	5,2892 $\pm$ 0,0023	221,41 $\pm$ 0,09
9	97,1	0,10001 $\pm$ 0,00005	0,18525 $\pm$ 0,00014	0,0006 $\pm$ 0,0021	99,3	5,362 $\pm$ 0,0048	224,27 $\pm$ 0,19
10	100	0,15545 $\pm$ 0,00005	0,28924 $\pm$ 0,00019	-0,0003 $\pm$ -0,0017	98,3	5,2823 $\pm$ 0,004	221,14 $\pm$ 0,16

в виде прожилков, местами с мелкими частицами золота неправильной формы. Общее содержание сульфидов в рудном теле колеблется от 2 до 15%, иногда до 45%, наблюдается постепенное снижение в направлении с юго-востока на северо-запад с преобладанием халькопирита. Содержание золота в рудном теле варьирует от 0,70 до 29,40 г/т, в среднем 4,24 г/т. Коэффициент вариации содержания золота составляет 123,67%. Содержание других металлов: серебра колеблется от 0,15 до 38,2 г/т, в среднем 3,63 г/т; свинца от 5 до 56 800 ppm, в среднем 343 545 ppm; цинка от 3 до 19 206 ppm, в среднем 752 ppm.

Золото на объектах имеет размеры от 1 до 1020 μm , 90% свободного золота имеет размеры от 7 до 335 μm . Результаты исследований образцов руды Байдат (обр. LR2500724) показывают, что от 81 до 90% свободного золота, от 0,3 до 2% находится в сростании с галенитом и пиритом, от 9,7 до 17% золота тонкодисперсного — в галените, халькопирите и пирите [4].

Выводы

В пределах золоторудного поля Фьюкшон в Центральном Вьетнаме участок рудников Байдат и Байго расположен в зоне окончания взбросо-сдвига, где протерозой-кембрийские сланцы слагают антиклинальную структуру, осложненную силлами и штоками кембрийских габбро и мелкими штоками позднепалеозойских гранитов.

Золоторудные тела в рудниках Байдат и Байго представлены субпараллельными сланцеватости

кварц-сульфидными жилами. Рудовмещающими являются послойные зоны тектонических нарушений, которые образовались на участке окончания взбросо-сдвига и осложняли западные крылья и замки антиклиналей. Они формировались в режиме региональных субширотных горизонтальных напряжений. Важное значение в рудоконтроле имеют горизонты углеродистых кварц-серицитовых сланцев. Имеют место крутопадающие пострудные разломы, смещающие рудные тела.

Схожесть в морфологии и структурной позиции рудных тел Байдат и Байго с золоторудными жилами Бендигго позволяет рассчитывать на открытие новых слепых рудных тел в районе.

Выделяются две стадии золотого оруденения. Ранняя характеризуется широким развитием сфалерита и меньшим количеством золота. В позднюю стадию происходило основное осаждение золота и формировался галенит. Жильные, прожилковые и брекчиевые текстуры кварц-золото-сульфидных руд указывают на то, что региональный метаморфизм предшествовал их формированию.

Судя по геохронологическим данным по изотопии аргона в биотите, золотая минерализация на Байдате и Байго, вероятно, формировалась в триасе (250—200 млн лет назад), на стадии затухания регионального метаморфизма индосинского орогенеза.

Полученные результаты следует использовать при локальном прогнозе золоторудных месторождений в Центральном Вьетнаме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Бана (D-48-IV), Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1:200 000), Ханой, 1998. 73 с.
2. Геология и минеральные ресурсы листа Дак Глей-Хам Дык (D-48-24C), Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 50 000). Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Ханой. 1997. 272 с.
3. Као Д.Ч. и др. Глубинные структуры и характеристики сейсмической активности на территории Вьетнама. Ханой, 1991. 140 с.
4. Ле В.Н. и др. Отчет — разведка золота в районе Фьюкшон, коммуна Фьюк Дык и коммуна Фьюк Суан, район Фьюкшон, провинция Куангнам, Дананг, 2010. 215 с.
5. Фам К. и др. Разломы и вторжения на территорию Вьетнама, обнаруженные в соответствии с интерпретацией геофизических данных. Журнал геологии, Серия В: № 5-6, 1995. 395 с.
6. Чан Ч.Х. и др. Проект «Исследование условий образования и правил распределения редких минералов, связанных с магматической деятельностью в регионах Центрального и Центрального нагорья», Архив геологии, Ханой, 2003. 345 с.
7. Banks M.J., Murfitt R.H., Quynh N.N., Hai L.V. Gold exploration of the Phuoc Son-Tam Ky Suture, central Vietnam, A case study Proceedings of PacRim Congress, Adelaide, 2004. С. 95—104.
8. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications, Gondwana Research. 2014. № 26. С. 144—164.
9. McDougall Ian, Roksandic Z. Total fusion $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages using Hifar reactor, Journal of the Geological Society of Australia, 1974. № 21(1). С. 81—89.
10. Quyen N.M., Feng Q.L., Zi J.W., Zhao T.Y., Hai T.T., Thanh N.X., Tran M.D., Hung N.Q. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky-Phuoc

Son Suture Zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina Block, *Gondwana Research*. 2019. № 70, С. 151—170.

11. Sharpe E.N., Mac'Geehan P.J. field // *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea* / Ed. F.E. Hughes. [S. I.], 1990. Vol. 2. P. 1287—1296.

REFERENCES

1. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. *Geology and Mineral Resources of the Ba Na leaf (D-48-IV), Map of Geology and Mineral Resources of Vietnam (1:200 000)*, Hanoi, 1998. 73 p. (In Viet Nam).
2. *Geology and Mineral Resources of Dak Glei — Kham Duc leaf (D-48-24C), Map of Geology and Mineral Resources of Vietnam (1:50,000)*. General Administration of Geology and Minerals of Vietnam. Hanoi. 1997. 272 p. (In Viet Nam).
3. Cao Dinh Trieu, et al. Deep structures and characteristics of seismic activity in the territory of Vietnam, Hanoi, 1991. 140 p. (In Viet Nam).
4. Le Van Hai, et al. Report — gold prospecting in the Phuoc Son area, Phuoc Duc commune and Phuoc Xuan commune, Phuoc Son district, Quang Nam province, Da Nang, 2010. 215 p. (In Viet Nam).
5. Pham Khoan, et al. Faults and intrusions into the territory of Vietnam, discovered in accordance with the interpretation of geophysical data. *Journal of Geology, Series B: No. 5—6*, 1995. 395 p. (In Viet Nam).
6. Tran Trong Hoa, et al. Project “Investigation of formation conditions and rules of distribution of rare minerals associated with magmatic activity in the regions of the Central and Central Highlands”, *Archives of Geology*, Hanoi, 2003. 345 p. (In Viet Nam).
7. Banks M.J., Murfitt R.H., Quynh N.N., Hai L.V. Gold exploration of the Phuoc Son-Tam Ky Suture, central Vietnam, A case study *Proceedings of PacRim Congress*, Adelaide, 2004. P. 95—104.
8. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications, *Gondwana Research*. 2014. № 26. P. 144—164.
9. McDougall I., Roksandic Z. Total fusion $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages using Hifar reactor, *Journal of the Geological Society of Australia*. 1974. № 21(1). P. 81—89.
10. Quyen N.M., Feng Q.L., Zi J.W., Zhao T.Y., Hai T.T., Thanh N.X., Tran M.D., Hung N.Q. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky-Phuoc Son Suture Zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina Block, *Gondwana Research*. 2019. № 70. P. 151—170.
11. Sharpe E.N., Mac'Geehan P.J. field // *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea* / Ed. F.E. Hughes. [S. I.], 1990. Vol. 2. P. 1287—1296.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Чан Ван Т. — внес вклад и подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геолого-геохимических данных и создание графической информации, выполнил перевод на английский язык, подготовил текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Игнатов П.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, добавил и отредактировал текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Май Чонг Т. — внес вклад в разработку, предоставил геологические данные, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tien Van Tran — contributed to the preparation of the text of the article, the collection, processing and analysis of geological and geochemical data and the creation of graphic information, translated into English, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Petr A. Ignatov — contributed to the development of the concept of the article, added and edited the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Tu Mai Trong — contributed to the development of provided geological data, 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

Чан Ван Тиен* — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

e-mail: tiendcb@gmail.com

тел.: +7 (926) 671-72-31

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-6337>

Игнатов Петр Алексеевич — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

тел.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-код: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Май Чонг Ту — доктор геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора Департамента геологии, Главное управление геологии и полезных ископаемых Вьетнама.

6, Фам Нгу Лао ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

e-mail: tumaitrong@gmail.com

тел.: +84 93 510 03 59

Tran Van Tien* — post-graduate researcher of the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: tiendcb@gmail.com

tel.: +7 (926) 671-72-31

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-6337>

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

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

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

tel.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-code: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Mai Trong Tu — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy General Director of the Department of Geology, General Administration of Geology and Mineral Resources of Vietnam.

6, Pham Ngu Lao St., Hanoi 100000, Vietnam

e-mail: tumaitrong@gmail.com

tel.: +84 93 510 03 59

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕРРИТОРИЙ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ РАСПОЛОЖЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ

Н.Н. ЗИНЧУК*, В.И. КОПТИЛЬ

*Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я)
5, ул. Тихонова, стр. 1, г. Мирный 678175, Якутия, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены результаты сравнительного комплексного изучения алмазов из коренных источников территории с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел Верхнемунского поля (Заполярная, Новинка, Комсомольская-Магнитная, Поисковая и др.), позволяющие отличать их от других полей Сибирской платформы. Для кимберлитов трубки Заполярная основными типоморфными особенностями алмазов является резкое преобладание додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации, преимущественно с лилово-коричневой окраской, значительная часть которых с кавернами. Это сближает их с другими телами Верхнемунского кимберлитового поля (Комсомольская-Магнитная, Новинка и Поисковая) и отличает от алмазов из эксплуатируемых месторождений Малоботубинского, Далдыно-Алакитского и Средне-Мархинского алмазоносных районов.

Цель. Проанализировать особенности алмазов из коренных источников Верхнемунского кимберлитового поля с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел.

Материалы и методы. В статье использован огромный материал, собранный за многие годы поисковых и разведочных работ, проводимых в различные годы многочисленными исследователями производственных и научных организаций на территории Западной Якутии. Комплексное изучение алмазов проводилось под руководством и с участием авторов.

Результаты. Проведенными исследованиями показано, что кимберлитовые породы Верхнемунского кимберлитового поля (ВМКП) отличаются от подобных пород центральных полей (Мирнинского, Далдынского и Алакит-Мархинского) низким содержанием ксенолитов осадочных пород, многие из которых подверглись высокотемпературному метаморфизму. В целом кимберлитовые породы поля характеризуются относительно слабыми вторичными изменениями. Поэтому в основной массе кимберлитов отдельных диатрем (Зимняя, Комсомольская-Магнитная, Новинка и Легкая) описываемого поля нередко сохраняется свежий оливин второй генерации, который обычно замещается более поздними монтichelлитом и периклазом.

Заключение. В целом проведенными исследованиями установлено, что алмазы из кимберлитовых тел Верхнемунского поля характеризуются комплексом типоморфных особенностей, позволяющих отличать их от кристаллов из других коренных месторождений Якутии. Для трубки Заполярная основной типоморфной особенностью алмазов является резкое преобладание додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации, преимущественно с лилово-коричневой окраской, значительная часть которых с кавернами. Это сближает их с другими кимберлитовыми телами Верхнемунского кимберлитового поля (трубки Комсомольская-Магнитная, Новинка и Поисковая) и отличает от алмазов из эксплуатируемых месторождений Далдыно-Алакитского, Малоботубинского и Средне-Мархинского алмазоносных районов.

Ключевые слова: кимберлитовые трубки, типоморфные особенности алмазов, Верхнемунское поле, Сибирская платформа

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Сравнительные особенности алмазов из коренных источников территорий с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):28—42. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-28-42>

Статья поступила в редакцию 06.10.2022

Принята к публикации 29.12.2022

Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DIAMONDS FROM AREAS WITH A HIGH DENSITY OF KIMBERLITE BODIES

NIKOLAY N. ZINCHUK*, VASILY I. KOPTIL

West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny
5, build 1, Tikhonova str., Mirny 678175, Yakutiya, Russia

ABSTRACT

Background. This paper presents a comparative study into diamonds from kimberlite bodies of the Verkhnemunsky field (Zapolyarnaya, Novinka, Komsomolskaya-Magnitnaya and Poiskovaya), the results of which allow these minerals to be distinguished from those found in other fields of the Siberian platform. Diamonds from the Zapolyarnaya kimberlite pipe are characterized by an increased prevalence of dodecahedroids with shagreen and plastic deformation bands, mainly of a violet-brown color. A significant part of these diamonds contains cavities. In this respect, diamonds from the Zapolyarnaya kimberlite pipe are similar to other bodies of the Verkhnemunsky kimberlite field (Komsomolskaya-Magnitnaya, Novinka and Poiskovaya) and different from diamonds mined at the Malo-Botuobinsky, Daldyn-Alakitsky and Sredne-Markhinsky diamondiferous areas.

Aim. To analyze the characteristics of diamonds from the Verkhnemunsky field with a high density of kimberlite bodies.

Materials and methods. The research was based on a large amount of data and materials collected over long-term prospecting and exploration works carried out by industrial and research organizations in Western Yakutia. A comprehensive study of diamonds was conducted under the guidance and participation of the authors.

Results. Kimberlite ore bodies in the region under study were found to differ from similar ore bodies of the central fields (Mirninsky, Daldynsky and Alakit-Markhinsky) by a low content of xenoliths of sedimentary rocks, many of which underwent high-temperature metamorphism. In general, the kimberlite ore bodies of the field are characterized by relatively weak secondary changes. Therefore, the largest part of the kimberlites of individual diatremes (Zymnyaya, Komsomolskaya-Magnitnaya, Novinka and Legkaya) preserve fresh olivine of the second generation, which is usually replaced by later monticellite and periclase.

Conclusion. Diamonds from the Verkhnemunsky field are characterized by a set of typomorphic characteristics, which can be used to differentiate them from minerals in other Yakutia deposits. The main typomorphic characteristics of Zapolyarnaya diamonds include the pronounced predominance of dodecahedroids with shagreen and plastic deformation bands, mainly of a violet-brown color and numerous cavities. In terms of this feature, these diamonds are close to other kimberlite bodies of the Verkhnemunsky field (Komsomolskaya-Magnitnaya, Novinka and Poiskovaya) but different from those in the Daldyn-Alakitsky, Malobotuobinsky and Sredne-Markhinsky diamondiferous areas.

Keywords: kimberlite pipes, typomorphic features of diamonds, Verkhnemunsky field, Siberian platform

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

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

For citation: Zinchuk N.N., Koptil V.I. Comparative characteristics of diamonds from areas with a high density of kimberlite bodies. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):28—42. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-28-42>

Manuscript received 06 October 2022

Accepted 29 December 2022

Published 31 March 2023

* Corresponding author

Из всех известных коренных источников алмазов (кимберлиты, лампроиты, метаморфогенные и импактные) наиболее значимыми в качественном и количественном отношении являются кимберлиты. В настоящее время в мире известно более 2000 кимберлитовых тел, из которых алмазы установлены более чем в 300 трубках и дайках, хотя в промышленной эксплуатации находятся всего несколько десятков диатрем, часть которых отработана до экономически рентабельных глубин для открытой добычи руды.

Кимберлитовые трубки обычно по различным геолого-структурным и минерагеническим признакам объединены в кимберлитовые поля, различные по площади. Так, на Сибирской платформе (СП) среди более 25 кимберлитовых тел самым малым по площади и плотным по расположению кимберлитовых тел считается *Верхнемунское кимберлитовое поле* (ВМКП), выделенное [1—3, 8—12, 15—17] в пределах Муно-Тюнгского алмазоносного района, расположенного в бассейне рек Муна и Тюнг, где установлена также повышенная россыпная алмазоносность современной гидросети и открыты кимберлитовые трубки. Структура ВМКП определяется [14] дизъюнктивно-блоковой решеткой, проявленной ортогональной системой структурных элементов кристаллического фундамента и диагональной системой в структуре осадочного чехла.

В регионе широко распространены карбонатные породы среднего и верхнего кембрия, а также рыхлые образования четвертичного возраста. В виде небольших полей (преимущественно в пониженных частях бассейна р. Улаах-Муны) залегают древние алмазоносные галечники (железистые конгломераты) мезо-кайнозойского возраста. Отложения среднего кембрия выявлены в днищах долин Муны и Улаах-Муны; представлены они толщей пестроцветных карбонатных и глинисто-карбонатных пород (известняки, глинистые и доломитистые) оленекской, джахтарской и силигирской свит суммарной мощностью 215—240 м. В верхах силигирской свиты отмечаются прослои

известковистых плоскогалечных конгломератов мощностью до 0,1 м. Образования верхнего кембрия развиты повсеместно и сложены карбонатными, реже глинисто-карбонатными породами (обломочные, водорослевые и оолитовые известняки) укугутской свиты, алевроитисто-глинистыми и псевдооолитовыми известняками мархинской свиты, алевроитистыми известняками с прослоями доломитов, водорослевых и оолитовых известняков, известняковых конгломератов моркокинской свиты суммарной мощностью 370—500 м. Изверженные породы района представлены кимберлитами и дайками долеритов. Последние развиты за пределами ВМКП и приурочены к разломам северо-западного и северо-восточного простирания.

Рассматриваемое поле — одно из самых небольших, известных на СП, однако оно характеризуется [5—7, 18—22] высокой плотностью кимберлитовых тел (одно тело приходится на 3—3,5 км²). На его территории известно 16 трубок и 4 дайки; причем 10 трубок и одна дайка образуют цепочку северо-западного (305°) простирания. Менее четко выражена вторая цепочка из четырех диатрем также северо-западной ориентировки (290°). Обе цепочки тел кимберлитов приурочены [1, 4, 13, 18] к глубинным разломам, которые на уровне осадочного чехла ни геологическими, ни геофизическими методами не фиксируются. Форма кимберлитовых трубок на уровне современного среза достаточно разнообразна. Выделяются [5, 12] несколько морфологических групп трубчатых тел в ВМКП: а) изометрические, почти округлые (Зимняя, Легкая, 325 лет Якутии, Верхняя и Малая); б) удлиненные (Комсомольская-Магнитная и Поисковая); в) тела сложной конфигурации (Новинка и Заполярная). Мелкие трубки представляют собой простые тела, образованные одной фазой внедрения кимберлитового расплава. Более крупные диатремы имеют сложное строение; они обычно сложены породами, внедрившимися в несколько фаз. Поэтому кимберлитовые породы характеризуются здесь значительным разнообразием.

В таких диатремах выделяются кимберлитовые туфы и туфобрекчии, эруптивные брекчии и порфиновые кимберлиты. Многообразны также состав и структуры мезостазиса кимберлитов. Туфовидная порода составляет значительную часть трубки Поисковая и практически полностью диатрему Верхняя. Отличительными особенностями этого типа пород являются сильная измененность вторичными процессами как вкрапленников, так и основной массы, кристаллокластическая структура, отсутствие признаков магматогенного облика основной массы и ее мелкоагрегатный серпентин-карбонатный состав. Этим же породам присуще исключительно низкое содержание (единичные знаки на килограммовую пробу) индикаторных минералов кимберлитов (ИМК): пироп, пикроильменит и хромит.

Эруптивные кимберлитовые брекчии (ЭКБ) — весьма распространенные породы диатрем района. Среди них выделяются [1—5, 17—19, 24—27] две разновидности: с повышенным (трубка Малая) и низким (трубки 325 лет Якутии, Заполярная и небольшая часть Новинки) содержанием слюды. ЭКБ характеризуются увеличенным содержанием ксенолитов осадочных пород, переменным количеством и варьирующими размерами псевдоморфоз по оливину, хотя при этом довольно часто встречаются зерна неизмененного минерала. Основная масса кимберлитов сложена серпентином и развитым в подчиненном количестве карбонатом. Наблюдаются здесь и псевдоморфозы по оливину второй генерации и мелкие кристаллики перовскита. Оригинальное строение имеют ЭКБ верхних горизонтов трубки Легкая, которые содержат огромное количество округлых включений кимберлитов ранней генерации (автолитов), дифференцированных по размеру. В верхней части блока здесь размеры автолитов шаровидной формы обычно не превышают 1 см в поперечнике, а в нижней — доминируют крупношаровые обособления кимберлитов. Шаровые формы последних формируются вокруг зародышей, которыми обычно являются мелкие ксенолиты глубинных пород, зерна ИМК, а также обломки образований неясного происхождения. Глубже автолитовый блок породы сменяется крупнопорфировыми кимберлитами, содержащими много свежего оливина.

Порфиновые кимберлиты (ПК), слагающие трубки Зимняя и Комсомольская-Магнитная, а также отдельные участки трубок Новинка и Заполярная, представлены массивными породами, в которых на фоне мелкопорфировой основной массы обо-

собляются четко выраженные псевдоморфозы по оливину, причем нередко частично серпентинизированные вкрапленники оливина. Важно отметить, что массивные кимберлиты ВМКП в большинстве случаев гораздо меньше изменены вторичными процессами, чем кимберлитовые породы южных и северных районов [9, 11, 23]. По составу основной массы кимберлиты поля делятся [17, 28—31] на безмонтчеллитовые и монтчеллитовые. Первыми полностью сложена трубка Заполярная и отдельные участки диатрем Новинка и Комсомольская-Магнитная, тогда как монтчеллитовые выполняют всю трубку Новинка и большую часть Комсомольская-Магнитная. Нередко вместе с монтчеллитом в основной массе кимберлитов присутствуют апатит, перовскит и флогопит. По химическому составу кимберлиты ВМКП отличаются [3, 34] от подавляющего большинства кимберлитовых пород более южных полей повышенной магнезиальностью и низким содержанием карбонатной составляющей; исключением этого являются трубки Верхняя, Малая, 325 лет Якутии и наиболее мелкие тела района. Содержание K_2O в кимберлитах варьирует от десятых долей процента (трубка Легкая) до 66% (слюдистые кимберлиты трубки Малая). Повышено содержание фосфора в кимберлитах трубок Легкая и некоторых блоках пород диатрем Новинка, Комсомольская-Магнитная и Зимняя — благодаря наличию в мезостазисе пород мельчайших зернышек апатита. Кимберлиты подавляющего большинства трубок описываемого поля содержат мало ильменита, тем не менее содержание TiO_2 в них повышено за счет концентраций перовскита в мезостазисе. Особенно много перовскита в кимберлитах трубки Поисковая. Еще одна характерная особенность кимберлитовых пород ВМКП — сильнейшая окисленность железа (особенно в верхних частях диатрем), что связано как с различной интенсивностью гипергенного преобразования пород, так и преобладанием в этих трубках оксида трехвалентного железа над двухвалентным, обусловленного развитием вторичных минералов (амакинита и пироаурита).

Кимберлитовые породы ВМКП отличаются [10, 17, 33] от подобных образований центральных полей СП следующим: а) низким содержанием ксенолитов осадочных пород, многие из которых подверглись высокотемпературному метаморфизму; б) относительно слабыми вторичными изменениями кимберлитов (в основной массе часто встречаются свежие зерна оливина); в) наличием в отдельных диатремах (Комсомольская-Магнитная, Зимняя и Новинка) желваков (мегакрист)

энстатита, окруженных реакционными каймами; г) присутствием в кимберлитах ряда трубок двух мегакристов — хромистой и титанистой; д) широким развитием мощных келифитовых кайм вокруг граната из кимберлитового цемента и глубинных ксенолитов; е) низким содержанием в кимберлитах ильменита (за исключением трубок Зимняя и 325 лет Якутии); ж) специфичностью фазового состава вторичных минералов (наличие прожилков и жил брусита, таумасита и хантита, а также выделений пироаурита); з) высокой долей гранатов и хромшпинелидов алмазной ассоциации (кноррингитсодержащий гранат и высокохромистый хромшпинелид); и) преобладанием среди глубинных ксенолитов оливиновых разновидностей.

Кимберлитовая трубка Заполярная имеет форму искаженной восьмерки, вытянутой в северо-западном направлении. Контакты кимберлитов с вмещающими осадочными породами верхнего кембрия выражены резко, причем северо-западная и южная его части более пологие, что указывает на быстрое сужение тела с глубиной и переход в дайку. Из выделяемых трех этапов внедрения пород кимберлитовые брекчии (КБ) первой фазы слагают пережим и небольшие по площади приконтактные участки расширений диатремы. Кимберлиты второй фазы образуют юго-восточное, а третьей — северо-западное расширение. КБ пережима окрашены в серо-зеленый цвет и содержат большое количество (до 21%) псевдоморфоз по оливину первой группы. Брекчиям присуще более высокое содержание ксенолитов осадочных пород (до 7%), чем кимберлитам других фаз. В основной массе, кроме серпентинизированных выделений оливина, распространены зерна перовскита, флогопита, апатита и магнетита, промежутки между которыми заполнены кальцит-серпентиновым агрегатом. Кимберлит второй фазы — крупнопорфировая порода, содержащая много псевдоморфоз по оливину первой группы (до 18%) и относительно мало ксенолитов вмещающих пород (6%). Порода характеризуется повышенным содержанием автолитов. В основной массе наблюдаются зерна перовскита, магнетита, апатита и чешуйки флогопита.

В юго-западной части юго-восточного расширения трубки располагается блок атакситовых кимберлитов (АК), сложенных множеством (до 80%) псевдоморфоз по оливину и редкими зернами пиропса. АК свойственна дифференциация оливина по крупности зерен. Кимберлиты третьей фазы внедрения характеризуются наиболее высоким содер-

жением псевдоморфоз по оливину первой группы (в среднем 26%, а в отдельных блоках до 46%). Содержание ИМК в кимберлитах трубки Заполярная, по сравнению с породами большинства диатрем более южных районов низкое, но более высокое, чем в других трубках описываемого поля. Ведущими являются пиропы оранжево- и фиолетово-красного цвета. Соотношение цветовых разновидностей этого минерала (оранжево-красного, красного, малинового и фиолетово-красного) близкое в породах всех трех фаз внедрения. Отдельные участки кимберлитов верхних горизонтов пронизаны многочисленными прожилками гидротермальных минералов, в том числе брусита и хантита [10, 35]. Первый в виде волокнистых агрегатов (немалит) развит в юго-восточном и северо-западном расширениях. На отдельных участках прожилки брусита группируются в зоны мощностью до 2—5 м. В северо-западном раздвиге трубки в верхних горизонтах хантит образует многочисленные прожилки и линзы мощностью от долей миллиметра до 5 см. Широко распространены в трубке ксенолиты кристаллических сланцев. Резко преобладают породы высоких ступеней метаморфизма (эклогитовой и гранулитовой фаций), представленные эклогитоподобными породами и алмадинсодержащими кристаллическими сланцами.

Всего в трубке Заполярная выделяются три рудных столба, заметно различающихся по типоморфным особенностям алмазов. Так, порфировый кимберлит (ПК) северо-западного рудного столба характеризуется (рис. 1 и 2) пониженной крупностью индивидов (средний вес 3,0 мг), повышенным (до 38,7%) суммарным содержанием кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбодекаэдрическому габитусов, а также псевдогемиморфных индивидов, равных содержанию типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа (в основном с шагренью и полосами пластической деформации) I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова [32] при максимальном (9,1%) содержании поликристаллических агрегатов VIII разновидности. Другими типоморфными особенностями являются повышенное (28,5%) содержание двойников и сростков, пониженное (38,3%) количество кристаллов с признаками природного травления (в основном за счет шрамов) при преобладании индивидов с кавернами (22,1%), пониженная степень прозрачности при максимальной (26,3%) роли полупрозрачных камней (рис. 3), повышенное (55,1%) содержание окрашенных кристаллов (в основном лилово-коричневых



Рис. 1. Фото алмазов из кимберлитов трубки Заполярная (ВМКП)

Fig. 1. Photo of diamonds from kimberlites of the Zapolyarnaya tube (VMKP)

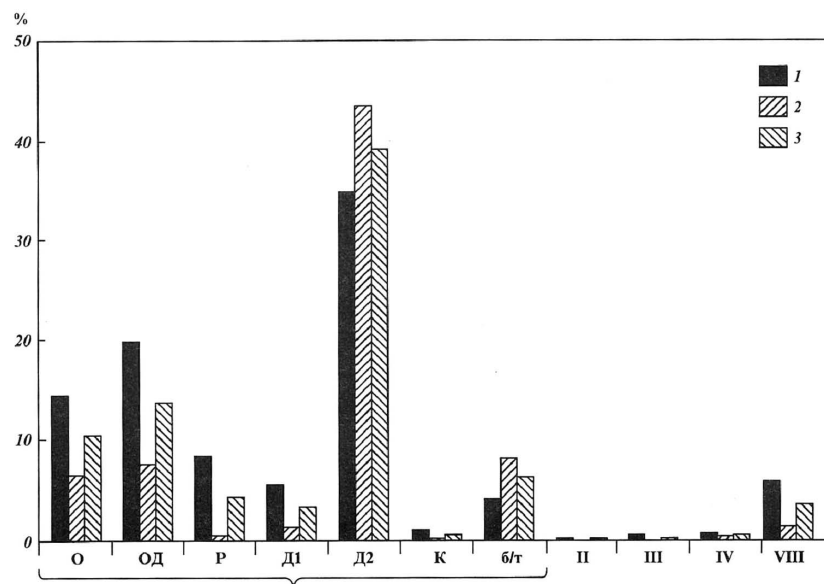


Рис. 2. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел Верхнемунского поля: 1 — 1У, УШ — разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову [32]: О — октаэдры, ОД — переходные формы, Р — ламинарные ромбододекаэдры, Д1 — додекаэдры скрытослоистые, Д2 — додекаэдры с шагренью, К — кубы, б/г — осколки; 1—2 — трубки Заполярная и Поисковая соответственно, 3 — среднее по полю

Fig. 2. Typomorphic features of diamonds from kimberlite bodies of the Verkhnemunsky field: 1 — 1У, УШ — varieties of diamonds according to Yu.L. Orlov [32]: О — octahedra, ОД — transitional forms, Р — laminar rhombododecahedra, Д1 — hidden-layered dodecahedra, Д2 — dodecahedra with shagreen, К — cubes, б/г — fragments; 1—2 — Zapolyarnaya and Poiskovaya tubes, respectively, 3 — field average

идымчато-коричневых из-за пластической деформации) и до 66,5% с твердыми включениями (в основном сингенетическими графит-сульфидными).

Следует также отметить повышенную степень сохранности (целостность) алмазов при преобладании (в сумме 54%) целых и в незначительной

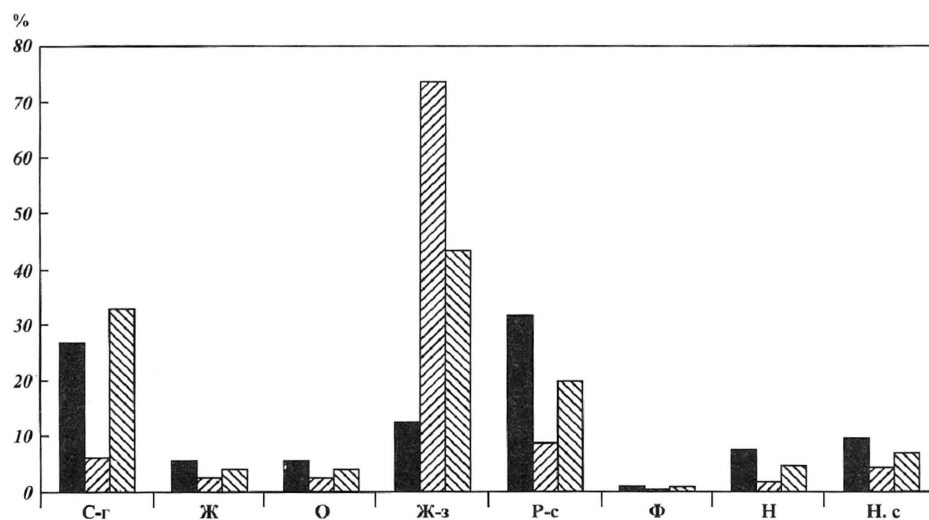


Рис. 3. Фотолюминесцентные особенности алмазов из кимберлитовых тел Верхнемунского поля: цвет люминесценции: C-г — сине-голубой, Ж — желтый, О — оранжевый, Ж-з — желто-зеленый, зеленый, P-с — розово-сиреневый, Ф — фиолетовый, Н — неопределенный, Н. с. — не светящиеся алмазы; прочие условные обозначения см. на рисунке 2

Fig. 3. Photoluminescent features of diamonds from kimberlite bodies of the Verkhnemunsky field: luminescence color: C-g — blue-blue, Ж — yellow, О — orange, Ж-з — yellow-green, green, P-c — pink-lilac, Ф — purple, Н — indeterminate, H.c. — non-luminous diamonds; other symbols see Figure 2

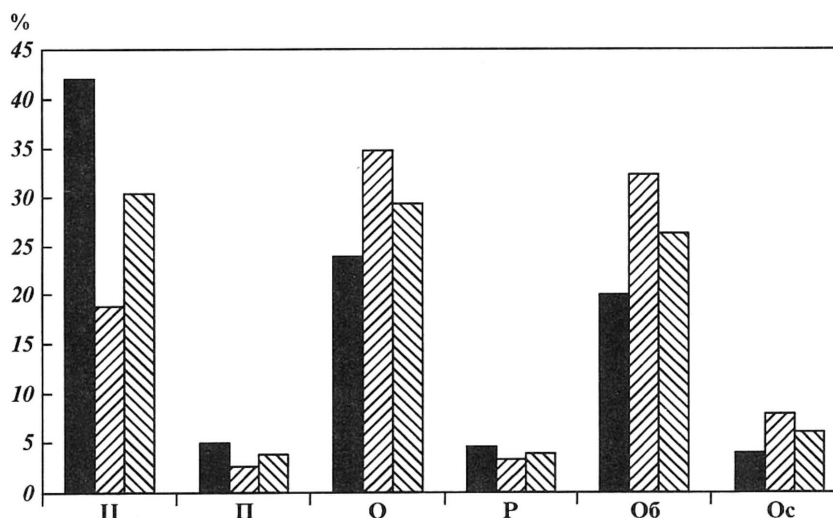


Рис. 4. Сохранность (целостность) алмазов из кимберлитовых тел Верхнемунского поля: Ц — целые кристаллы, П — поврежденные, О — обломанные, Р — расколотые, Об — обломки, Ос — осколки; прочие условные обозначения см. на рисунке 2

Fig. 4. The safety (integrity) of diamonds from kimberlite bodies of the Verkhnemunsky field: Ц — whole crystals, П — damaged, О — broken, Р — split, Об — fragments, Ос — fragments; other symbols see Figure 2

степени поврежденных камней (рис. 4). Комплекси-
поморфных особенностей определяет пониженные
параметры качества алмазного сырья.

Порфиновый кимберлит (ПК) юго-восточно-
го рудного столба характеризуется повышенной
ролью алмазов класса -4+2 мм (3,8% по коли-
честву и 41,1% по массе), минимальным (24,1%)
с количеством кристаллов октаэдрического

и переходного от октаэдрического к ромбододека-
эдрическому габитусов, а также псевдогемиморф-
ных индивидов при преобладании (55,2%) типич-
ных округлых алмазов (в основном с шагренью
и полосами пластической деформации) и с увели-
чивающейся в три раза долей высококачествен-
ных скрытослоистых додекаэдридов I разновид-
ности.

Другими типоморфными особенностями алмазов являются низкое (всего 11,1%) содержание двойников и сростков и максимальное (52,3%) количество индивидов с признаками природного травления (в основном кавернами — 26,6%), повышенная степень прозрачности и пониженное (40,6%) количество лилово-коричневых камней. Преобладают (37%) кристаллы с розово-сиреневой фотолюминесценцией. Количество камней с твердыми включениями пониженное (51,9%). Целых и в незначительной степени поврежденных индивидов — 38,9%. Комплекс типоморфных особенностей алмазов определяет повышенные параметры качества алмазного сырья при средней стоимости одного карата примерно в полтора раза выше по сравнению с ПК северо-западного рудного столба. В отличие от этого, автолитовая кимберлитовая брекчия (АКБ) характеризуется в основном промежуточными значениями основных типоморфных особенностей алмазов между порфиловыми кимберлитами северо-западного и юго-восточного рудных столбов. Среди кристаллов около половины (46,6%) составляют типичные округлые алмазы уральского (бразильского) типа (преимущественно додекаэдриды с шагренью и полосами пластической деформации), треть которых с кавернами, при повышенном (6,2%) содержании кристаллов с коррозией (преимущественно на кристаллах октаэдрического габитуса).

Форма кимберлитовой трубки Новинка неправильная с резким пережимом посередине, длинная ось ориентирована в северо-западном направлении. Вмещающими породами диатремы являются известняки чукукской свиты верхнего кембрия. Контакты кимберлитового тела с вмещающими породами резкие и наклонены внутрь трубки. Северо-восточная часть диатремы сочленяется с вмещающими породами посредством брекчированной зоны мощностью 4—5 м, сложенной субориентированными плитчатыми обломками известняков, сцементированными карбонатизированным кимберлитом крупнопорфирового строения. По мере приближения к вмещающим породам количество карбонатного материала в цементе постепенно увеличивается, и на расстоянии 2 м от монолитных известняков цемент становится полностью карбонатным. Внутренняя морфология трубки сложная. Наличие резкого пережима примерно посередине диатремы — явное доказательство сочленения двух самостоятельных тел. Выделяются [10, 17, 36] породы трех фаз внедрения (рис. 2). В первую образовались КБ, сохранившиеся в виде узкой зоны на контакте с вмещающими породами

обоих расширений. Кимберлиты второй фазы составляют большую часть северо-западного расширения, а третьей — юго-восточного. КБ представлены серыми и зеленовато-серыми породами, состоящими из псевдоморфоз по оливину и редких реликтов оливина первой (до 21%) и второй (10—22%) групп, перовскита и магнетита, редко превышающего первые проценты. Массивные кимберлиты второй фазы насыщены зернами серпентинизированного оливина первой группы (до 27%). В состав основной массы кроме перовскита, магнетита и оливина второй группы входят мелкие чешуйки флогопита и зерна апатита. ПК заключительной фазы наименее изменены вторичными процессами. Они сформированы в разной степени серпентинизированным оливином первой группы (до 26%), единичными выделениями пироба, пикроильменита, энстатита, заключенными в карбонат-серпентиновом мезостазице. Количество ксенолитов осадочных пород редко превышает первые проценты. Почти все они подверглись термальному воздействию кимберлитового расплава с образованием высокотемпературных роговиков монтичеллитового, монтичеллит-флогопитового и апатит-флогопитового состава [37].

Содержание ИМК (пироба, пикроильменита и хромшпинелидов) довольно низкое, однако в ряде изученных проб установлены повышенные количества хромита. Породы первой фазы внедрения содержат пикроильменита и хромита на порядок меньше, чем двух других фаз. Характерной особенностью ПК является повышенное содержание фенокристов оливина и пироба, а также редких желвачков энстатита. В составе вторичных минералов доминируют брусит и таумасит [10, 17, 38]. Участок, насыщенный бруситовой минерализацией, приурочен к северо-восточной части юго-восточного расширения диатремы. Таумасит образует в кимберлите отдельные желваки размером до 3—5 см в поперечнике, а иногда выделяется в виде ветвящихся, часто пересекающихся прожилок мощностью от 1 до 4 мм. Повышенное количество этого минерала приурочено к метаморфизованным ксенолитам карбонатных пород, где в результате воздействия сернокислых гидротермальных растворов происходило выщелачивание известняков и образование в пустотах таумасита. Гнезда последнего иногда окружены зоной метаморфизованной породы, сложенной монтичеллитом, гранатом гроссуляр-андрадитового состава, флогопитом и хлоритом. Ксенолиты кристаллических сланцев, большинство из которых принадлежит к гранулитовой фации метаморфизма, обычно

приурочены к КБ, в то время как в ПК они единичны и несут следы термального воздействия кимберлитового расплава [39].

Кимберлитовые породы северо-западного расширения трубки (вторая фаза) по содержанию большинства петрогенных оксидов мало отличаются от кимберлитов юго-восточного расширения (третья фаза), хотя для некоторых оксидов различия заметны. Это относится прежде всего к MgO и CO_2 ; в северо-западном расширении содержание MgO меньше, а CO_2 больше, чем в юго-восточном. Если в кимберлитах северо-западного тела при пересчете CaO и CO_2 на кальцит получается дефицит CaO , что указывает [3, 10, 40] на присутствие в породе определенного количества доломита, то в кимберлитах юго-восточного расширения при аналогичных пересчетах остается избыточный CaO . Последний входит в состав монтичеллита — распространенного минерала этих кимберлитов. За счет монтичеллита и пониженного содержания карбонатного вещества повышается магнезиальность кимберлитов третьей фазы. Среди алмазов трубки Новинка октаэдры составляют 21%, комбинационные кристаллы — 14,5, округлые с шагренью и полосами пластической деформации — 27, типичные округлые — 35, «двуликие янусы» — 6,7%. По классификации Ю.Л. Орлова [32] они распределяются следующим образом (в %): 1 разновидность — 90,3; 1У — 0,7; УШ — 7,9; двойники и сростки составляют 24%, кристаллы со структурами травления — 49,8; целые — 46,1; окрашенные — 14,7; с включениями других минералов — 63,7%. Преобладают алмазы с сине-голубой (23,5%) и розово-сиреневой (30,2%) фотолуминесценцией.

Кимберлитовая трубка Комсомольская-Магнитная находится на правом склоне р. Улаах-Муна в 250 м северо-западнее трубки Новинка. В плане она имеет форму вытянутого овала с сужением посередине, что может свидетельствовать о двух подводящих каналах. Длинная ось трубки ориентирована в широтном направлении. Вмещающими породами служат известковистые образования верхнего кембрия. Контакты диатремы с боковыми породами четкие и довольно крутые. Трубка выполнена тремя разновидностями кимберлитов: брекчиями, массивными монтичеллитовыми и безмонтичеллитовыми кимберлитами. КБ слагают узкую полосу в северной части трубки на контакте с вмещающими породами. Структура породы литокристаллокластическая. Она содержит повышенное количество ксенолитов вмещающих пород (в среднем 27% по объему, а на отдельных участках

до 45%). Цементом обломочного материала служит карбонат-серпентиновый агрегат, в котором заключены псевдоморфозы серпентина по оливину П, редкие зерна перовскита и магнетита. Массивные кимберлиты без монтичеллита развиты в восточной части диатремы. В них наблюдается повышенное количество псевдоморфоз по оливину (среднее 27%, а в отдельных участках — до 50% объема породы). Значительная часть псевдоморфоз представлена крупными выделениями (1,5—4 см). По размеру их можно отнести к группе мегакристов. Массивные кимберлиты с монтичеллитом слагают большую часть трубки, характеризуюсь повышенным количеством в различной степени серпентинизированных зерен оливина 1 (в среднем 2%). Размер зерен оливина нередко превышает 1—2 см в поперечнике. Основная масса пород состоит из агрегата серпентина, кальцита и чешуйчатых выделений флогопита. Кимберлиты описываемой диатремы содержат мало ИМК, причем количество пироба в них почти на порядок выше, чем пикроильменита. В массивных кимберлитах восточной части трубки содержание пироба и пикроильменита несколько выше, чем в породах западной части. Алмазы из кимберлитов трубки Комсомольская-Магнитная и расположенной в этом же поле диатремы Зимняя имеют довольно близкий облик и свойства, описанные для других трубок ВМКП.

На правом склоне долины р. Улаах-Муна расположена **кимберлитовая трубка Поисковая**, состоящая из двух тел — восточного и западного. Восточное тело имеет форму груши, длинная ось которой ориентирована в широтном направлении. С глубиной оно существенно сужается, переходя в 200 м от поверхности в дайку. Форма западного тела — неправильный овал с ориентировкой длинной оси на северо-восток. Контакты кимберлитовых тел с вмещающими карбонатными породами нижнего кембрия резкие. В верхней части восточного тела расположен крупный ксенолит вмещающих пород, занимающий треть площади тела. Восточное тело сложено КБ и массивным кимберлитом, а западное только последней породой. Обе разновидности кимберлита подверглись интенсивной серпентинизации, поэтому свежий оливин здесь встречается редко. Характерной особенностью обеих разновидностей кимберлитов является повышенное содержание измененного оливина, небольшой (0,2—5,0 мм) размер его зерен и отсутствие четких границ между оливином 1 и П. Цементом породы служит карбонат-серпентиновый агрегат с повышенным количеством

перовскита. Кимберлиты трубки Поисковая принадлежат к низкоспутниковым, в которых количество пироба, пикроильменита и хромшпинелида в отдельности редко превышают 0,006%. Количество зерен граната алмазной ассоциации составляет всего 0,4%, что для кимберлитов с относительно повышенной алмазоносностью слишком мало. Из вторичных минералов самыми распространенными являются серпентин и кальцит. В переменных количествах в диатреме встречены также пирроаурит, хантит, гидромагнетит, таумасит, тоцилинит и франколит [10, 35]. Ксенолиты глубинных пород редки, и приурочены они преимущественно к массивным кимберлитам. Представлены ксенолиты почти полностью серпентинизированными ультрабазами, первичный минеральный состав которых был существенно оливиновым.

Алмазоносность кимберлитов диатремы повышена при относительно равномерном распределении алмазов (пониженные содержания кристаллов отмечены в приконтактной части трубки). Алмазы трубки Поисковая по большинству своих типоморфных особенностей (рис. 5) стоят несколько особняком среди других кимберлитовых тел ВМКП (рис. 2—4), причем характеризуются породы очень низким содержанием кристаллов октаэдрического габитуса, наиболее широким распространением среди них минералов с признаками природного травления, очень низким количеством

двойников и сростков, в том числе и агрегатов VIII разновидности, преобладанием индивидов с зеленой фотолюминесценцией, основную массу которых составляют безазотные алмазы типа IIa, низкой степенью сохранности (целостностью) кристаллов, преобладанием алмазов с эклогитовой ассоциацией включений, очень высоким содержанием окрашенных камней и низким качеством алмазного сырья.

Таким образом, проведенными исследованиями показано, что кимберлитовые породы ВМКП отличаются от подобных пород центральных полей (Мирнинского, Далдынского и Алакит-Мархинского) низким содержанием ксенолитов осадочных пород, многие из которых подверглись высокотемпературному метаморфизму. В целом кимберлитовые породы поля характеризуются относительно слабыми вторичными изменениями. Поэтому в основной массе кимберлитов отдельных диатрем (Зимняя, Комсомольская-Магнитная, Новинка и Легкая) описываемого поля нередко сохраняется свежий оливин второй генерации, который обычно замещается более поздними монтичеллитом и периклазом. В кимберлитовых породах упомянутых диатрем отмечены повышенные количества апатита, перовскита и позднего флогопита). В этих же диатремах установлено наличие желваков (мегакристов) энстатита (размером 0,5—0,6 см), окруженных широкими (1—4 мм) реакционными



Рис. 5. Фото алмазов из кимберлитов трубки Поисковая (ВМКП)

Fig. 5. Photo of diamonds from kimberlites of the Search tube (VMKP)

каймами, сложенными амфиболом, монтichelлитом, флогопитом, серпентином и карбонатом.

В кимберлитах ряда трубок установлено присутствие мегакристов двух групп — хромистой и титанистой. Первая группа представлена высокохромистым гранатом (до 7% Cr_2O_3), нередко с повышенным содержанием титана (TiO_2 иногда превышает 1%), высокомагнезильным оливином, редко крупными (до 1 см) выделениями хромшпинелида. Титанистая группа включает желваки низкохромистого оранжевого граната и ильменита (трубка Зимняя) и пластинчатые кристаллы флогопита. Для кимберлитов поля характерно широкое развитие мощных келифитовых кайм вокруг граната из кимберлитового цемента и глубинных ксенолитов, сложенных флогопитом, шпинелью, орто- и клинопироксенами и некоторыми другими минералами. Относительно широко распространены здесь глубинные породы и мегакристы граната с признаками глубинного плавления (трубки Зимняя, Новинка, Комсомольская-Магнитная и Заполярная). Раскристаллизованные участки микропорций расплава в этих породах сложены орто- и клинопироксенами, хромшпинелидом, флогопитом, амфиболом, реже оливином. Более поздние фазы представлены серпентином, хлоритом и кальцитом. В целом характерно низкое содержание в кимберлитах ильменита (за исключением трубок Зимняя и 325 лет Якутии).

Для кимберлитовых пород ВМКП характерен специфический фазовый состав вторичных минералов, выражающийся наличием прожилков и жил брусита, гнезд и прожилков таумасита и хантита, а также повсеместных выделений пироаурита. Для пород поля отмечена высокая доля гранатов и хромшпинелидов алмазной ассоциации (кноррингитсодержащий гранат и высокохромистый хромшпинелид). Отмечен несколько необычный состав ксенолитов глубинных пород (резкое преобладание существенно оливиновых разновидностей, очень редкие находки эклогитов, пироксенитов и слюдистых типов пород), которые представлены нодулями деплетированной мантии. Возраст кимберлитов поля большинством исследователей принимается как среднепалеозойский по аналогии с возрастом кимберлитовых пород других центральных полей СП на том основании, что кимберлиты рвут осадочные породы нижнего палеозоя, а в трубках не обнаружены ксенолиты траппов. Более обоснованно о возрасте кимберлитов района можно судить по данным определения времени внедрения кимберлитов трубки 325 лет Якутии. По соотношению изотопов свинца и урана в цирконах получены

значения 443,2 и 440,2 млн лет, что не противоречит геологическим данным.

В региональном магнитном поле кимберлитовые тела ВМКП располагаются в бортовой части обширной отрицательной аномалии, обусловленной неоднородностью строения фундамента. На фоне плавно изменяющегося магнитного поля четко фиксируются аномалии, связанные с известными кимберлитовыми телами. Все кимберлитовые трубки, дайки и жилы были зафиксированы магнитной съемкой масштаба 1:5000, кроме диатремы Малая, которая оказалась расположенной между профилями съемки. Карбонатные породы нижнего палеозоя являются слабомагнитными, а поэтому трубки и создают аномалию магнитного поля, положительная направленность которых характерна для большинства диатрем. Преобладают трубки, имеющие дефицит плотности по сравнению с вмещающими породами. Все открытые кимберлитовые диатремы алмазоносны, однако наибольшая продуктивность установлена для трубок Заполярная, Новинка, Комсомольская-Магнитная и Поисковая. Среди алмазов этой территории преобладают (до 85%) мелкие кристаллы ($-1 + 0,5$ мм) при заметном количестве (до 25%) зерен размером $-2 + 1$ мм. По кристалломорфологии преобладают (40—75%) округлые алмазы; октаэдрические и переходные формы в сумме составляют 14—33%; остальная часть камней представлена обломками, сростками кристаллов и агрегатами. Исключением является трубка Новинка, в которой количество октаэдров и переходных форм в сумме превышает 40%. Бесцветные алмазы составляют более 60%, остальные окрашены преимущественно в дымчато- и лилово-коричневые тона; 50—65% камней содержат твердые включения (графит, сульфиды, реже гранат, оливин, хромит, омфаци и магнетит). До 65% кристаллов в той или иной степени трещиноваты. Абсолютное большинство алмазов обладает заметными признаками травления (шрамы, каверны и черепитчатые скульптуры). Около 40—50% алмазов — низкокачественные технические камни при доле ювелирных алмазов, редко превышающей 10—15%. В трубке Поисковая более 60% кристаллов являются безазотными.

В целом проведенными исследованиями установлено, что алмазы из кимберлитовых тел Верхнемунского поля характеризуются комплексом типоморфных особенностей, позволяющих отличать их от кристаллов из других коренных месторождений Якутии. В целом для трубки Заполярная основными типоморфными особенностями

алмазов являются резкое преобладание додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации, преимущественно с лилово-коричневой окраской, значительная часть которых с кавернами. Это сближает их с другими кимберлитовыми телами Верхнемунского кимберлитового поля (трубки Комсомольская-Магнитная, Новинка

и Поисковая) и отличает от алмазов из эксплуатируемых месторождений Далдыно-Алакитского, Малоботубинского и Средне-Мархинского алмазоносных районов. В то же время алмазы из трубок Заполярная, Новинка и Комсомольская-Магнитная по своим особенностям близки, но отличаются от таковых из трубки Поисковая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Рылов Г.М., Томиленко А.А., Горайнов С.В., Юрьева О.П., Сонин В.М., Чепуров А.И. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидности (по классификации Ю.Л. Орлова) // Вестник Воронежского ун-та. Геология. 2000. № 5 (10). С. 79—96.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минерогения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 90—96.
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361. № 3. С. 366—369.
4. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.Н. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т. 138. № 2. С. 1—13.
5. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. 2000. № 3 (9). С. 37—55.
6. Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. Воронеж: ВГУ, 2000. 161 с.
7. Егоров К.Н., Зинчук Н.Н., Мишенин С.Г., Серов В.П., Секерин А.П., Галенко В.П., Денисенко Е.П., Барышев А.С., Меньшагин Ю.В., Кошкарёв Д.А. Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы // Сб.: Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнительные материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный: МГТ. 2003. С. 50—84.
8. Зинчук Н.Н. Состав и генезис глинистых минералов в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1981. № 8. С. 22—29.
9. Зинчук Н.Н. Геолого-вещественные модели коренных месторождений алмазов в связи с прогнозно-поисковыми работами // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 19. Пермь: ПГНУ. 2016. С. 217—240.
10. Зинчук Н.Н. Характеристика породообразующих минералов кимберлитовых пород // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Вып. 20. Пермь: ПГНУ. 2017. С. 69—87.
11. Зинчук Н.Н. О древних источниках алмазов в россыпях // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018. № 4. С. 44—54.
12. Зинчук Н.Н. Особенности минералов слюд в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. 2018. № 2. С. 29—39.
13. Зинчук Н.Н. Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. 2021. № 2. С. 41—56.
14. Зинчук Н.Н. Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // Вестник Воронежского ун-та. Геология. 2021. № 3. С. 50—61.
15. Зинчук Н.Н. Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник Воронежского университета. Геология. 2021. № 4. С. 35—52.
16. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1998. № 2. С. 66—71.
17. Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // Руды и металлы. 2021. № 3. С. 59—75.
18. Зинчук Н.Н., Борис Е.И. О концентрации продуктов переотложения кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1981. № 8. С. 22—29.
19. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Стегницкий Ю.Б. Структурно-формационное и минерогеническое районирование территорий развития погребенных кор выветривания и продуктов их переотложения в алмазоносных регионах (на примере Якутской кимберлитовой провинции) // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 7. С. 950—964.
20. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б. Особенности минерогении алмаза в древних осадочных

- толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ, 2004. 172 с.
21. Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д. Стратегия ведения и результаты алмазопроисловых работ // Горный вестник. 1997. № 3. С. 53—57.
22. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. 1987. № 10. С. 66—72.
23. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Историческая минералогия в 3-х томах: Т. 1. Введение в историческую минералогия. Воронеж: ВГУ. 2005. 590 с.
24. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Историческая минералогия в 3-х томах: Т. 2. Историческая минералогия древних платформ. Воронеж: ВГУ. 2007. 570 с.
25. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Историческая минералогия в 3-х томах: Т. 3. Историческая минералогия подвижных суперпоясов. Воронеж: ВГУ. 2008. 622 с.
26. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1996. № 1. С. 53—61.
27. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1997. № 2. С. 53—63.
28. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2001. Т. 76. № 1. С. 45—53.
29. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия геология. 2003. № 2. С. 57—68.
30. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н., Кузьмин В.А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья 1. Механизм образования каолинита в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2006. № 5. С. 19—25.
31. Мацюк С.С., Зинчук Н.Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра, 2001. 428 с.
32. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.
33. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Зинчук Н.Н. Эпохи мощного корообразования в истории Земли. Воронеж: ВГУ. 1999. 102 с.
34. Харьков А.Д., Зуенко В.В., Зинчук Н.Н., Крючков А.И., Уханов А.В., Богатых М.М. Петрохимия кимберлитов. М.: Недра, 1991. 304 с.
35. Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. 1987. Т. 296. № 5. С. 1228—1233.
36. Afanas'ev V.P., Zinchuk N.N., Griffin V.L., Natapov L.M., Matuchyan G.A. Diamond prospects in the Southwestern flank of the Tungusk Syncline // Geology of ore Deposits. 2005. Т. 47. No. 1. P. 45—62.
37. Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian Platform // Earth Sciences. 2015. Vol. 465. No. 2. P. 1297—1301.
38. Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. 2001. Т. 9. No. 6. P. 576—588.
39. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Volkova N.I., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. 2002. Т. 76. No. 2. P. 93—112.
40. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Zinchuk N.N. On the Correlation between the Compositions of mantle Inclusions and Petrochemical Varieties of kimberlites in Yakutian Diatremes // Petrology. 2001. Т. 9. No. 6. P. 576—588.

REFERENCES

1. Afanasiev V.P., Yeliseev A.P., Nadolnny V.A., Zinchuk N.N., Koptil V.I., Pilov G.M., Tomilenko A.A., Goryanov S.V., Yurieva O.P., Sonin V.M., Chepurov A.I. Mineralogy and some issues of variety V and VII diamonds genesis (by classification of Y.L.Orlov) // Bulletin of Voronezh SU. Geology. 2000. № 5 (10). pp. 79—96 (In Russian).
2. Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N. Mineralogy of ancient placers of diamonds on the eastern side the Tunguska syncline // Geology and geophysics. 1987. No. 1. pp. 90—96 (In Russian).
3. Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Koptil' V.I. Poligines of diamonds in connection with the problem of primary placers of the north-east of the Siberian platform // Reports of the Academy of Sciences. 1998. Т. 361. No. 3. pp. 366—369 (In Russian).
4. Afanas'yev V.P., Zinchuk N.N., Logvinova A.N. Distribution features of placer diamonds associated with the Precambrian source // Notes of the Russian Mineralogical Society. 2009. Т. 138. No. 2. pp. 1—13 (In Russian).
5. Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznetsova L.G. Geodynamic control of kimberlite fields' allocation of central and northern part of Yakutian kimberlite province (petrochemical aspect) // Bulletin of Voronezh Un. Geol. Series. 2000. № 3 (9). pp. 37—55 (In Russian).
6. Dukardt Yu.A., Boris Ye.I. Avlacogenesis and kimberlite magmatism. Voronezh: VGU, 2000. 161 p. (In Russian).
7. Egorov K.N., Zinchuk N.N., Mishenin S.G., Serov V.P., Serkin A.P., Galenko V. {., Denisenko E.P., Baryshev A.S.,

- Men'shagin Y.V., Koshkarev D.A. Perspectives of primary and placer diamondiferousness of so-western part of the Siberian Platform // Collection: Geological aspects of the mineral resource base of the Joint Stock Company "ALROSA": current state, prospects, solution. Additional materials based on the results of the regional scientific and practical conference "Actual problems of the geological industry of AK "ALROSA" and scientific and methodological support of their solutions dedicated to the 35-th anniversary of YANIGP TsNIGRI AK "ALROSA". Mirny: MGT. 2003. pp. 50—84 (In Russian).
8. Zinchuk N.N. Composition and genesis of clay minerals in the Upper Paleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska syncline // *Geology and geophysics*. 1981. No. 8. pp. 22—29 (In Russian).
 9. Zinchuk N.N. Geological-material models of primary Diamond deposits in connection with forecast-prospecting works // *Problems of mineralogy, petrography and metalogeny*. Scientific collection of storage P.N.Tchirvinski. Series 19. Perm: PGNU. 2016. pp. 217—240 (In Russian).
 10. Zinchuk N.N. Specific Features of basic kimberlite mass composition // *Problems of mineralogy, petrography and metalogeny*. Scientific collection of storage P.N.Tchirvinski. Series 20. Perm: PGNU. 2017. pp. 69—87 (In Russian).
 11. Zinchuk N.N. About procamrian sources of diamonds placers // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2018. No. 4. pp. 44—54 (In Russian).
 12. Zinchuk N.N. Features of micaceous Formations in kimberlite // *Proceedings of Voronezh state university. Series: Geology*. 2018. No. 2. pp. 29—39.
 13. Zinchuk N.N. Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian platform // *Otechestvennaya geologiya*. 2021. No. 2. pp. 41—56 (In Russian).
 14. Zinchuk N.N. Precambrian sources of Diamonds in Phanerozoic placers // *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*. 2021. No. 3. pp. 50—61 (In Russian).
 15. Zinchuk N.N. Geological research in Prospecting for Diamond deposits // *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*. 2021. No. 4. pp. 35—52 (In Russian).
 16. Zinchuk N.N., Afanas'ev V.P. Genetic types and basic patterns of diamondiferous placer formation // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 1998. No. 2. pp. 66—71 (In Russian).
 17. Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. Diamond study features in forecasting and prospecting (Siberian platform) // *Ores and metals*. 2021. No. 3. pp. 59—75 (In Russian).
 18. Zinchuk N.N., Boris E.I. Concentration of Weathering crust redeposition products in the Upper Paleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska syncline // *Geology and geophysics*. 1981. No. 8. pp. 22—29 (In Russian).
 19. Zinchuk N.N., Boris Y.I., Stegnitsky Y.B. Structural-formational and mineragenetic zoning of the territory of buried crusts of weathering and products of their redeposition in diamondiferous regions (on the example of Yakutian kimberlite province) // *Geology and geophysics*. 1998. V.39. No. 7. pp. 956—964 (In Russian).
 20. Zinchuk N.N., Boris Ye.I., Yanygin Yu.B. Peculiarities of diamond mineralogeny in ancient sedimentary talits by the example of the upper Paleozoic Sediments the Siberian platform // Moscow: MGT, 2004. 172 p. (In Russian).
 21. Zinchuk N.N., Zuyev V.M., Koptil' V.I., Chornyy S.D. Diamond management strategy and results // *Mountain Herald*. 1997. No. 3. pp. 53—57 (In Russian).
 22. Zinchuk N.N., Mel'nik Yu.M., Serenko V.P. Apokimberlite rocks // *Geology and geophysics*. 1987. No. 10. pp. 66—72 (In Russian).
 23. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Istoricheskaja mineragenija. T. 1. Vvedenie v istoricheskiju minerageniju. Voronezh: VSU. 2005. 590p.
 24. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Istoricheskaja mineragenija. T. 2. Istoricheskaja mineragenija drevnih platform. Voronezh: VSU. 2007. 570 p.
 25. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Istoricheskaja mineragenija. T. 3. Istoricheskaja mineragenija podviznyh superpojasov. Voronezh: VSU. 2008. 622 p. (In Russian).
 26. Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Typomorphic features and paleogeographical significance of micaceous minerals // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 1996. No. 1. pp. 53—61 (In Russian).
 27. Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Features of Clay minerals in sediments of various sedimentary forms // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 1997. No. 2. pp. 53—63 (In Russian).
 28. Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Conditions for the accumulation and post-sedimentation transformation of clay minerals in sediments of terrigenous formations // *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Department of Geology*. 2001. T. 76. No. 1. pp. 45—53 (In Russian).
 29. Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. Anomalies of the general transformation of swellable clay minerals when the sediments containing them are immersed in the stratosphere // *Bulletin of the Voronezh State University. Geology Series*. 2003. No. 2. pp. 57—68 (In Russian).
 30. Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N., Kuz'min V.A. Morphogenetic varieties of kaolinite in weathering crusts and sedimentary cover of the earth. Mechanism of kaolinite formation in the weathering crusts of various petrochemical types of rocks // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2006. No. 5. pp. 19—25 (In Russian).
 31. Matsyuk S.S., Zinchuk N.N. Optical Spectroscopy of minerals of the upper mantle. Moscow: Nedra, 2001. 428 p. (In Russian).

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

32. Orlov Yu.L. Mineralogy of diamond. Moscow: Nauka, 1984. 264 p. (In Russian).
33. Savko A.D., Sheverev L.D., Zinchuk N.N. Epochs of powerful crust formation in the history of the Earth. Voronezh. VGU. 1999. 102 p. (In Russian).
34. Khar'kiv A.D., Zuyenko V.V., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Ukhonov A.V., Bogatykh M.M. Petrochemistry of kimberlites. Moscow: Nedra, 1991. 304 p. (In Russian).
35. Khitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D. Application of cluster-analysis for clearing out regularities of various composition rocks' weathering // Reports of the Academy of Sciences of the USSR. 1987. T. 296. No. 5. pp. 1228—1233 (In Russian).
36. Afanas'ev V.P., Zinchuk N.N., Griffin V.L., Natapov L.M., Matuchyan G.A. Diamond prospects in the Southwestern plunk of the Tungusk Sineklise // Geology of ore Deposits. 2005.T. 47. No. 1. pp. 45—62.
37. Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Sibirian Platform // Earth Sciences. 2015. Vol. 465. No. 2. pp. 1297—1301.
38. Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Sibirian Platform // Petrology. 2001. T. 9. No. 6. pp. 576—588.
39. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Volkova N.I., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. 2002. T. 76. No. 2. pp. 93—112.
40. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Zinchuk N.N. On the Correlation between the Compositions of mantle Inclusions and Petrochemical Varieties of kimberlites in Yakutian Diatremes // Petrology. 2001. T. 9. No. 6. P. 576—588.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

Зинчук Н.Н. — внес вклад в разработку концепции статьи, проводил исследования, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Коптиль В.И. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, проводил анализ результатов, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Nikolay N. Zinchuk — contributed to the development of the concept of the article, conducted research, 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.

Vasily I. Koptil — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, analyzed the experimental results, 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

Зинчук Николай Николаевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик АН РС (Я); председатель Западно-Якутского научного центра (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия).

5, ул. Тихонова, стр. 1, г. Мирный 678175, Якутия, Россия

e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

тел.: +7 (980) 663-01-86

SPIN-код: 8104-4799

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Nikolay N. Zinchuk* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Academician of the Academy of Sciences of the Sakha Republic (Yakutia); Chairman of the West Yakut Scientific Center of the Academy of Sciences of the Sakha Republic (Yakutia).

5, bld 1, Tikhonova str., Mirny 678175, Yakutiya, Russia

e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

tel.: +7 (980) 663-01-86

SPIN-code: 8104-4799

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9682-3022>

Коптиль Василий Иванович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ЗЯНЦ АН РС (Я).

5, ул. Тихонова, стр. 1, г. Мирный 678175, Якутия, Россия

e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

тел.: +7 (980) 663-01-86

Vasily I. Koptil — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Leading researcher of the West Yakut Scientific Center of the Academy of Sciences of the Sakha Republic (Yakutia). 5, bld. 1, Tikhonova str., Mirny 678175, Yakutiya, Russia

e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

tel.: +7 (980) 663-01-86

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЭОЦЕН-ПАЛЕОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БАСЕЙНОВОГО АНАЛИЗА И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.В. ВЯТКИНА^{1,*}, Е.А. ЛАВРЕНОВА¹, М.С. ЛЕВИЦКАЯ², У.С. СЕРИКОВА¹

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

² ООО «ТНГ-Групп»
21, ул. Ворошилова, г. Бугульма 423236, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются вопросы формирования углеводородного потенциала палеоцен-эоценовой части осадочного чехла Черноморско-Каспийского региона.

Цель. Оценка перспектив нефтегазоносности палеоцен-эоценового нефтегазоносного комплекса.

Материалы и методы. Комплексный анализ результатов опубликованных геолого-геофизических и геохимических исследований, формирование базы данных с использованием геоинформационных систем, бассейновый анализ с позиций концепции генерационно-аккумуляционных углеводородных систем, включая палеогеографические реконструкции, построение сводных карт, формирование входных данных и численное геологическое моделирование с использованием специализированных программных комплексов.

Результаты. Выделены и изучены самостоятельные генерационно-аккумуляционные углеводородные системы в палеоцен-эоценовой части осадочного разреза. С учетом проведенной оценки геологических рисков выделены перспективные районы, определены новые направления поисков и даны рекомендации для дальнейших ГРП.

Ключевые слова: Черноморско-Каспийский регион, кумская свита, ГАУС, численное бассейновое моделирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № АААА-А20-120092590017-4.

Для цитирования: Вяткина Е.В., Лавренова Е.А., Левицкая М.С., Серикова У.С. Перспективы нефтегазоносности эоцен-палеоценовых отложений Черноморско-Каспийского региона по результатам бассейнового анализа и численного моделирования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):43—54. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-43-54>

Статья поступила в редакцию 28.12.2022

Принята к публикации 14.03.2023

Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

OIL AND GAS POTENTIAL OF THE EOCENE-PALEOCENE DEPOSITS OF THE BLACK SEA-CASPIAN REGION BASED ON BASIN ANALYSIS AND BM&PSM MODELING

ELIZAVETA V. VYATKINA^{1,*}, ELENA A. LAVRENOVA¹, MARIA S. LEVITSKAYA², ULYANA S. SERIKOVA¹

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

² *ООО "TNG-Group"
21, Voroshilova str., Bugulma 423236, Russia*

ABSTRACT

Background. Issues associated with the investigation of hydrocarbon prospects of the Paleocene-Eocene section of the sedimentary cover in the Black Sea-Caspian region are considered.

Aim. Assessment of the oil and gas potential of the Paleocene-Eocene deposits under consideration.

Materials and methods. A comprehensive basin analysis concerning petroleum system concepts based on published geological, geophysical and geochemical data, as well as paleogeographic reconstructions, geological mapping and database creation with subsequent BM&PSM accomplishment.

Results. The identified and examined substantive Paleocene-Eocene petroleum systems were assessed in terms of geological risks with the purpose of recognizing the most promising areas for further exploration.

Keywords: Black Sea-Caspian region, Kuma formation, petroleum systems elements, numerical basin and petroleum system modeling

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest

Financial disclosure: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. AAAA-A20-120092590017-4.

For citation: Vyatkina E.V., Lavrenova E.A., Levitskaya M.S., Serikova U.S. Oil and gas potential of the eocene-paleocene deposits of the Black Sea-Caspian region based on basin analysis and bm&psm modeling. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):43—54. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-43-54>

Manuscript received 28 December 2022

Accepted 14 March 2023

Published 31 March 2023

* Corresponding author

Введение

Эоцен-палеоценовые отложения являются продуктивными на всей территории Черноморско-Каспийского региона, от Крымского сектора Черного моря до западного побережья Каспия (рис. 1). Залежи нефти и газа установлены в составе однопластовых и многопластовых месторождений. В пределах территории исследования многопластовые месторождения приурочены к тектонически активным зонам (складчатым бортам Терско-Каспийского и Индоло-Кубанского прогибов, бортовым зонам Каркинитского грабена), где залежи обнаружены также и в более древних отложениях.

Изучению условий формирования и перспектив нефтегазоносности палеоцен-эоценовых отложений Черноморско-Каспийского региона посвящены работы М.С. Буршара, Н.В. Клавдиевой, Л.Р. Дистановой и О.О. Лукановой и др. [2, 3, 6, 8]. Однако проведенные исследования охватывали лишь отдельные территории Западного и Восточного Предкавказья и выполнялись в отсутствие полноценной региональной основы — бассейнового анализа с установлением границ бассейнов и палеогеографическими реконструкциями для всего изучаемого региона. Это не позволило в полной мере изучить закономерности размещения

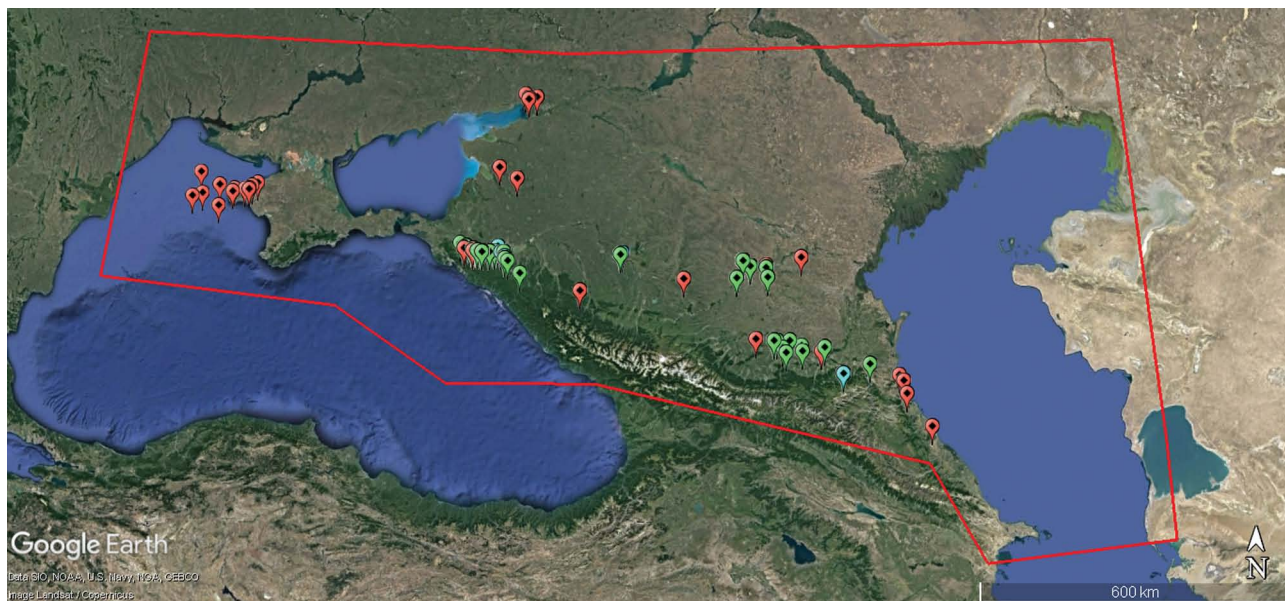


Рис. 1. Обзорная схема области исследования в пределах Черноморско-Каспийского региона

Fig. 1. Geographic setting of the studied area in the Black Sea-Caspian region vicinity

скоплений УВ и условия формирования углеводородного потенциала палеогеновой части осадочного чехла. Вопросы источника углеводородов палеоцен-эоценовых залежей по-прежнему остаются слабо изученными.

Сложившаяся ситуация не позволяет адекватно оценить перспективы изучаемого нефтегазоносного комплекса и тормозит его дальнейшее вовлечение в разработку.

Для преодоления указанных проблем в рамках настоящего исследования выполнено обобщение и комплексный анализ опубликованной и фоновой геолого-геофизической и геохимической информации в рамках подготовки региональной основы для бассейнового анализа, изучения и моделирования углеводородных систем палеоцен-эоценовых отложений.

Характеристика объекта исследования

Область исследования охватывает территории Крыма, Предкавказья и сопредельные части акваторий Черного, Азовского и Каспийского морей (рис. 1).

В структурно-тектоническом отношении изучаемая территория включает Скифскую и Туранскую плиты, ограниченные с севера древней Восточно-Европейской платформой, а на юге граничащие с горно-складчатыми сооружениями Крыма и Кавказа, Терско-Каспийским прогибом. Южная часть области исследования, расположенная в акватории Черного моря, принадлежит

Черноморско-Южно-Каспийской системе прогибов [4, 9].

С точки зрения нефтегазогеологического районирования Черноморско-Каспийский регион входит в состав Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакской НГП, в пределах которой выделяются восемь нефтегазоносных областей: Причерноморско-Крымская, Индо-Кубанская, Западно-Предкавказская, Центрально-Предкавказская, Кряжа Карпинского, Терско-Каспийская, Южно-Мангышлакская, Центрально-Каспийская.

Изучаемый палеоцен-эоценовый комплекс сложен терригенно-карбонатными образованиями и входит в состав плитного чехла [7].

Опираясь на результаты изучения вещественного состава отложений в скважинах и обнажениях с учетом распределения мощностей палеоцен-эоценовых отложений в пределах изучаемой территории, в рамках настоящего исследования были реконструированы палеогеографические условия формирования палеоцен-эоценовых бассейнов (рис. 2).

С конца мела и в палеоцен-эоценовое время на территории исследования развивалась трансгрессия. На большей части территории существовали морские условия. Островная суша существовала в Крыму, на Кавказе, в центральной части Азовского моря. Континентальные условия были развиты, по всей видимости, и в северо-восточной части акватории Каспия (рис. 2). На фоне относительно мелководных обстановок

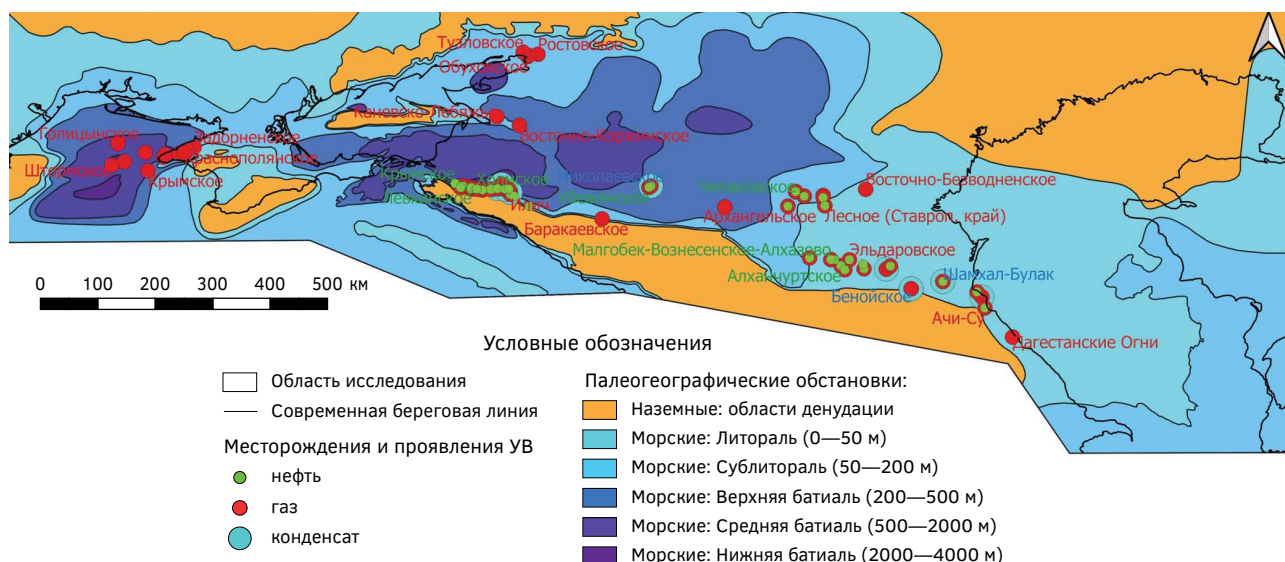


Рис. 2. Палеогеография Черноморско-Каспийского региона на конец эоцена
Fig. 2. Late Eocene paleogeographic conditions of the Black Sea-Caspian region

литорали и sublittorali выделяются отдельные глубоководные области, расположенные в пределах Каркинитского прогиба Черного моря, к западу от Крымского полуострова, а также в Западном и Центральном Предкавказье.

Интенсивное прогибание в Каркинитском прогибе связано с пострифтовым погружением бассейна, рифтогенез в котором, по данным А.М. Никишина, развивался на рубеже раннего и позднего мела [1]. Высокие скорости осадконакопления обусловили формирование отложений мощностью более 2000 м. Породы палеоцена-эоцена здесь представлены чередованием глин, мергелей и глинистых известняков.

Высокие скорости осадконакопления отмечаются в области развития серии глубоководных бассейнов в Западном Предкавказье. В погружение были вовлечены Керченско-Таманский, Индоло-Кубанский, Восточно-Кубанский прогибы, а также Ставропольский свод. Следует отметить, что период палеоцена-эоцена — единственное время мезозойско-кайнозойской истории региона, когда территория Ставропольского свода испытывала погружение. Высокие скорости погружения в Западном Предкавказье в сочетании с большими объемами поставляемого с севера осадочного материала обусловили формирование мощной клиноформной толщи палеоцена-эоцена, которая представлена здесь чередованием тонко и грубозернистых преимущественно терригенных отложений.

Восточное Предкавказье и сопредельные территории Каспия в период палеоцена-эоцена разви-

вались иначе. Низкие скорости осадконакопления, мелководные, спокойные гидродинамические обстановки способствовали накоплению преимущественно карбонатных отложений небольшой мощности. Установленные по результатам выполненных палеогеографических реконструкций различия в палеоцен-эоценовой истории Западного и Восточного Предкавказья согласуются с выводами, полученными Дистановой [3], которая изучала характер погружения территории на основании серии одномерных моделей, построенных по скважинным данным.

Таким образом, с точки зрения палеогеографии в период палеоцена-эоцена в пределах Черноморско-Каспийского региона можно выделить три различающиеся области: Каркинитско-Крымскую терригенно-карбонатного осадконакопления, связанного с пострифтовым Каркинитским бассейном, Западно-Кавказскую — преимущественно терригенного относительно глубоководного осадконакопления, связанного с серией глубоководных прогибов и Каспийско-Восточно-Кавказскую — мелководного преимущественно карбонатного осадконакопления. Несмотря на выявленную дифференциацию, в среднем эоцене на всей территории Черноморско-Каспийского региона накапливается выдержанная по мощности (около 20—70 м) и составу однообразная толща битуминозных сланцев мергельно-известкового состава — кумская свита [3, 8, 11]. Отложения свиты накапливались в восстановительных обстановках и повсеместно

содержат рыбные остатки. По-видимому, формирование этих отложений контролировалось не локальными или региональными факторами, а глобальными климатическими событиями на планете, происходившими с конца палеоцена и в эоцене: палеоцен-эоценовый климатический максимум, эоценовый температурный оптимум и последующее похолодание.

Материалы и методы исследования

Основу фактического материала, использованного в процессе настоящего исследования, составили опубликованные и фондовые данные, а также геологические карты и материалы Государственного баланса запасов, которые систематизировались, оцифровывались и приводились к единым форматам. Далее осуществлялся их анализ, обработка и формирование баз данных признаков нефтегазоносности, литологического состава пород и геохимических характеристик органического вещества палеоцен-эоценовых отложений. Затем собранная информация использовалась в процессе проведения бассейнового анализа в аспекте концепции ГАУС и для подготовки входных данных для моделирования. По результатам бассейнового анализа выполнены палеогеографические реконструкции (рис. 2), которые позволили выделить элементы углеводородных систем в палеоцен-эоценовой части осадочного чехла.

Кумская НГМТ (нефтегазоматеринская толща), характеризующаяся хорошим генерационным потенциалом, которой подтвержден многочисленными геохимическими исследованиями [3, 8], располагается стратиграфически выше палео-

цен-эоценовых резервуаров, что в общем случае не очень удачно для формирования ГАУС, т.к. углеводороды мигрируют вверх по разрезу. Однако особенности тектонического развития осадочного бассейна, включающего ГАУС, могут привести к определенному структурному взаиморасположению НГМТ и резервуара, когда миграция УВ происходит из более молодой НГМТ в более древние резервуары. При таком структурном соотношении НГМТ одновременно является и флюидоупором для нижележащих резервуаров.

Для выполнения численного моделирования на основании результатов геохимических исследований, выполненных Дистановой, Лукановой, Пешковым и др. [3, 8, 12], и проведенных в рамках настоящего исследования палеогеографических реконструкций была подготовлена карта распределения органического углерода и водородного индекса кумской свиты эоцена (рис. 3).

В результате проведенного анализа и обобщения в составе кумской свиты выделены и закартированы три фациальных типа НГМТ: терригенная, карбонатная и переходная, различающиеся содержанием органического углерода и значениями водородного индекса. Было установлено, что распределение выявленных фациальных типов кумской НГМТ не контролируется палеогеографическими условиями их накопления.

Карта резервуарной толщи построена на основании опубликованных материалов и собранной базы данных литологического состава пород. Она отражает существенные различия в обстановках осадконакопления палеогеновых отложений в северной-северо-западной, где в условиях

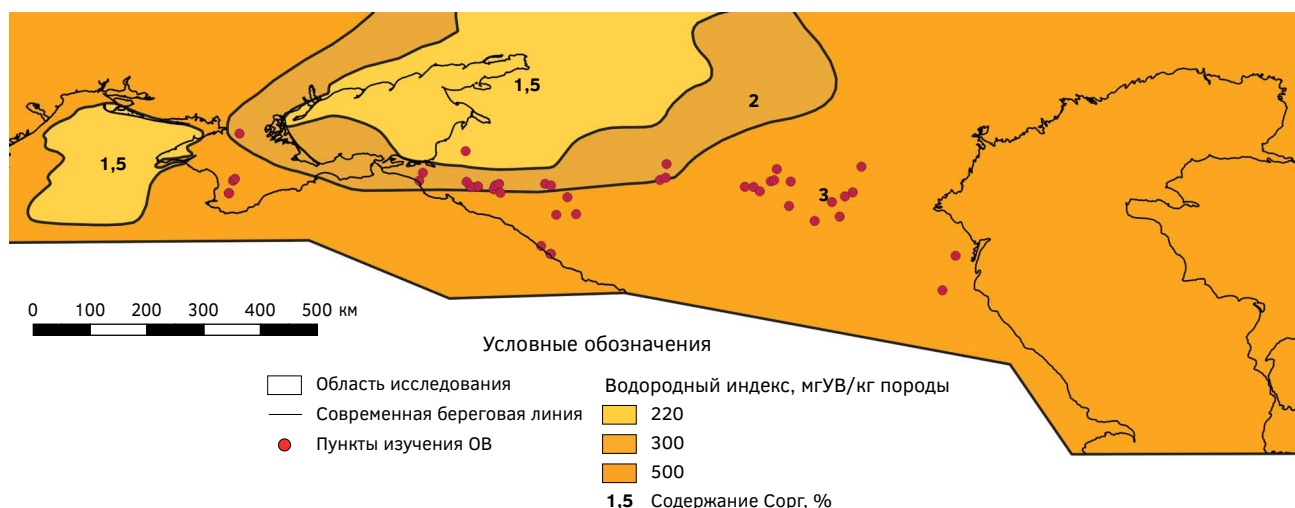


Рис. 3. Карта распространения нефтегазоматеринских свойств палеогеновых отложений (кумская свита)

Fig. 3. Source rock map, showing distribution and quality Paleogene deposits (Kumskaya formation)

прогибания и относительно высоких скоростей осадконакопления формировались терригенные, часто клиноформные отложения, и южной-юго-восточной частях изучаемой территории с низкими, в основном, скоростями и формированием карбонатных осадков.

Для формирования структурного каркаса основных осадочных комплексов плитного чехла использованы региональные построения [9, 10].

Результаты моделирования углеводородных систем

На основании результатов выполненного численного моделирования выделены две вероятные эоцен-палеоценовые ГАУС с кумской НГМТ, которые располагаются на территории Западного Предкавказья: Индоло-Кубанская и Восточно-Кубанская (рис. 4). Несмотря на наличие крупных очагов генерации, расположенных в Терско-Каспийском, Керченско-Таманском, Туапсинском прогибах, эоцен-палеоценовые ГАУС с кумской НГМТ не были сформированы. Это обусловлено, главным образом, отсутствием резервуаров в составе карбонатных отложений палеоцена-эоцена в пределах этих территорий. Резервуары гранулярного типа развиты в пределах Восточно-Ставропольской впадины. Тем не менее углеводородная система здесь также не сформирована из-за развития кумской НГМТ в карбонатной фации. В целом, карбонатные НГМТ прочнее удерживают

углеводороды по сравнению с глинистыми, особенно на ранних этапах генерации. Кроме этого, с учетом современных РВТ условий, давления флюида, очевидно, недостаточно, чтобы обеспечить миграцию УВ в стратиграфически более молодой резервуар.

Зрелость ОВ (органического вещества) в очагах выделенных ГАУС соответствует главной зоне генерации нефти за исключением западной части Индоло-Кубанского прогиба, где уровень зрелости органического вещества соответствует стадии преимущественной генерации газа. В наиболее погруженной части Индоло-Кубанского прогиба НГМТ истощена.

В соответствии с установленными геохимическими характеристиками и уровнем зрелости в углеводородных системах прогнозируются преимущественно газонефтяные скопления углеводородов с различным соотношением жидких и газообразных УВ.

Графики геологических событий вероятных эоцен-палеоценовых ГАУС с кумской НГМТ приведены на рисунке 5. Для обеих углеводородных систем временное соотношение периодов генерации-миграции-аккумуляции и критического момента благоприятно.

Обе ГАУС принадлежат осадочным бассейнам, испытывавшим устойчивое последовательное погружение в течение всей эволюции — с юрского по настоящее время. Наиболее высокие скорости

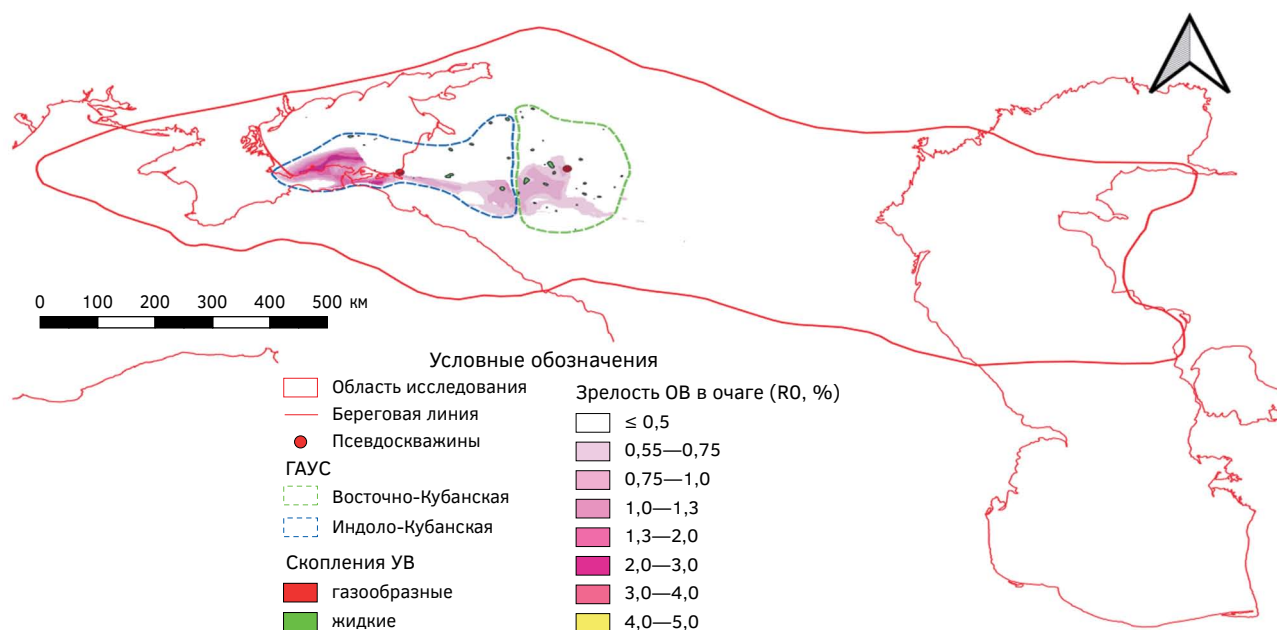


Рис. 4. Карта эоцен-палеоценовых ГАУС с кумской НГМТ
Fig. 4. Eocene-Paleocene petroleum systems map

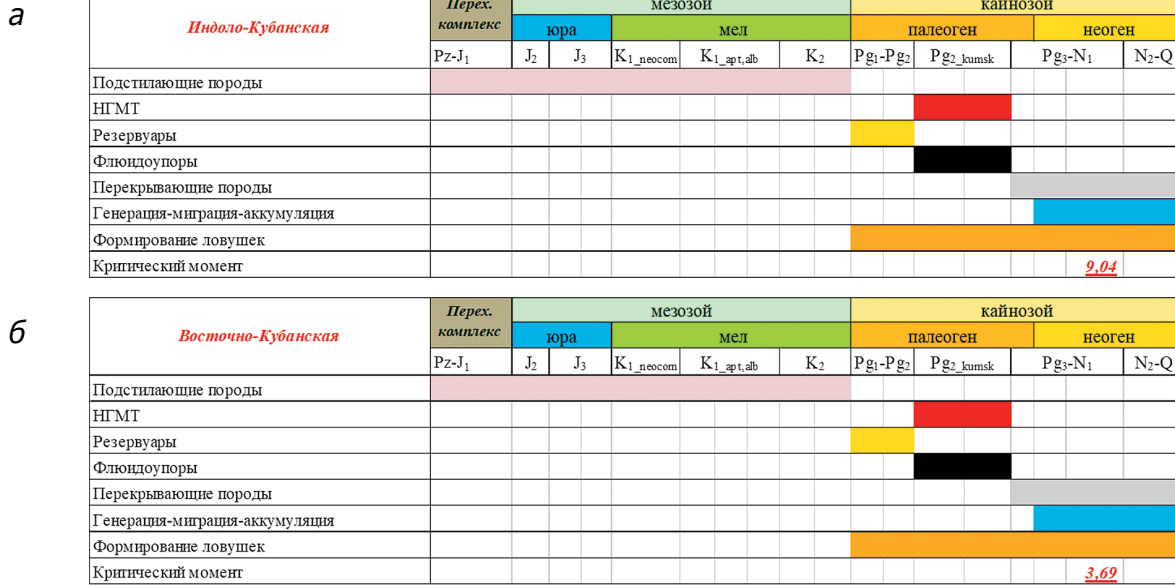


Рис. 5. Графики геологических событий эоцен-палеоценовых ГАУС с кумской НГМТ

Fig. 5. Eocene-Paleocene petroleum system event chart

погружения соотносятся с периодом с майкопа по плиоцен. При этом скорости погружения в Индо-Кубанском бассейне выше, чем в Восточно-Кубанском. Кумская НГМТ Индо-Кубанской вероятной ГАУС вошла в нефтяное окно уже к началу неогена, Восточно-Кубанской — только во второй половине неогена, что отразилось на процессах генерации и эмиграции УВ, которые в Восточно-Кубанской углеводородной системе начались позже, чем в Индо-Кубанской.

Аккумуляция углеводородов в системах началась примерно в одно время: во второй половине неогена. В плиоцене в пределах области распространения Восточно-Кубанской ГАУС произошли тектонические события, которые привели к изменениям структурных планов и разрушению части сформированных ранее скоплений, однако основной накопленный потенциал сохранился.

Обсуждение результатов

В Западном Предкавказье большинство выявленных месторождений расположены в границах выявленных эоцен-палеогеновых ГАУС (рис. 6). Фактические и прогнозные скопления УВ хорошо согласуются как в части расположения, так и в части типа флюида. Генетическая связь месторождений, расположенных в пределах Индо-Кубанской ГАУС доказана Дистановой [3] в результате изучения геохимических характеристик ОВ и нефтей из этой зоны. В связи

с изложенным эоцен-палеогеновую Индо-Кубанскую ГАУС можно отнести к доказанным (!). Газовые месторождения, расположенные на восточном побережье Азовского моря и в Каркинитском заливе, сформированы за счет другого, не эоценового источника. Для установления их генезиса требуются дополнительные исследования.

Как уже отмечалось ранее, в Восточном Предкавказье в основном отсутствуют гранулярные коллекторы, способные обеспечить латеральную миграцию УВ, что обусловило отсутствие на этой территории классической (традиционной) ГАУС в палеоцен-эоценовом комплексе, несмотря на наличие высокопродуктивной зрелой кумской НГМТ. Все выявленные месторождения связаны с локально расположенными коллекторами трещинного типа в глинисто-карбонатных породах [8] (рис. 6).

Месторождения углеводородов сосредоточены в двух вытянутых зонах. Одна из них расположена вдоль южного складчатого борта Терско-Каспийского прогиба, где палеоген продуктивен в составе многопластовых месторождений (месторождения Ахловское, Эльдаровское, Брагунское и др.). В этой зоне, вероятно, существует несколько источников УВ для залежей как за счет нескольких эффективных НГМТ в разрезе, так и за счет перетоков из нижележащих залежей. Этому предположению не противоречат результаты, полученные Яндарбиевым с соавт. [13]. Изучая биомаркерные показатели нефтей и битумоидов, авторы

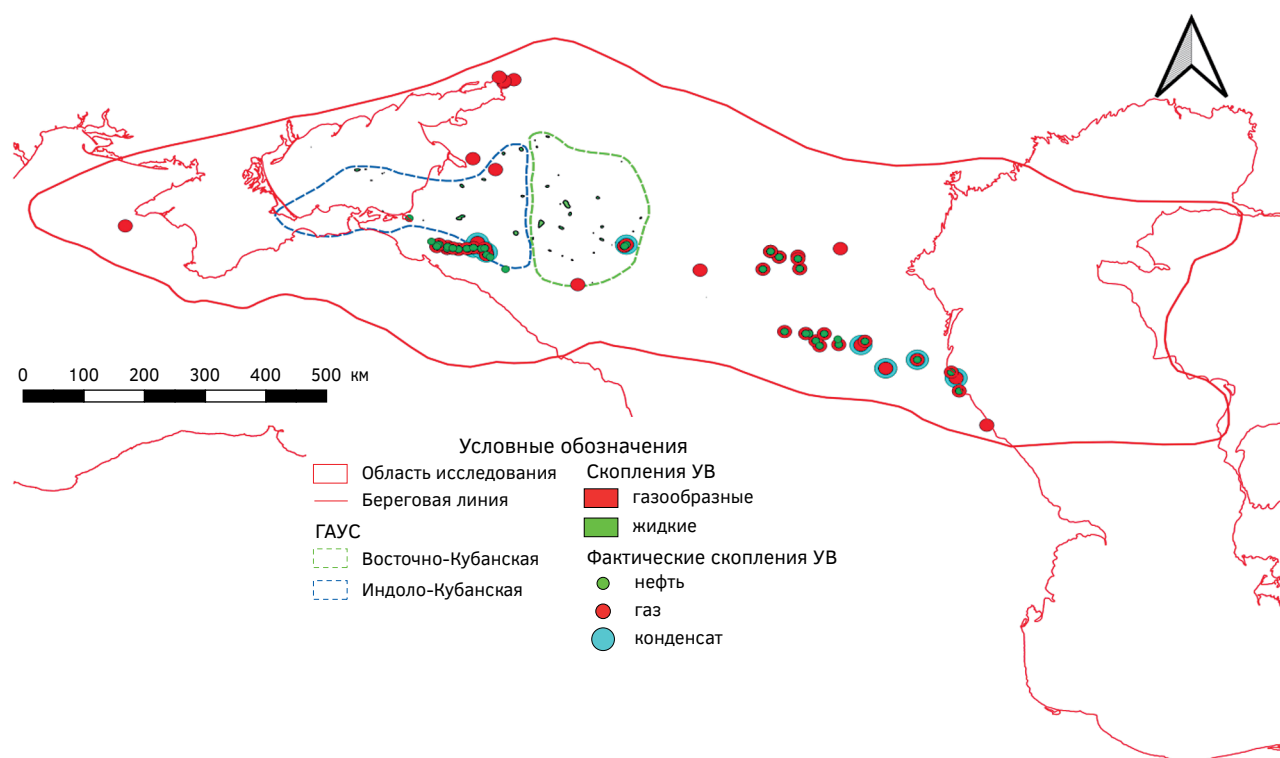


Рис. 6. Сопоставление фактической и прогнозной локализации скоплений УВ и типа флюида палеоцен-эоценовых отложений

Fig. 6. Established oil and gas manifestations vs predicted HC accumulations based on BM&PSM

указывают на обнаруженные черты сходства хадумского битумоида с меловыми, палеогеновыми и даже неогеновыми нефтями, но в итоге приходят к выводу о том, что «...скорее всего, мы имеем дело со сложной природной смесью УВ из различных источников, претерпевшей значительные изменения в процессе сложной геологической истории региона...» [13].

Вторая зона расположена вдоль региональной линии выклинивания карбонатных пород палеоцена-эоцена (месторождения Чапаковское, Ачикулакское, Прасковейское, Лесное и др.). Развитие залежей УВ в палеоцен-эоценовых отложениях здесь контролируется зональным характером распространения пород-коллекторов и зон трещиноватости (где развиты в основном горизонтальные трещины). Залежи нефти, как правило, не связаны с гипсометрическим положением структур, хотя и приурочены к наиболее крупным и тектонически осложненным поднятиям. Например, на Прасковейской площади наиболее трещиноватые породы располагаются не на современном своде структуры, а на ее юго-восточной периклинали. Породами-коллекторами являются тонколистоватые глины и аргиллиты

карапагинско-черкесского возраста (Прасковейская площадь), приуроченные к участкам внутриформационного разуплотнения пород, а также трещиноватые мергели и глинистые известняки верхнеэоценового возраста, связанные с надразломными зонами, характеризующимися наиболее благоприятными условиями для образования трещинных коллекторов [8]. Анализ геохимических данных позволил Лукановой сделать вывод о палеогеновом (кумском) источнике УВ этих залежей. По данным Лукановой, все выявленные залежи нефти в палеоцен-эоценовых отложениях описываемой зоны характеризуются небольшими размерами, низкой продуктивностью и непостоянством дебита, во многом обусловленном неоднородностью пород-коллекторов, что подтверждается результатами испытания скважин. Такая картина, по нашему мнению, свидетельствует о наличии в этой зоне нетрадиционной углеводородной системы в кумских отложениях.

Перспективные объекты антиклинального типа выделены только на территории Восточного Предкавказья (рис. 7). Четыре объекта с предполагаемыми коллекторами гранулярного типа, выявлены в пределах Кряжа Карпинского. Вероятность их

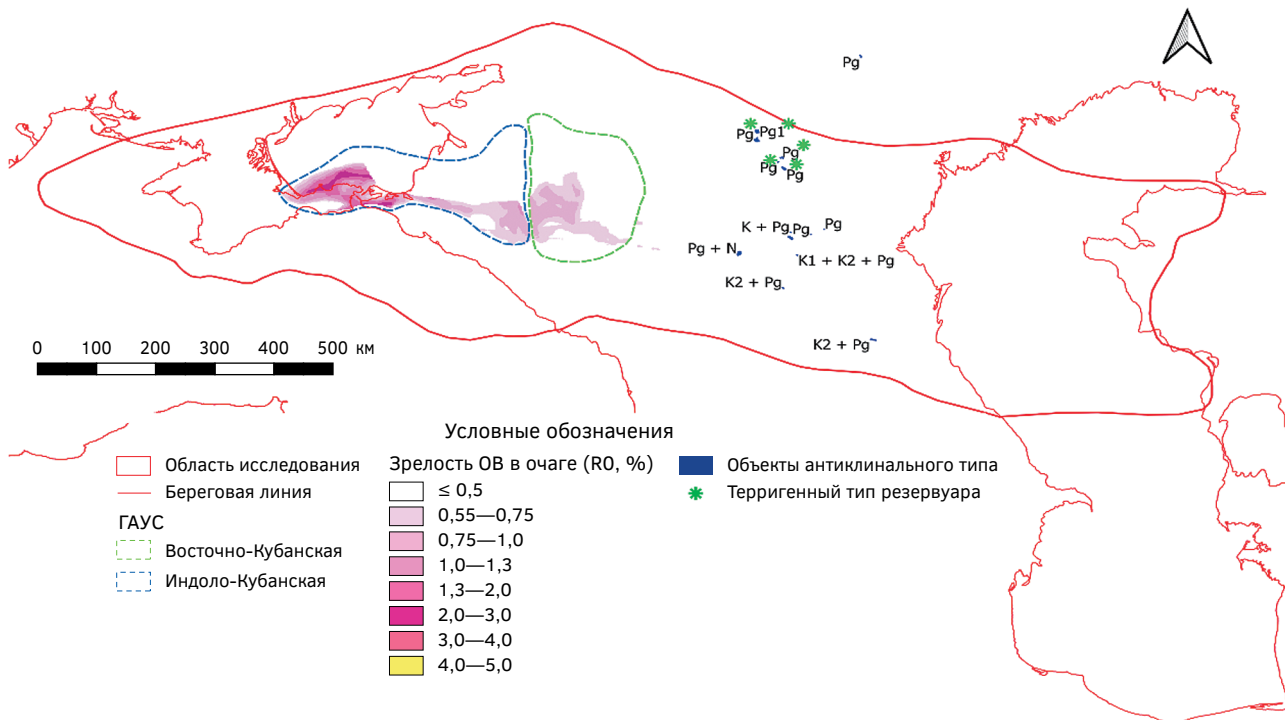


Рис. 7. Прогноз заполняемости перспективных объектов антиклинального и стратиграфического типа
Fig. 7. Charging risk assessment for anticline and stratigraphic prospects

заполнения связана с высокими рисками и возможна только в случае, если они принадлежат одной из нижележащих ГАУС в качестве дополнительного резервуара, что требует дополнительного изучения.

Остальные перспективные объекты расположены в пределах Западно-Прикаспийской синеклизы. На основании комплексного бассейнового анализа и результатов моделирования ГАУС для этих объектов прогнозируется высокий риск наличия коллекторов, способных обеспечить промышленные притоки УВ. С учетом предполагаемого развития в этой области нетрадиционного источника УВ в кумской свите освоение мелких объектов антиклинального типа представляется нецелесообразным. Для оценки углеводородного потенциала кумской свиты как источника нетрадиционных УВ необходимы дальнейшие исследования, включая численное моделирование по специальной методике [5].

Заключение

В рамках настоящего исследования впервые для Черноморско-Каспийского региона изучены с позиции концепции ГАУС закономерности размещения скоплений УВ и условия формирования углеводородного потенциала палеогеновой части осадочного чехла.

В результате проведенного моделирования подтверждена гипотеза о существовании самостоятельной ГАУС в отложениях палеоцен-эоцена с кумской НГМТ. Показано, что две традиционные ГАУС (доказанная Индо-Кубанская (!) и вероятная Восточно-Кубанская (..)) существуют только в Западном Предкавказье. С этими углеводородными системами связан существенный углеводородный потенциал, который сосредоточен в стратиграфических ловушках клиноформного комплекса. Дальнейшие геологические исследования необходимо направить на выявление, картирование и оценку потенциала этих перспективных объектов неантиклинального типа, которые, судя по имеющейся геофизической информации, расположены в центральных и северных областях ГАУС и представляют собой новые, не изучавшиеся ранее зоны накопления УВ. С учетом полученной оценки геологических рисков эоцен-палеогеновая Индо-Кубанская ГАУС (!) является первоочередным объектом для дальнейшего изучения в этом направлении.

В Восточном Предкавказье прогнозируется развитие нетрадиционной ГАУС в кумских отложениях эоцена. Оценка их углеводородного потенциала требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н.* Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М.: Научный мир, 2007. 172 с.
2. *Бурштар М.С.* Основы теории формирования залежей нефти и газа. М.: Недра, 1973.
3. *Дистанова Л.Р.* Геохимия органического вещества эоценовых отложений: на примере кумской свиты Крымско-Кавказского региона: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2007.
4. *Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Круглякова М.В., Горбунов А.А.* Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и западного побережья Азовского моря // Нефтяное хозяйство. 2014. № 9. С. 66—70.
5. *Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Зайцев В.А.* Оценка вторичных фильтрационных параметров низкопроницаемых сланцевых толщ майкопской серии центрального и восточного Предкавказья по результатам геомеханического моделирования // Нефтяное хозяйство. 2016. № 9. С. 18—21.
6. *Клавдиева Н.В.* Тектоническое погружение в Предкавказских краевых прогибах в кайнозое: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2007.
7. *Лавренова Е.А.* Результаты бассейнового моделирования восточной части Азовского моря // Геология нефти и газа. 2009. № 4. С. 47—54.
8. *Луканова О.О.* Геолого-геохимические условия нефтегазоносности палеоцен-эоценовых отложений Центрального и Восточного Предкавказья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Краснодар, 2011. 168 с.
9. *Мустаев Р.Н.* Структурно-геодинамические и углеводородные системы Черноморско-Каспийского региона: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2022. 291 с.
10. *Исмаилов Д.Д., Серов С.Г., Мустаев Р.Н., Петров А.В.* Условия нефтегазообразования на территории восточного и центрального Предкавказья // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 6. С. 63—72.
11. *Патина И.С.* Геологическое строение майкопских отложений Каспийского сектора восточного Паратетиса по результатам сейсмостратиграфических исследований: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2013. 123 с. EDN SVANKX
12. *Пешков Г.А., Барабанов Н.Н., Большакова М.А. и др.* Нефтегазоматеринский потенциал кумских отложений в Бахчисарайском районе Крыма // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016. № 2. С. 46—53.
13. *Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В., Фадеева Н.П., Крылов О.В., Наумчев Ю.В.* Геохимия углеводородов Терско-Каспийского прогиба // Георесурсы. 2017. № 5. С. 227—239.

REFERENCES

1. Afanasenkov A.P., Nikishin A.M., Obukhov A.N. Geological structure and hydrocarbon potential of the Eastern Black Sea region. Moscow: Scientific World, 2007. 172 p. (In Russian).
2. Burshtar M.S. Fundamentals of the theory of formation of oil and gas deposits. Moscow: Nedra, 1973.
3. Distanova L.R. Geochemistry of organic matter of Eocene deposits: on the example of the Kuma formation of the Crimean-Caucasian region: Cand. geol.-min. sci. diss.. Moscow, 2007 (In Russian).
4. Kerimov V. Yu., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V., Gorbunov A.A. Oil and gas prospects of Crimea and west part of Azov sea // Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2014. № 9. pp. 66—70 (In Russian).
5. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Zaitsev V.A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of central and eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling // Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2016. № 9. pp. 18—21 (In Russian).
6. Klavdieva N.V. Tectonic immersion in the Precaucasian marginal deflections in the Cenozoic: Cand. geol.-min. sci. diss. Moscow, 2007 (In Russian).
7. Lavrenova E.A. Results of basin modeling of eastern part of Azov sea // Geologia nefi i gaza. 2009. № 4. pp. 47—54 (In Russian).
8. Lukanova O.O. Geological and geochemical conditions of oil and gas content of Paleocene-Eocene deposits of Central and Eastern Pre-Caucasus: Cand. geol.-min. sci. diss. Krasnodar, 2011. 168 p. (In Russian).
9. Mustaev R.N. Structural-geodynamic and hydrocarbon systems of the Black Sea-Caspian region: Dr. geol.-min. sci. diss. Moscow, 2022. 291 p. (In Russian).
10. Ismailov D.D., Serov S.G., Mustaev R.N., Petrov A.V. Conditions of oil and gas formation in the territory of the eastern and central Ciscaucasia // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2019. № 6. pp. 63—72 (In Russian).
11. Patina I.S. Geological structure of the Maikop deposits of the Caspian sector of the Eastern Paratetis according to the results of seismostratigraphic studies: Cand. geol.-min. sci. diss. Moscow, 2013. 123 p. EDN SVANKX (In Russian).
12. Peshkov G.A., Barabanov N.N., Bolshakova M.A. and others. Oil and gas mining potential of the Kuma deposits in the Bakhchisarai region of Crimea // Bulletin of Moscow State University. 2016 No. 2. p. 46—53 (In Russian).
13. Yandarbiev N.Sh., Kozlova E.V., Fadeeva N.P., Krylov O.V., Naumchev Yu.V. Geochemistry of hydrocarbons of the Tersko-Caspian trough // Georesources. 2017. No. 5. P. 227—239 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Вяткина Е.В. — внесла основной вклад при выполнении исследования (сбор материалов, формирование базы данных, палеогеографические реконструкции, подготовка входных данных и анализ результатов моделирования), подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Лавренова Е.А. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Левицкая М.С. — внесла основной вклад в создание регионального каркаса модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Серикова У.С. — присоединилась к подготовке текста статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Elizaveta V. Vyatkina — has prepared the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena A. Lavrenova — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Maria S. Levitskaya — contributed to the work during the construction of the regional framework of the model and agrees to take responsibility for all aspects of the work

Ulyana S. Serikova — joined the preparation of the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Вяткина Елизавета Викторовна* — студентка 5-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: liza.vyatkina.2000@mail.ru

Тел.: +7 (912) 590-27-12

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9023-4392>

Elizaveta V. Vyatkina* — student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: liza.vyatkina.2000@mail.ru

tel.: +7 (912) 590-27-12

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9023-4392>

Лавренова Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; генеральный директор ООО АСАП «Сервис», отдел нефтегазовой геологии и бассейнового моделирования.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия

e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

тел.: +7 (903) 452-45-94

SPIN-код: 1859-8634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Elena A. Lavrenova — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, General Director of ASAP Service LLC, Department of Oil and Gas Geology and Basin Modeling.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
39, Krasnogvardeyskaya str., Gelendzhik 353460, Russia

e-mail: lavrenovaelena@mail.ru

tel.: +7 (903) 452-45-94

SPIN-code: 1859-8634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

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

Левицкая Мария Сергеевна — руководитель группы, отдел морской сейсморазведки, ООО «ТНГ-Групп».

21, ул. Ворошилова, г. Бугульма 423236, Россия

e-mail: levitskaya.mari@gmail.com

тел.: +7 (964) 911-63-16

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8468-8800>

Maria S. Levitskaya — Group Leader, Marine Seismic Survey Department, TNG-Group LLC.

21, Voroshilova str., Bugulma 423236, Russia

e-mail: levitskaya.mari@gmail.com

tel: +7 (964) 911-63-16

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8468-8800>

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

23, Миклухо-Маклая ул., 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>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-55-66>
УДК 550.8.05, 550.849, 550.4.02



НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИЕ ТОЛЩИ ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

П.А. ВОЛКОВА^{1,*}, Е.А. ЛАВРЕНОВА¹, М.С. ЛЕВИЦКАЯ², Т.Н. СУЮНБАЕВ¹

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

² ООО «ТНГ-Групп»
21, ул. Ворошилова, г. Бугульма 423236, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Триасовые отложения Восточного Предкавказья относятся к верхней части переходного комплекса, который является перспективным для поисков углеводородов. Наличие многочисленных месторождений, а также непромышленных притоков в скважинах указывает на существование генерационно-аккумуляционных систем в этой части разреза. Однако вопросы, связанные с источниками углеводородов триасовых месторождений, до сих пор остаются неразрешенными.

Цель. Выделить и изучить вероятные нефтегазоматеринские породы триасовых отложений Восточного Предкавказья, оценить вклад каждой из них в формирование углеводородного потенциала верхней части переходного комплекса.

Материалы и методы. Основу фактического материала для представленного исследования составили опубликованные и фондовые геолого-геофизические и геохимические данные, характеризующие изучаемую часть разреза. Собранные материалы анализировались в рамках проведенного бассейнового анализа. Для выделения и изучения способности вероятных НГМТ к насыщению выполнены палеогеографические реконструкции и численное моделирование.

Результаты. Изучены условия формирования ниже- и средне-верхнетриасовых отложений Восточного Предкавказья и сопредельной акватории Каспия. На основании результатов выполненного бассейнового анализа построены карты распространения вероятных НГМТ в нефтекумской, култайско-демянновской и кизлярской свитах и оценена их способность к насыщению углеводородами ниже- и среднетриасовых резервуаров.

Заключение. На основании результатов численного моделирования выделены очаги генерации углеводородов в отложениях нефтекумской и демянновской свит нижнего триаса, которые насыщают углеводородами карбонаты нефтекумской свиты, и терригенные отложения кизлярской свиты среднего триаса, которая насыщает углеводородами отложения среднего и верхнего триаса. Таким образом, в триасовых отложениях Восточного Предкавказья на двух стратиграфических уровнях выделены самостоятельные генерационно-аккумуляционные углеводородные системы, разделенные флюидоупором в подошве анизийского яруса среднего триаса.

Ключевые слова: Триас, НГМТ, резервуары, углеводороды, Восточное Предкавказье, нефтегазоносность.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № АААА-А20-120092590017-4.

Для цитирования: Волкова П.А., Лавренова Е.А., Левицкая М.С., Суюнбаев Т.Н. Нефтегазоматеринские толщи триасовых отложений Восточного Предкавказья. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):55—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-55-66>

Статья поступила в редакцию 10.01.2023
Принята к публикации 16.03.2023
Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

TRIASSIC SOURCE ROCKS OF THE EASTERN CISCAUCASIA

POLINA A. VOLKOVA^{1,*}, ELENA A. LAVRENOVA¹, MARIA S. LEVITSKAYA², TEMIRBOLAT N. SUYUNBAYEV¹

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

² OOO "TNG-Group"
21, Voroshilova str., Bugulma 423236, Russia

ABSTRACT

Background. Triassic deposits of the Eastern Ciscaucasia belong to the upper part of the transient zone, which is considered promising for hydrocarbon exploration. The presence of numerous deposits, as well as non-commercial hydrocarbon flows in boreholes, indicate the existence of petroleum systems in this part of the section. However, issues related to the sources of hydrocarbons in the Triassic deposits still remain unresolved.

Aim. To identify and study the possible source rocks for the Triassic deposits of the Eastern Ciscaucasia, as well as to assess their contribution to the hydrocarbon potential of the upper part of the transient zone.

Materials and methods. Research materials involved all available geological, geophysical and geochemical data published on the section under study, as well as reports from the Russian Federation geological repository. The collected data were analyzed as part of the conducted basin analysis. Numerical basin modeling and paleogeographic reconstructions were performed.

Results. The paleogeographic conditions of the Eastern Ciscaucasia and the adjacent areas of the Caspian Sea at the Triassic period were studied. The results of basin analysis were used to construct the distribution maps of Neftekumskaya, Kul'taisko-Demyanovskaya and Kizlyarskaya source rocks and to assess their charging ability for Lower and Middle Triassic reservoirs.

Conclusion. The conducted numerical modelling revealed several pods of still active source rocks in the Neftekumskaya, Kul'taisko-Demyanovskaya and Kizlyarskaya sections. Lower Triassic reservoirs charged from both the Neftekumskaya and Kul'taisko-Demyanovskaya source rocks, unlike Middle Triassic reservoirs that charged from the Kizlyarskaya source rocks. Thus, independent petroleum systems separated by the Anisian seal at the two stratigraphic levels in the Triassic part of the transitional complex of Eastern Ciscaucasia were identified.

Keywords: Triassic, source rock, reservoirs, hydrocarbons, Eastern Ciscaucasia, oil and gas potential

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

Financial disclosure: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. AAAA-A20-120092590017-4.

For citation: Volkova P.A., Lavrenova E.A., Levitskaya M.S., Suyunbayev T.N. Triassic source rocks of the Eastern Ciscaucasia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):55—66. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-55-66>

Manuscript received 10 January 2023
Accepted 16 March 2023
Published 31 March 2023

* Corresponding author

Триасовые отложения Восточного Предкавказья включают самостоятельную генерационно-аккумуляционную углеводородную систему (ГАУС). Это утверждение, поддерживаемое многими исследователями, основано на изучении свойств и состава нефтей многопластовых месторождений. Результаты хроматографического анализа, проведенного В.А. Чахмахчевым и С.В. Атанасян [12], показали четкую дифференциацию нефтей меловых, юрских и триасовых отложений по всем генетическим показателям. Последующие исследования Скрипнюк и Серова [8, 9] согласуются с этими результатами. При этом, несмотря на длительную историю изучения нефтегазоматеринских свойств, вопрос источника углеводородов триасовых резервуаров до сих пор не решен. Информация о геохимических характеристиках пород, опубликованная в различных источниках, содержит неполные, как следствие — плохо сопоставимые между собой, а зачастую и противоречивые данные. Их критический анализ затруднен, т.к. исходный фактический материал (результаты аналитических исследований) авторами не приводится.

Низкая информативность выполненных геохимических исследований обусловлена, в том числе, применением устаревших или не подходящих, с учетом специфики изучаемых пород, методов анализа. В частности, умозаключения большинства исследователей в основном базируются на результатах химико-битуминологического анализа, возможности которого в части характеристики НГМТ ограничены, а также на результатах анализа Rock Eval, применение которого для термически высоко зрелых триасовых отложений с невысоким содержанием органического углерода фактически лишено смысла. Биомаркерные исследования флюидов и органического вещества триасовой части разреза для установления генетических связей между ними не проводились. В результате выводы о наличии НГМТ в триасовых отложениях носят расплывчатый характер. Например, Скрипнюк выделяет в разрезе мезозойских отложений «нижнюю НГМТ», подразумевая под этим стратиграфический диапазон нижнего и среднего триаса. Серов в своей диссертации приводит геохимические характеристики для пермтриасовой части разреза. Попытки выявить латеральные закономерности и охарактеризовать НГМТ в таком широком стратиграфическом диапазоне малоэффективны, учитывая существенную площадную литолого-фациальную изменчивость пород и частую смену условий осадконакопления в период

с конца пермской (куманское время) до начала юрской эпох [2, 11].

Целью настоящего исследования является изучение вероятных НГМТ триасовой части разреза с позиций концепции ГАУС. Для этого были проанализированы доступные результаты геохимических исследований органического вещества и флюидов, особенности латерального и вертикального УВ насыщения, а также литолого-фациальные условия формирования триасовых отложений. Одной из основных задач являлась максимально возможная дифференциация этой информации для получения характеристик каждой из свит.

Характеристика объекта исследования

В тектоническом отношении область исследования включает южную часть Восточно-Европейской платформы, восточную часть Скифской и западную — Туранской плиты, Терско-Каспийский прогиб и восточную часть Крымско-Кавказской орогенно-складчатой зоны (рис. 1). Все выявленные к настоящему времени месторождения в триасовой части разреза компактно сгруппированы в пределах зоны Манычских прогибов, Восточно-Ставропольской впадины, Прикумско-Тюлевской зоны поднятий и Ногайской ступени.

Большую часть исследуемой территории занимают молодые Скифская и Туранская платформы, характеризующиеся двухчленным строением. Их геологический разрез включает отложения плитного чехла, представленного отложениями от верхнего мезозоя до квартера, и переходного комплекса, сложенного породами верхнего палеозоя — нижнего-среднего мезозоя (рис. 2).

Осадочный чехол в пределах Восточного Предкавказья включает терригенно-осадочные средне-верхнемезозойские (юрские и меловые) и кайнозойские отложения. Он подстилается образованиями переходного комплекса, верхняя часть которого сложена триасовыми породами. В литологическом отношении это, как правило, сильно уплотненные терригенно-карбонатные нормально-морские шельфовые образования различного состава. Нефтекумская свита нижнего триаса представлена преимущественно карбонатами рифовыми и водорослевыми известняками, а также пелитоморфными известняками и доломитами. Вышележащие отложения култайской и демьяновской свиты нижнего триаса, а также отложения среднего триаса сложены карбонатно-терригенным материалом. Ногайская свита верхнего триаса представлена в основном терригенно-вулканогенными образованиями.

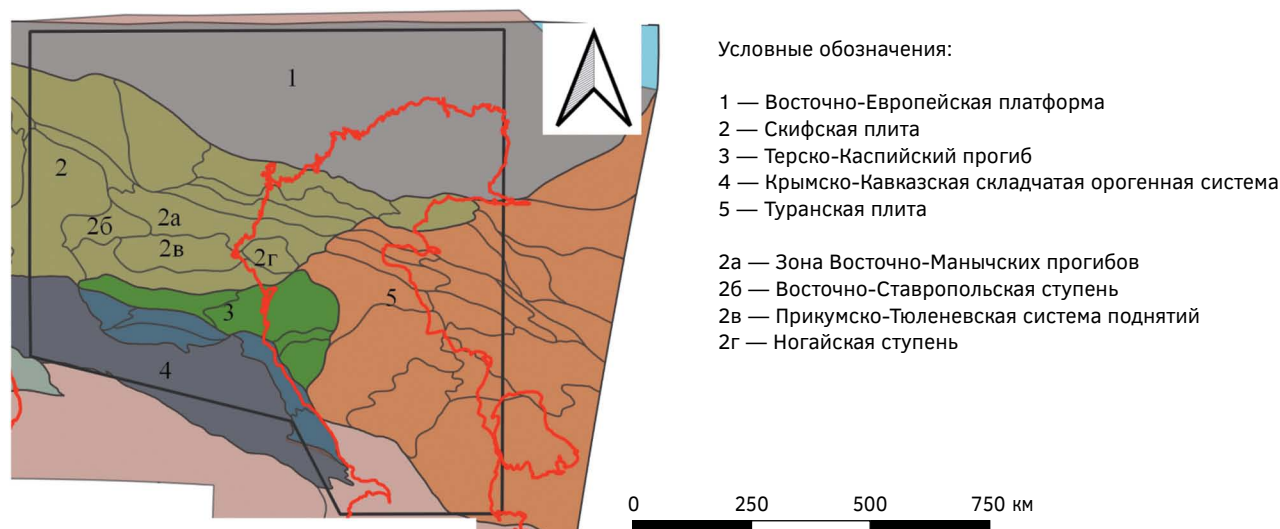


Рис. 1. Тектоническое строение Восточного Предкавказья

Fig. 1. Tectonic settings of the studied area

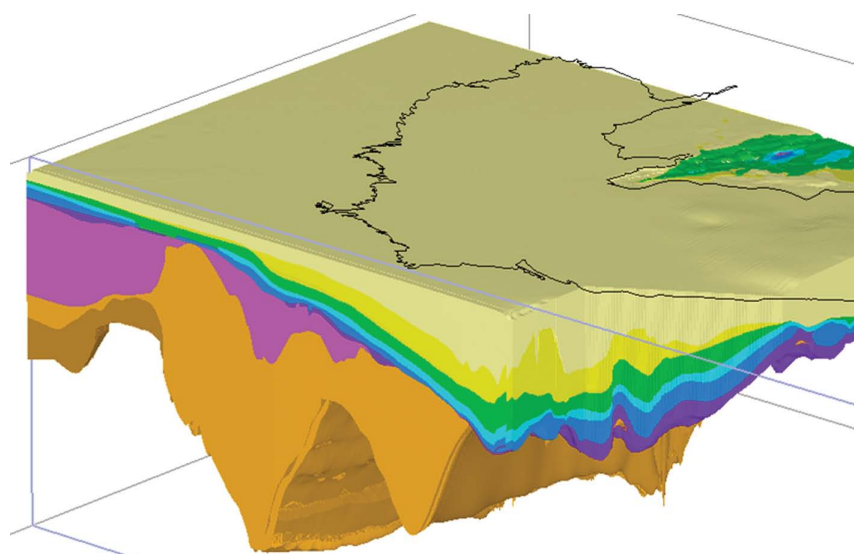


Рис. 2. Сечение трехмерной модели области исследования, отражающее строение переходного комплекса и плитного чехла Восточного Предкавказья

Fig. 2. 3D model section of the studied area, reflecting the structure of the transitional complex and sediment cover of the Eastern Ciscaucasia

Материалы и методы

Основу настоящей работы составили опубликованные и фондовые материалы: результаты геохимических исследований [3, 8, 9, 11, 13], литофациальные и палеогеографические карты [1, 4], сведения о вещественном составе пород и нефтегазоносности [2, 5, 7, 9, 11, 13]. Собранные из разных источников данные были оцифрованы, приведены к единым форматам, а затем использованы при проведении бассейнового анализа, по результатам

которого сформирована непротиворечивая модель строения и развития триасовых отложений Восточного Предкавказья. Для последующего численного моделирования она была дополнена структурным каркасом вышележащего плитного чехла из региональной модели Черноморско-Кавказского региона [6, 10].

Результаты

Выполненный анализ признаков нефтегазоносности переходного комплекса показал,

что основной резервуарной толщей, формирующей ресурсный потенциал Восточного Предкавказья, является нефтекумская свита нижнего триаса, сложенная карбонатными породами (рис. 3а).

Второй по значимости резервуарной толщей являются отложения анизийского яруса среднего триаса, которые продуктивны на многих месторождениях, включая Кулинское, Майли-Харанское, Сайгачное, Солончаковое и др. (рис. 3б). Коллекторы среднетриасовых залежей представлены терригенными породами. Единственная залежь в верхнем триасе установлена на Совхозном месторождении в карбонатных отложениях (рис. 4).

На основе собранной геохимической информации с учетом изученных палеогеографических условий нефтегазоматеринские толщи (НГМТ) прогнозируются на четырех стратиграфических уровнях: в отложениях куманской свиты верхней перми, нефтекумской свиты индского яруса, култайской и дьяновской свит оленекского яруса, а также кизлярской свиты анизийского яруса триаса.

По данным исследователей, основывающихся на результатах изучения обширного кернового материала [3, 11], верхняя часть куманской свиты представлена известняками и в меньшей степени аргиллитами.

Содержание органического углерода в отложениях куманской свиты низкое — значения варьи-

руют от 0,11 до 0,8% по данным разных авторов [8, 9, 13]. Для этих отложений характерны также низкие (от 0,0013 до 0,08) значения ХБ, которые увеличиваются от карбонатов к аргиллитам [8, 9, 13]. Битумоид — маслянистого и смолисто-асфальтенового типа. Органическое вещество по данным исследования шлифов [8] — смешанное. В песчаниках и карбонатах куманской свиты выделены эпигенетичные легкие маслянистые битумоиды, что может указывать на их генетическую связь с ОВ одновозрастных отложений.

Отложения *нефтекумской свиты* представлены преимущественно карбонатными породами (известняками и доломитами), в которых среднее содержание органического углерода составляет 0,44%, что выше, чем в куманской свите. Относительно пониженными средними значениями содержания $C_{орг.}$ от 0,1 до 0,33% характеризуется центральная часть зоны Манычских прогибов. Количество органического углерода в отложениях увеличивается в северо-западном направлении до 0,99% и до 0,62% в юго-восточном, что коррелирует с увеличением глубины нефтекумского палеобассейна в этих направлениях. Наиболее высокие значения отмечены в известняках Азгирского прогиба. По данным Серова $C_{орг.}$ в карбонатах нефтекумской свиты не более 0,23%, ХБ — 0,003%. В глинистых разностях отложений

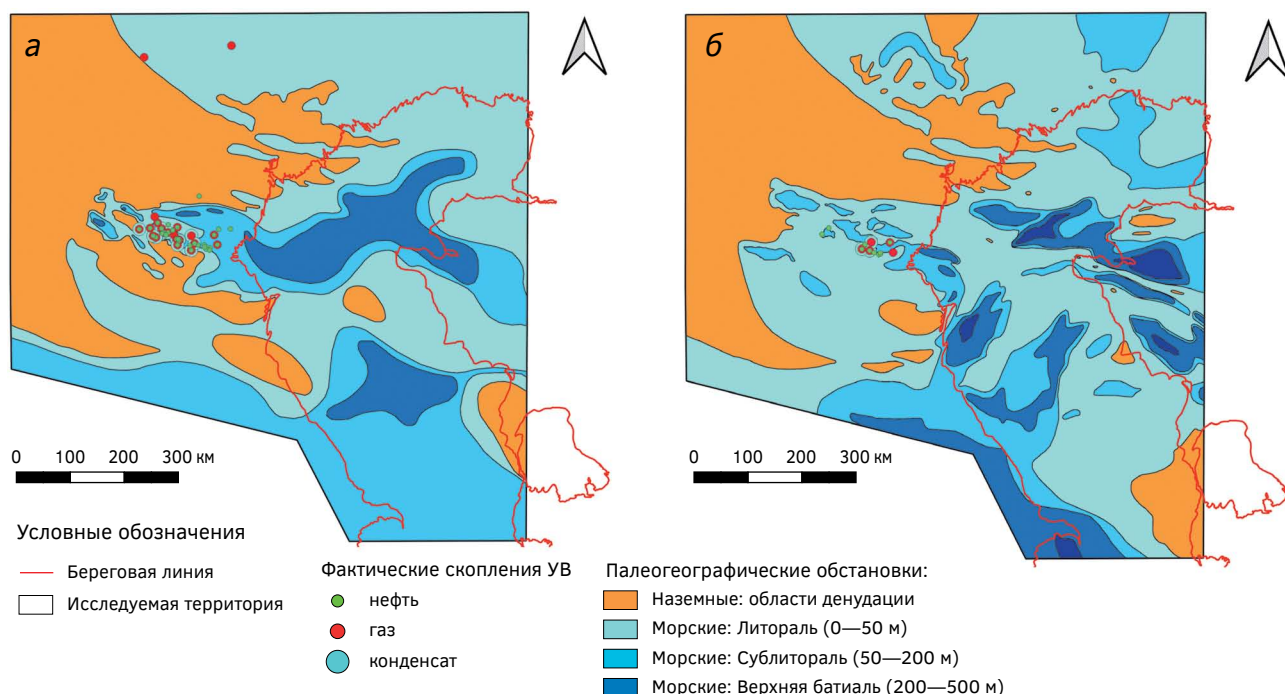


Рис. 3. Признаки нефтегазоносности в отложениях: а — нижнего триаса; б — среднего-верхнего триаса
Fig. 3. Triassic oil and gas manifestations: a — Lower Triassic; b — Middle-Upper Triassic

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

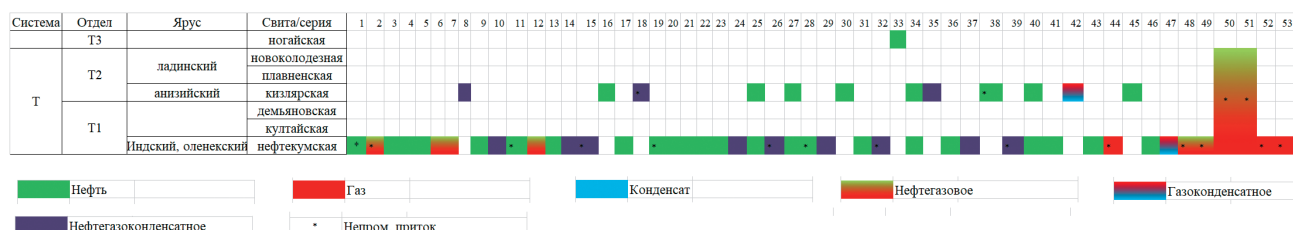


Рис. 4. Распределение углеводородов различного типа в интервале триасовых образований Восточного Предкавказья. Цифрами обозначены площади разведочного бурения и месторождения: 1 — Церкетинская площадь, 2 — Колодезная площадь, 3 — Поварковское, 4 — Пушкарское, 5 — Байджановское, 6 — Величаевско-Колодезное, 7 — Восточно-Безводненское, 8 — Восточно-Сухокумское, 9 — Восточно-Юбилейное, 10 — Восход, 11 — Граничное (Дагестан), 12 — Зимне-Ставкинско-Правобережное, 13 — Казбековское, 14 — Каневско-Лебяжье, 15 — Кочетовское, 16 — Кулинское, 17 — Кумухское, 18 — Майли-Харанское, 19 — Надеждинское, 20 — Наказухское, 21 — Озерное, 22 — Октябрьское, 23 — Путиловское, 24 — Равнинное, 25 — Раздольное, 26 — Расшеватское, 27 — Рифовое, 28 — Рифовое Восточное, 29 — Русский Хутор (поле Русский Хутор Сев.), 30 — Сайгачное, 31 — Северо-Юбилейное, 32 — Северо-Шаджинское, 33 — Совхозное, 34 — Солончаковое, 35 — Сухокумское, 36 — Таловское, 37 — Тианетское, 38 — Тианетское Восточное, 39 — Урожайненское, 40 — Центральное, 41 — Южно-Кумухское, 42 — Южно-Буйнакское, 43 — Южно-Таловское, 44 — Молодежное, 45 — Величаевское, 46 — РХС, 47 — Гаруновское, 48 — Эбелекское, 49 — Ново-Колодезная, 50 — Песчаная, 51 — Северо-Кочубеевское, 52 — Бугринское, 53 — Чапаевское

Fig. 4. Vertical distribution of hydrocarbon in Triassic deposits. The figures indicate the areas of exploration drilling and deposits: 1 — Cherketinskaya Square, 2 — Kolodeznaya Square, 3 — Povarkovskoye, 4 — Pushkarskoye, 5 — Baiyanovskoye, 6 — Velichaevsko-Kolodeznoye, 7 — Vostochno-Bezvodnenskoye, 8 — Vostochno-Sukhokumskoye, 9 — Vostochno-Jubileynoye, 10 — Voskhod, 11 — Bordering (Dagestan), 12 — Winter-Stavkinsko-Pravoberezhnoye, 13 — Kazbekov, 14 — Kanevsko-Lebyazhye, 15 — Kochetovskoye, 16 — Kulinsky, 17 — Kumukhskoye, 18 — Maili-Kharanskoye, 19 — Nadezhdinsky, 20 — Nakazukhskoye, 21 — Ozernoye, 22 — Oktyabrskoye, 23 — Putilovskoye, 24 — Plain, 25 — Razdolnoye, 26 — Russian Russian Farm, 27 — Reef, 28 — Reef East, 29 — Russian Farm (field Russian Farm North.), 30 — Saiga, 31 — North Jubilee, 32 — North Shajinskoye, 33 — State farm, 34 — Saline, 35 — Sukhokumskoye, 36 — Talovskoye, 37 — Tianetskoye, 38 — Tianetskoye Vostochnoye, 39 — Urozhaynenskoye, 40 — Tsentralnoye, 41 — Yuzhno-Kumukhskoye, 42 — Yuzhno-Buinakskoye, 43 — Yuzhno-Talovskoye, 44 — Molodezhnoye, 45 — Velichaevskoye, 46 — RHS, 47 — Garunovskoye, 48 — Ebelekskoye, 49 — Novo-Kolodeznaya, 50 — Sandy, 51 — Severo-Kochubeyevskoye, 52 — Bugrinskoye, 53 — Chapayevskoye

нефтекумской свиты содержание органического углерода по данным Скрипнюк составляет 0,33%. Мельников приводит другие цифры для терригенных разностей свиты: в аргиллитах среднее содержание $C_{орг.}$ составляет 0,44%. Повышенные значения до 0,9%, по его данным, отмечаются в Восточно-Манычском прогибе, максимальное значение (3,05%) установлено в маломощных прослоях аргиллитов скв. Кумухская-5 (инт. 4836-4846). Результаты исследования пород в шлифах показали, что в карбонатных разностях присутствует сапропелевое ОВ, а в терригенных — гумусовое [9]. Тип битумоида в карбонатных разностях — осмоленный, в терригенных — смолистый, масляный. По данным Рок Эвал, с учетом влияния минеральной матрицы определен кероген 2-го типа (сапропелево-гумусовый тип) с водородным индексом — около 200 [9].

В отложениях култайской и демянской свит выделяются две фациальные зоны: южная, в которой преобладают карбонатные породы

(известняки), и северная, где значительную роль играют аргиллиты. По данным Мельникова, в отложениях оленекского яруса содержится значительное количество пиритного и закисного железа наряду с дефицитом окисного, что указывает на восстановительные обстановки осадконакопления, благоприятные для формирования нефтегазоматеринских толщ. Также Мельников указывает на повышенное содержание ОВ в отложениях оленекского яруса, значения $C_{орг.}$ в которых следующие: 0,72% в аргиллитах, 0,92% в глинистых известняках и 0,17% в грубозернистых отложениях. Значения ХБ варьируют от 0,01 до 0,36% (среднее — 0,552%). По данным Скрипнюк, среднее содержание органического углерода в отложениях култайской и демянской свит несколько ниже: на уровне 0,62%, а ТОС в среднем составляет 0,42%. Параметры S_1 и S_2 — низкие, составляют в среднем 0,1 и 0,16 мгУВ/кг породы. Однако в отдельных скважинах, например в Бойчаровских 1, 2, отмечаются повышенные значения $C_{орг.}$

которые варьируют от 0,4 до 3,35% в интервале култайской и демьяновской свит.

Аргиллиты и глинистые известняки содержат остаточный и параавтохтонный битумоид (значения битумоидного коэффициента — 5 и 8% соответственно), а песчаники и карбонаты — миграционный [5].

Кизлярская свита по литолого-петрографическим особенностям разделяется на две подсвиты: нижняя (карбонатно-терригенная) и верхняя (аргиллит-алевролитовая) [3]. Отложения нижней части анизийского яруса формировались в восстановительных и слабо-восстановительных условиях осадконакопления, что подтверждается присутствием в породе остатков пелиципод, аммонитов и водорослей, а также увеличением доли пиритного и закисного железа [5]. Отложения широко распространены по площади исследования и протягиваются полосой от Бойчаровской площади (Арзгирский прогиб) вплоть до Каспийского моря. По литолого-фациальным условиям отложения кизлярской свиты разделяются на две структурно-фациальные зоны. Первая зона располагается в южной части зоны Манычских прогибов, вторая — в северной части территории. Формирование отложений первой зоны происходило в застойных условиях, соответствующих внешней части шельфа с глубинами от первых десятков до 100—200 м, предположительно аномальной солености. Отложения представлены преимущественно карбонатно-терригенными отложениями. В направлении с юго-запада на северо-восток наблюдается снижение содержания в разрезе карбонатных пород. В северной части территории формировались монотонные аргиллит-алевролитовые отложения, которые формировались в более глубоководных условиях с застойным гидродинамическим режимом [9].

По данным Скрипнюк, $C_{орг.}$ в отложениях кизлярской свиты среднего триаса варьирует в зависимости от литологического типа породы. Наиболее высокими средними содержаниями характеризуются карбонатные породы — известняки и доломиты (0,65%). В аргиллитах содержание органического углерода в среднем составляет 0,35%. Области повышенных содержаний $C_{орг.}$ располагаются в центральной части (0,98%) и юго-восточной (0,65%) зоне Манычских прогибов, т.е. в области развития карбонатного осадконакопления. Отложения содержат ОВ смешанного (гумусово-сапропелевого и сапропелево-гумусового) типа [9]. Мельников отмечает, что содержания органического углерода в отложениях среднего триаса

в целом невысокие — 0,33—0,40%. Однако он отмечает, что в маломощных прослоях аргиллитов содержание $C_{орг.}$ может достигать 1,3—2,0%. По данным Серова, аргиллиты кизлярской свиты в скважинах Обуховской и Затеречной характеризуются высоким генетическим потенциалом (3,15 и 2,57 кг/т соответственно).

Количество ХБ положительно коррелирует с содержанием органического вещества пород, достигая в среднем 0,2%. Битумоид — смолисто-асфальтенового и смолистого типов. Данные люминесцентно-микроскопического анализа подтверждают сингенетичный характер битумоидов, который равномерно насыщает породу. Вокруг ОВ и углистого детрита выделяется спектр от непрозрачного ОВ и темно-коричневого смолисто-асфальтенового до легкого голубого, указывающего на связь битумоидов с исходным ОВ [5]. В пронизываемых участках пород в условиях чередования глин и песчано-алевролитовых прослоев и в трещинах наблюдается перераспределение битумоидных компонентов с выделением легких, миграционных (параавтохтонных). Эпибитумоиды, неравномерно распространенные в породах, встречаются в аргиллитах и органогенно-обломочных оолитовых известняках (в виде пятен, натеков и т.д.). Отношение Н/С составляет 1,6—1,8, что, по мнению ряда исследователей (Мельников со ссылкой на Бурштара, Мирзоева, Джапаридзе), указывает на гумусово-сапропелевый тип ОВ [5].

Таким образом, анализ опубликованных результатов геохимических исследований, несмотря на их определенную противоречивость, позволяет прогнозировать триасовой части разреза три НГМТ: нефтекумскую, оленекскую (култайско-демьяновскую) и кизлярскую. Куманскую свиту, несмотря на присутствие остаточных и параавтохтонных битумоидов в породе, указывающих на протекавшие процессы первичной миграции, по-видимому, не стоит рассматривать в качестве нефтегазоматеринской из-за крайне низкого содержания органического углерода.

Полученные невысокие характеристики органического вещества прогнозируемых НГМТ обусловлены, главным образом, их высокой текущей зрелостью и, как следствие, истощенностью. Кроме того, как показывают результаты выполненных палеогеографических реконструкций, осадконакопление отложений, изученных геохимическими методами, происходило в условиях мелководной части палеобассейна с частой сменной окислительно-восстановительных обстановок и существенным привносом ОВ континентального

происхождения, что не очень благоприятно для формирования НГМТ хорошего качества.

С учетом проведенного анализа для трех вероятных НГМТ построены карты, характеризующие их области распространения и свойства (рис. 5). Как следует из этих построений: нефтегазоматеринские толщи в изучаемой части триасового палеобассейна распространены локально. Они накапливались в лагунах и впадинах мелководного залива с относительно высокими скоростями осадконакопления и благоприятными окислительно-восстановительными условиями. Области развития НГМТ имеют субширотную ориентацию, а границы разновозрастных толщ смещены относительно друг друга, что отражает активный геодинамический режим территории в триасе. Опираясь на результаты геохимических исследований и выполненные палеогеографические реконструкции, для моделирования всех прогнозируемых НГМТ содержание органического углерода принято равным 1%. Значения водородного индекса для нефтекумской, култайско-демянновской и кизлярской свит приняты, соответственно: 200, 250, и 300 мгУВ/г породы. Учитывая литологический состав пород, для култайско-демянновской и кизлярской НГМТ использовалась стандартная кинетическая реакция для керогена второго типа,

для нефтекумской — специальная кинетическая реакция для карбонатных пород.

По результатам проведенного численного моделирования установлено, что все изучаемые НГМТ в настоящее время претерпели существенные температурные преобразования и полностью реализовали свой генетический потенциал. Критический момент они преодолели в основном в конце юрского — начале мелового периода за исключением северных-северо-восточных областей распространения оленекской (култайская и демянновская свиты) и кизлярской НГМТ, где критический момент был преодолен в кайнозое. Наиболее активно генерация и эмиграция УВ из нефтекумской НГМТ происходила в период с позднего триаса до начала мела. В вышележащих оленекской и кизлярской НГМТ эти процессы протекали в два этапа. Первый — равномерного нарастания интенсивности процессов, соотносится с периодом конца юры — середины палеогена. Второй — резкого увеличения скоростей генерации и эмиграции УВ, с середины палеогена до настоящего времени.

Отложения нижнего триаса формировались в условиях мелководного морского бассейна с карбонатным осадконакоплением. Это обеспечило нефтегазоматеринскую толщу специфическими

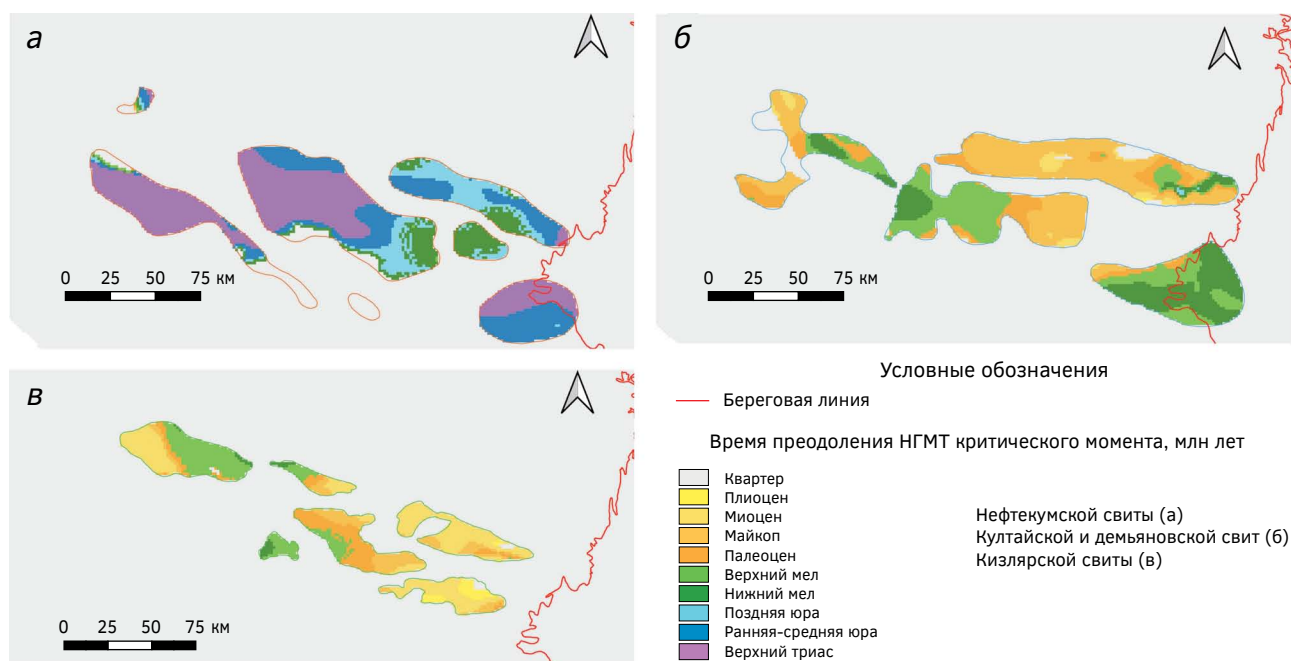


Рис. 5. Карты распространения нефтегазоматеринских толщ: а — нефтекумской, б — оленекской (култайско-демянновской), в — кизлярской

Fig. 5. Triassic source rock lateral distribution: а — neftekumskaya, б — olenekskaya (kultaysko-demyanovskaya), в — kizlyarskaya

свойствами, которые выражаются в преимущественной генерации жидких УВ даже на высоких стадиях зрелости.

Таким образом, с учетом особенностей состава органического вещества и текущего уровня зрелости изученных НГМТ установлено, что карбонатные отложения нефтекумской свиты могут обеспечить резервуары жидкими углеводородами, а терригенные отложения оленекского яруса и кизлярской свиты — как жидкими, так и газообразными углеводородами (рис. 6). В составе прогнозируемых скоплений, обеспечиваемых оленекской НГМТ, наблюдается латеральная зональность: от чисто газовых скоплений на юге области ее распространения до газонефтяных — на севере (рис. 6).

Обсуждение результатов

Проведенные исследования позволяют установить наиболее вероятные очаги генерации выявленных триасовых месторождений. В частности, большинство нефтекумских месторождений расположено в центральной части зоны Манычских прогибов и сопредельной территории Прикумско-Тюленевской зоны поднятий. Результаты проведенного моделирования показали, что они

принадлежат наиболее крупному «Манычско-Прикумскому нефтекумскому очагу генерации» (МП-Т1nf). Однако, как показано ранее, карбонатная нефтекумская НГМТ может обеспечить резервуары преимущественно жидкими УВ, а в составе месторождений довольно существенная доля конденсата и газа. Опираясь на результаты моделирования, можно предположить, что источником легких УВ может являться «Азгирский очаг генерации» оленекской НГМТ (Аз-Т1ok), производящий газообразные УВ из-за ее высокой зрелости. К востоку от описанной группы расположены исключительно нефтяные нефтекумские месторождения: Рифовое, Раздольное, Наказухское, Таловское, Казбековские и Кумухские. Их источником, учитывая тип флюида и пути миграции по результатам моделирования, является выделенный «Прикумско-Тюленевский нефтекумский очаг» (ПТ-Т1nf). Следуя этой логике, расположенные севернее месторождения Песчаное и Северо-Кочубеевское принадлежат «Тюленевско-Ногайскому оленекскому очагу генерации» (ТН-Т1ok). Нефтяные месторождения Озерное и Церкветинское, расположенные на удалении от основной группы, указывают на существование «Восточно-Манычского очага» нефтекумской НГМТ (ВМ-Т1nf).

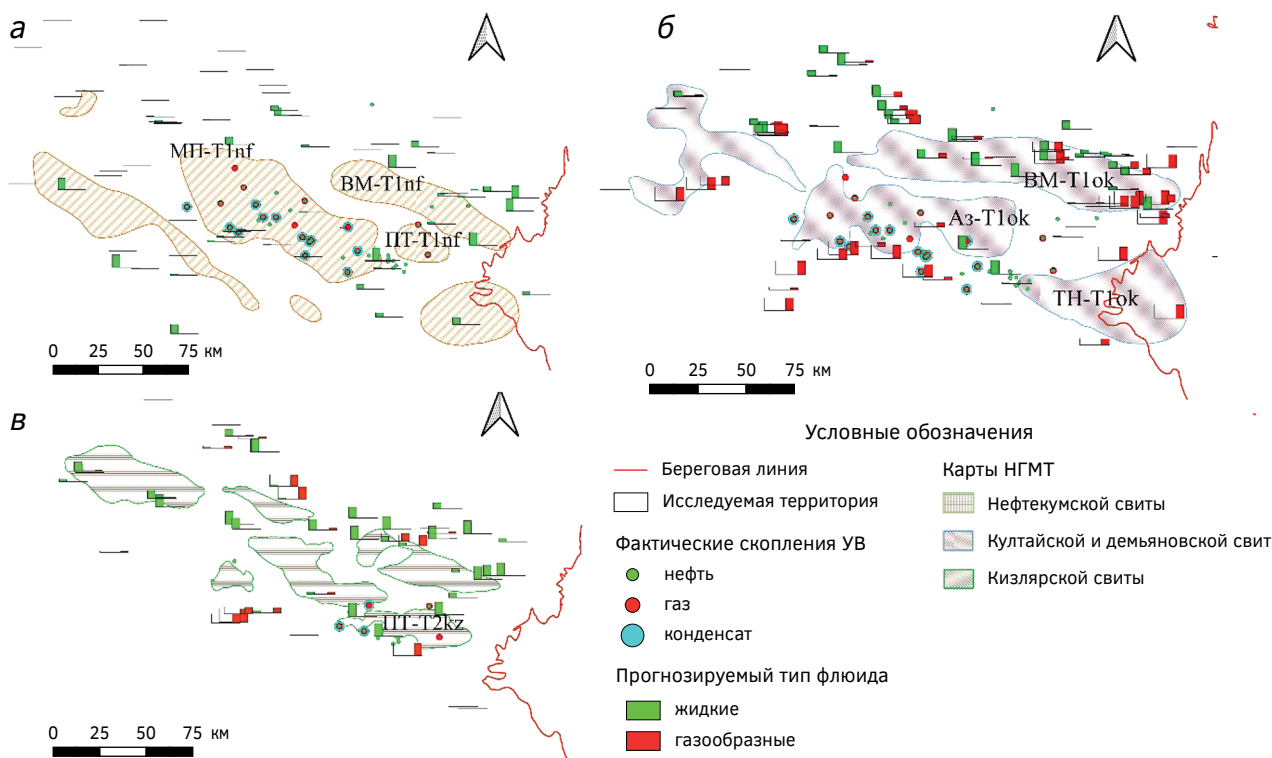


Рис. 6. Прогнозные и фактические скопления углеводородов
Fig. 6. Predicted and actual accumulations of hydrocarbons

Нефтяное месторождение Надеждинское, вероятно, принадлежит «Восточно-Манычскому оленекскому очагу» (ВМ-Т10к) генерации, который с учетом относительно невысокой зрелости может обеспечить эмиграцию жидких углеводородов.

Все средне-верхнетриасовые месторождения, за исключением Величаевского и Совхозного, принадлежат «Прикумско-Тюленевскому кизлярскому очагу генерации», (ПТ-Т2кз) который, судя по результатам моделирования, обеспечивает формирование как чисто нефтяных и газовых скоплений, так и залежей смешанного состава, что согласуется с установленной фактической нефтегазоносностью.

Известно, что отложения нижнего и среднего триаса разделены региональным флюидоупором в подошве анизийского яруса, что указывает на существование двух независимых нефтегазоносных комплексов в триасовых отложениях Восточного Предкавказья. Это согласуется с установленной по результатам моделирования принадлежностью месторождений в нижнем и среднем-верхнем триасе к различным очагам генерации и подтверждается особенностями их латерального размещения, области локализации которых не совпадают.

Подавляющее большинство триасовых месторождений располагаются вдоль южной границы зоны Манычских прогибов. При этом, судя по палеогеографическим реконструкциям, вдоль северной границы прогнозируются очаги генерации всех трех прогнозируемых НГМТ. Учитывая, что северное направление миграции является основным для всех выделенных очагов, эта область представляет интерес для дальнейших поисков

УВ в триасовых отложениях. Следует отметить, что к северу от цепочки выделенных очагов триасовые отложения выклиниваются, и ресурсный потенциал здесь будет связан в основном с ловушками стратиграфического типа, что следует учитывать при организации геологоразведочных работ.

Выводы

1. Изучены условия формирования нижне- и средне-верхнетриасовых отложений Восточного Предкавказья и сопредельной акватории Каспия и построены карты распространения вероятных НГМТ в нефтекумской, култайско-демянновской и кизлярской свитах.

2. Выделены очаги генерации УВ изученных НГМТ и установлена их связь с фактической нефтегазоносностью разреза.

3. Показано, что отложения нефтекумской свиты могут являться источником жидких, а отложения култайско-демянновской и кизлярской свит — жидких и газообразных УВ выявленных месторождений.

4. Обосновано существование двух независимых нефтегазоносных комплексов в отложениях нижней и средне-верхнетриасовой частях разреза с соответствующими одновозрастными НГМТ. Причем поставщиками УВ для большинства месторождений нефтекумской свиты являются одновременно нефтекумская и култайско-демянновская свиты нижнего триаса.

5. Рекомендована для дальнейшего изучения область вдоль северной границы зоны Манычских прогибов, где значительный углеводородный потенциал может быть связан со стратиграфическими ловушками в зоне выклинивания триасовых отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас геологических карт России, стран СНГ и сопредельных государств м-ба 1:2 500 000. Прогнозно-минералогическая карта на углеводородное сырье. СПб., 2008.
2. Бурштар М.С., Милешина А.Г. Нефти триасовых отложений Восточного Предкавказья // Геология нефти и газа. 1970. № 10. С. 49—52.
3. Вобликов Б.Г. Тектоника и природные резервуары глубокопогруженных отложений мезозоя и палеозоя центрального и восточного Кавказа и Предкавказья в связи с перспективами нефтегазоносности: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12: Ставрополь, 2006. 473 с.
4. Глумов И.Ф., Маливицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: ООО Недра — Бизнесцентр, 2004. 342 с.
5. Мельников С.А. Условия осадконакопления и особенности распространения пород-коллекторов анизийского яруса среднего триаса Восточного Предкавказья в связи с нефтегазоносностью: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12: Ставрополь, 2012. 110 с.
6. Мустаев Р.Н. Структурно-геодинамические и углеводородные системы Черноморско-Каспийского региона: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.12: Москва, 2013. 116 с.
7. Савельева Л.М. Триас Восточного Предкавказья. М.: Наука, 1978. 91 с.
8. Серов А.В. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности пермо-триасового комплекса Восточного Предкавказья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12: Ставрополь, 2000. 140 с.
9. Скрипнюк О.В. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности мезозойских отложений зоны

- Манычских прогибов и южного склона кряжа Карпинского: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.12: Краснодар, 2010. 190 с.
10. Соловьев Б.А., Подкорытов Н.Г., Левшунова С.П. Перспективы поисков залежей нефти и газа в отложениях Нефтекумской свиты Восточного Предкавказья // Геология нефти и газа. 2012. № 6. С. 4—10.
11. Туманова Е.Ю. Литолого-фациальные, палеогеографические и структурные критерии нефтегазоносности верхнепермских-нижнетриасовых отложений Восточного Предкавказья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.17: Ставрополь, 1998. 188 с.
12. Чахмакчев В.А., Аксенов А.А., Барс Е.А. и др. Геолого-геохимические методы оценки нефтегазоносности локальных объектов. М.: ИГРГИ, 1993. 207 с.
13. Шарафутдинов Ф.Г. Геология и нефтегазоносность доюрских образований Восточного Предкавказья. Махачкала, 1978. 124 с.

REFERENCES

1. Atlas of geological maps of Russia, CIS countries and neighboring countries m-ba 1:2,500,000. Forecastmineralogenic map for hydrocarbon raw materials St.Petersburg, 2008 (In Russian).
2. Burshtar M.S., Milesheina A.G. Oils of Triassic deposits of Eastern Ciscaucasia // Geology of oil and gas. 1970. No. 10. P. 49—52 (In Russian).
3. Voblikov B.G. Tectonics and natural reservoirs of deep deposits of the Mesozoic and Paleozoic of the Central and Eastern Caucasus and Ciscaucasia in connection with the prospects for oil and gas potential: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12: Stavropol, 2006. 473 p. (In Russian).
4. Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Moscow: Nedra — Businesscenter LLC, 2004. 342 p. (In Russian).
5. Melnikov S.A. Conditions of sedimentation and features of the distribution of reservoir rocks of the Anisian stage of the Middle Triassic of the Eastern Ciscaucasia in connection with the oil and gas potential: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12: Stavropol, 2012. 110 p. (In Russian).
6. Mustaev R.N. Structural-geodynamic and hydrocarbon systems of the Black Sea-Caspian region: Dr. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12: Moscow, 2013. 116 p. (In Russian).
7. Savelyeva L.M. The Triassic of the Eastern Pre-Caucasus. Moscow: Nauka, 1978. 91 p. (In Russian).
8. Serov A.V. Geological and geochemical conditions of the oil and gas potential of the Permian-Triassic complex of the Eastern Ciscaucasia: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12: Stavropol, 2000. 140 p. (In Russian).
9. Skripnyuk O.V. Geological and geochemical conditions of the oil and gas potential of the Mesozoic deposits of the Manych trough zone and the southern slope of the Karpinsky ridge: Cand. geol.-min. sci. diss.: 25.00.12: Krasnodar, 2010. 190 p. (In Russian).
10. Solovyov B.A., Podkorytov N.G., Levshunova S.P. Prospects for the search for oil and gas deposits in the deposits of the Neftekum formation of the Eastern Caucasus // Geology of oil and gas. 2012. No. 6. P. 4—10 (In Russian).
11. Tumanova E.Yu. Lithofacies, paleogeographic and structural criteria for the oil and gas potential of the Upper Permian-Lower Triassic deposits of the Eastern Ciscaucasia: Cand. geol.-min. sci. diss.: 04.00.17: Stavropol, 1998. 188 p. (In Russian).
12. Chakhmakhchev V.A., Aksenov A.A., Bars E.A. et al. Geological and geochemical methods for assessing the oil and gas content of local objects. Moscow: IGIRGI, 1993. 207 p. (In Russian).
13. Sharafutdinov F.G. Geology and oil and gas potential of the Pre-Jurassic formations of the Eastern Caucasus. Makhachkala, 1978. 124 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Волкова П.А. — внесла основной вклад в сбор, обобщение и анализ геохимической, геолого-геофизической информации, подготовку баз данных, палеогеографических карт, анализ результатов моделирования и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Лавренова Е.А. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, выполняла ее редакцию, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Левицкая М.С. — подготовила структурный каркас модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Polina A. Volkova — made the main contribution to the collection, generalization and analysis of geochemical, geological and geophysical information, preparation of databases, paleogeographic maps, analysis of modeling results and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena A. Lavrenova — made the main contribution to the development of the concept of the article, carried out its editorial, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Maria S. Levitskaya — has prepared the structural framework of the model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

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

Суюнбаев Т.Н. — внес вклад в сбор и обобщение исходных материалов для формирования модели и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Temirbolat N. Suyunbayev — contributed to the collection and generalization of the source materials for the formation of the model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Волкова Полина Александровна* — студентка 5-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: Polli12volkova639@gmail.com
тел.: +7 (900) 141-34-08
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8247-2720>

Polina A. Volkova* — student of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: Polli12volkova639@gmail.com
tel.: +7 (900) 141-34-08
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8247-2720>

Лавренова Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; генеральный директор ООО АСАП «Сервис», отдел нефтегазовой геологии и бассейнового моделирования.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
тел.: +7 (903) 452-45-94
SPIN-код: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Elena A. Lavrenova — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Lecturer at the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, General Director of ASAP Service LLC, Department of Oil and Gas Geology and Basin Modeling.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
39, Krasnogvardeyskaya str., Gelendzhik 353460, Russia
e-mail: lavrenovaelena@mail.ru
tel.: +7 (903) 452-45-94
SPIN-code: 1859-8634
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

Левицкая Мария Сергеевна — руководитель группы, отдел морской сейсморазведки, ООО «ТНГ-Групп».

21, ул. Ворошилова, г. Бугульма 423236, Россия
e-mail: levitskaya.mari@gmail.com
тел.: +7 (964) 911-63-16
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8468-8800>

Maria S. Levitskaya — Group Leader, Marine Seismic Survey Department, TNG-Group LLC.

21, Voroshilova str., Bugulma 423236, Russia
e-mail: levitskaya.mari@gmail.com
tel.: +7 (964) 911-63-16
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8468-8800>

Суюнбаев Темирболат Нурланулы — аспирант 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: tema.bolat.91@mail.ru
тел.: +7 (778) 255-05-77
SPIN-code: 9086-9059
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>

Temirbolat N. Suyunbayev — post-graduate researcher of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: tema.bolat.91@mail.ru
tel.: +7 (778) 255-05-77
SPIN-code: 9086-9059
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4053-8644>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-67-76>

УДК 553.5(64)



ЮВЕЛИРНЫЕ СЕПТАРИИ МАРОККО. ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Септарии — известково-глинистые конкреции с прожилками кальцита, широко используются в качестве ювелирно-поделочного материала. На мировом и российском рынках ювелирно-поделочных камней представлены септарии из Марокко, которые остаются геммологически и минералогически не изученными. В статье впервые приводятся геммологические характеристики и минеральный состав септарий Марокко, условия их образования.

Цель — определение геммологических характеристик и минерального состава, условий образования септарий из Марокко, сравнение с септариями других регионов мира.

Материалы и методы. Автором изучен ассортимент септарий Марокко, представленный на международных и российских выставках, собрана коллекция (15 образцов), отражающая основные декоративные разновидности. Комплекс исследований включал определение микротвердости, плотности, люминесценции (10 образцов), оптико-петрографический анализ (4 шлифа), количественное определение минерального и химического состава (2 пробы), электронно-зондовые исследования (2 образца).

Результаты. Септарии состоят (мас. %): кварц — 38, гётит — 16, хлорит (шамозит) — 28, каолинит — 6, сидерит — 5, доломит — 4, кальцит — 1, пирит, цеолит, апатит, гидрослюда менее 1. Установлены дисперсные включения лейкоксена, барита, микроклина. Прожилки септарий выполнены преимущественно доломитом, кварцем, хлоритом с включениями сидерита, кальцита и пирита. Из элементов-примесей фиксируются в интервале 0,01—0,05 мас. %: Zn, Sr, Ba; в интервале 0,001—0,01 мас. %: Cr, V, Ni, Cu, Rb, Zr, Y, Pb. Минеральный состав септарий Марокко существенно отличается от септарий других регионов мира, в которых определяющую роль играет кальцит.

Заключение. Септарии Марокко небольшого размера (от 2 до 6 см) используются в качестве интерьерных образцов и кабошонов для ювелирных изделий. Впервые установлены минеральный и химический (включая микровключения и элементы-примеси) состав септарий, что позволяет проводить их идентификацию. Минеральный состав септарий связан с региональным низкотемпературным метаморфизмом, изменившим первоначальный преимущественно кальцитовый состав.

Ключевые слова: ювелирное сырье, септарии, метаморфизм, Марокко

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Петроченков Д.А. Ювелирные септарии Марокко. Геммологические характеристики, особенности минерального состава. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):67—76. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-67-76>

Статья поступила в редакцию 27.12.2022

Принята к публикации 21.02.2023

Опубликована 31.03.2023

JEWELRY MOROCCO SEPTARIA. GEMOLOGICAL CHARACTERISTICS AND MINERAL COMPOSITION

DMITRY A. PETROCHENKOV

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

ABSTRACT

Background. Septaria, comprising calcareous-clay nodules with calcite veins, are widely used as jewelry and ornamental materials. Septaria from Morocco represented on the world and Russian markets of jewelry and ornamental stones remain gemologically and mineralogically underexplored. In this article, the gemological characteristics and mineral composition of Morocco septaria, as well as the conditions of their formation, are described for the first time.

Aim. To determine the gemological characteristics and mineral composition of Morocco septaria, as well as their formation conditions. To conduct their comparison with septaria from other regions of the world.

Materials and methods. The author studied the assortment of Morocco septaria presented at international and Russian exhibitions. A collection (15 samples) representing the main decorative septarium varieties was compiled. The materials underwent determination of microhardness, density, luminescence (10 samples), optical-petrographic analysis (4 sections), quantitative determination of mineral and chemical composition (2 samples), electron probe studies (2 samples).

Results. The septaria were found to consist of (wt %): quartz — 38, goethite — 16, chlorite (shamosite) — 28, kaolinite — 6, siderite — 5, dolomite — 4, calcite — 1, pyrite, zeolite, apatite, hydrosilicates less than 1. Dispersed inclusions of leucosilene, barite, and microcline were discovered. The septarium veins consisted mainly of dolomite, quartz, chlorite with inclusions of siderite, calcite and pyrite. The Zn, Sr, and Ba impurities ranged within 0.01—0.05 wt %, while Cr, V, Ni, Cu, Rb, Zr, Y, and Pb ranged within 0.001—0.01 wt %. The mineral composition of the studied Morocco septaria was found to differ significantly from that of septaria in other regions of the world, where calcite plays a decisive role.

Conclusion. Morocco septaria of small size (from 2 to 6 cm) are used as interior decorations and jewelry cabochons. The mineral and chemical (including micro-inclusions and impurities) composition of Morocco septaria was established for the first time, which allows their identification. The mineral composition of the septaria under study is associated with the regional low-temperature metamorphism, which altered the original, predominantly calcite composition.

Keywords: jewelry raw materials, septaria, metamorphism, Morocco

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest

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

For citation: Petrochenkov D.A. Jewelry Morocco septaria. Gemological characteristics and mineral composition. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):67—76. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-67-76>

Manuscript received 27 December 2022

Accepted 21 February 2023

Published 31 March 2023

Септарии — известково-глинистые конкреции, разбитые внутри трещинами высыхания [3], выполненными минеральным веществом. В последние десятилетия септарии широко используются в качестве ювелирно-поделочного материала [1]. Такие септарии известны на Мадагаскаре [8], а в РФ в Ульяновской области [7], республиках

Дагестан [5] и Адыгея [6] и добываются, как правило, попутно с аммонитами.

Из Марокко на мировом рынке ювелирно-поделочных камней, включая российский, широко представлены аммониты верхнедевонского и среднеюрского возраста [4, 9—13], а в последний период стали поступать и септарии. Марокканские

септарии используются в ювелирных изделиях и в качестве декоративных спиллов в интерьере (рис. 1А, В).

Септарии добываются в северной части Марокко в районе городов Уджа и Надор и, предположительно, связаны с отложениями апта нижнего мела. В регионе отложения представлены чередованием глин и алевролитов, пестроцветных глин и доломитов мощностью 120—130 м [14]. Регион слабо изучен, и в литературе о местах добычи септарий, а также их минералогии информация отсутствует. В данной статье впервые по результатам детальных исследований приводятся минеральный состав и геммологические характеристики септарий из Марокко.

Материалы и методы

Автором изучен ассортимент септарий Марокко, а также изделий из них, представленный на международных и российских выставках; собрана коллекция (15 образцов), отражающая основные декоративные разновидности. Септарии распиливались, полировались. Из них были изготовлены вставки для ювелирных изделий и сами изделия. По декоративным и технологическим характеристикам были отобраны характерные образцы септарий, которые были детально изучены. Комплекс исследований септарий ювелирного качества проведен в лабораториях МГРИ, ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ИГЕМ» РАН. Он включал определение плотности, микротвердости, люминесценции (10 образцов), оптико-петрографический анализ (4 шлифа), количественное определение минерального и химического состава (2 пробы), электронно-зондовые исследования (2 образца).

Количественное определение химического состава септарий выполнено методом рентгеновского

флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios MAX Advanced. Оптико-петрографический и минералогический анализ выполнен с использованием микроскопов «Полам Р-112» и «Leika DMRX». Микротвердость определялась на микротвердометре «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 сек. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с $\lambda = 254$ и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии.

Результаты

По данным РКФА септарии состоят (мас.%): кварц — 38, гётит — 16, хлорит (шамозит) — 28, каолинит — 6, сидерит — 5, доломит — 4, кальцит — 1, пирит, цеолит, апатит, гидрослюда менее 1. Минеральный состав существенно отличается от изученных ранее септарий [5—8]. В септариях Марокко практически отсутствует кальцит — основной минерал септарий других объектов, при высоких содержаниях гётита, хлорита, каолинита, сидерита и доломита. По минеральному составу марокканские септарии можно отнести к хлорит-гётит-кварцевому алевролиту.

В химическом составе септарий (табл. 1) отметим низкие содержания S, указывающие

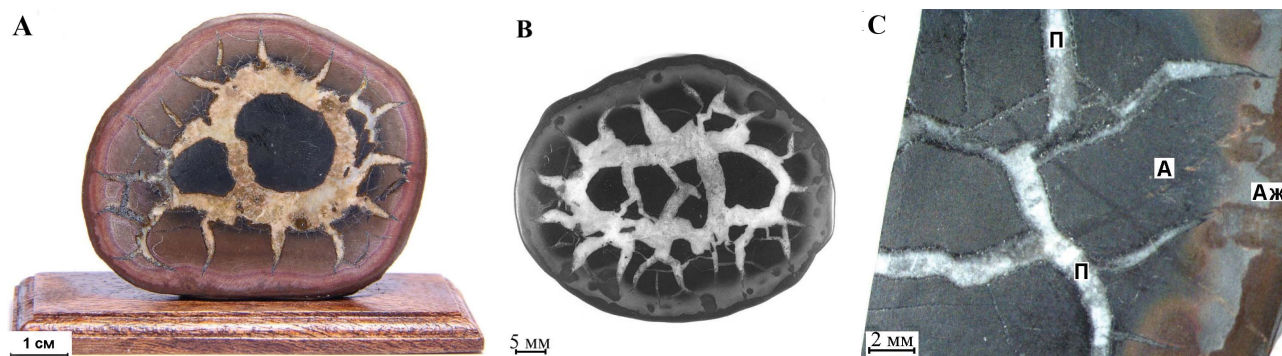


Рис. 1. Декоративный спил (А), кабошон (В) и фрагмент детализации (С) септарии. П — прожилок полиминерального состава. А — алевролит не измененный. Аж — алевролит ожелезненный

Fig. 1. Decorative cut (A), cabochon (B) and detail fragment (C) of the septarium. П — veins of polymineral composition. А — siltstone unchanged. Аж — siltstone ironized

Таблица 1. Химический состав септарий по данным РФА
Table 1. Chemical composition of septaries according to the x-ray phase analysis data

Содержание компонента, мас. %											
Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	ППП*
0,26	1,98	7,50	50,22	0,47	3,58	0,28	0,48	30,92	0,73	0,05	3,11

Примечание: * ППП — потери при прокаливании.

Note: ППП — loss on ignition.

Таблица 2. Содержание элементов-примесей в септариях по данным РФА
Table 2. The content of impurity-elements in the septaries according to the x-ray phase analysis data

Содержание элемента, мг/кг ($\times 10^{-4}$ мас. %)													
Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	U	Th	Y	Pb	As
50	27	91	34	420	24	113	75	165	<5	<5	61	33	<10

на незначительное присутствие пирита, повышенные содержания P₂O₅ связаны с апатитом и TiO₂ — с минералами титана. Из элементов-примесей фиксируются в интервале 0,01—0,05 мас. %: Zn, Sr, Ba; в интервале 0,001—0,01 мас. %: Cr, V, Ni, Cu, Rb, Zr, Y, Pb (табл. 2). Отметим низкие содержания радиоактивных и канцерогенных элементов.

Размер септарий преимущественно от 2 до 6 см, что позволяет использовать в ювелирных изделиях их полный срез (рис. 1А, В). Септарии — плотная порода, трудно раскалывающаяся, с раковистым изломом. Цветовая гамма септарий находится в широком диапазоне (рис. 1). Прожилки от белого до коричневатого цвета. Их ширина от нитевидных до 6 мм. Количество прожилков в септариях существенно меняется, а их рисунок не повторяется. Основной объем прожилков непрозрачен, тонкие и окончания крупных — полупрозрачны, бесцветны. Как правило, крупные прожилки белого цвета имеют по контактам прерывистый тонкий, около 0,1 мм, более светлый слой (рис. 1С). Прожилки белого цвета, плотные, с небольшим количеством мелких пор, коричневатые-белые, насыщены порами и пустотами выщелачивания, что указывает на их неустойчивость. В прожилках наблюдается редкая вкрапленность кристалликов пирита, кубического габитуса размером до 1 мм. Часть кристаллов пирита замещена гётитом с сохранением исходной формы.

Основная часть породы септарий равномерно тонкозернистая, черного, серого, серо-коричневого, красновато-коричневого цвета, текстура массивная (рис. 1С). Черный цвет характерен для центральных частей септарий, коричневый — для периферийных. Красновато-коричневые цвета проявлены в виде пятен по периферии септарий. Текстура септарий зонально-концентрическая.

Белые прожилки сложного рисунка эффектно выглядят на черном фоне с коричневым обрамлением.

Микротвердость септарий (кг/мм²): прожилков — 193, основной породы черного цвета — 289, а красновато-коричневой — 178. Плотность изменяется от 2,80 до 3,04 г/см³. Люминесценция не проявлена. Основное количество септарий хорошо полируется до стеклянного блеска с ровной поверхностью.

В прозрачных шлифах (рис. 2В) и ОРЭ (рис. 3А) отчетливо проявлена зональность прожилков. Их центральные части выполнены доломитом. Кристаллы изометричной формы размером 0,01—0,15 мм. Характерны блоки размером до 0,6 мм с близкой ориентировкой кристаллов. При выклинивании прожилка уменьшается и размер кристаллов.

В прожилке установлено выделение доломита с четким прямоугольным контуром более светлого серого цвета в ОРЭ, размером 280 мкм (рис. 3А). Выделение содержит микропоры и включения кальцита. В выделении доломита фиксируются пониженные содержания Mg и повышены Mn. Можно предположить, что данное выделение представляет псевдоморфозу доломита по более раннему кальциту, что подтверждается его присутствием в виде включений размером до 20 мкм. Включения кальцита изометричной формы со сложным, часто нечетким контуром. Аналогичные включения фиксируются и в других частях септарии в ассоциации с хлоритом, кварцем и пиритом (рис. 3В).

Краевые зоны прожилков шириной около 0,15 мм выполнены хлоритом. Контакты с доломитом неровные зубчатые, с алевролитом более четкие, мелкозубчатые (рис. 2В, 3А, В). Тонкие и выклинивающиеся части более крупных прожилков выполнены только хлоритом. Размер

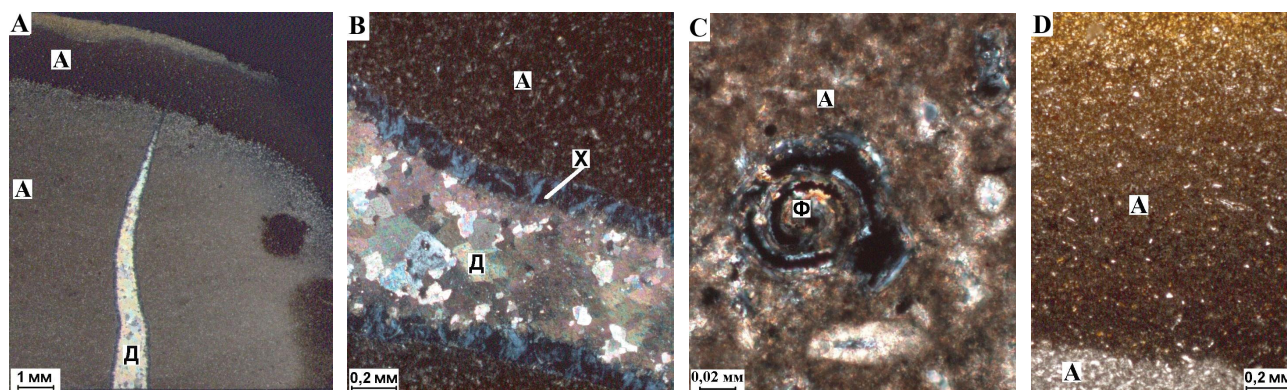


Рис. 2. Прозрачные шлифы септарии. С анализатором — А—С, без — D. А — прожилки в зональном алевролите; В — структура доломит-хлоритового прожилка; С — центральные светло-коричневые участки септарии; D — краевые зоны септарии. Д — доломит, X — хлорит, А — алевролит, Ф — минерализованная раковина фоссил

Fig. 2. Transparent thin sections of septarium. With analyzer — А — С, without — D. А — veins in zonal siltstone; В — structure of dolomite-chlorite vein; С — central light brown areas of septaria; D — marginal zones of septaria. Д — dolomite, X — chlorite, А — siltstone, Ф — mineralized shell of fossil

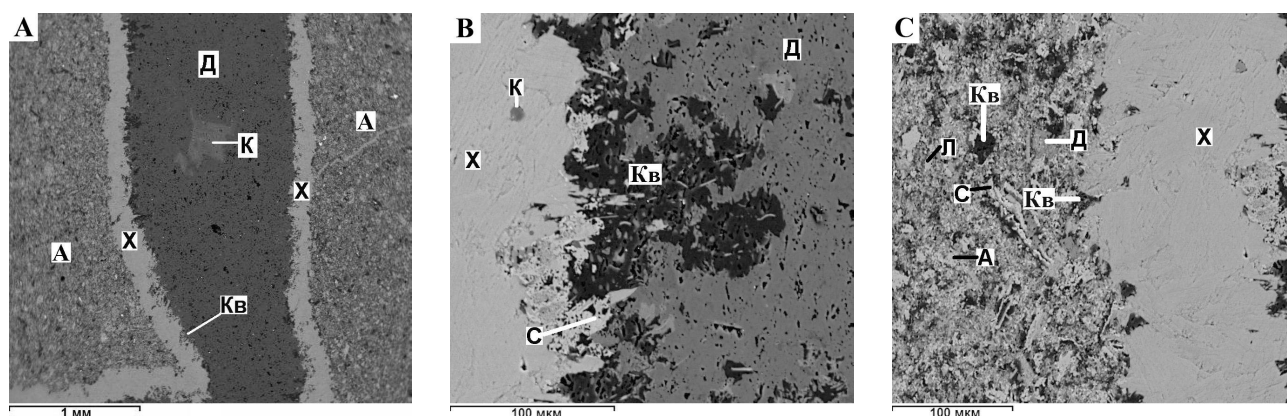


Рис. 3. Зональный прожилок в септарии (А); зальбанд (В) и зона контакта прожилка с алевролитом (С). Микрозонд, ОРЭ. Д — доломит, К — кальцит, X — хлорит, Кв — кварц, А — алевролит, С — сидерит, Ап — апатит, Л — лейкоксен

Fig. 3. The zonal vein in the septarium (A); the selvage (B) and the contact zone of the vein with siltstone (C). Microprobe, BSE. Д — dolomite, К — calcite, X — chlorite, Кв — quartz, А — siltstone, С — siderite, Ап — apatite, Л — leucoxene

кристаллов тонкодисперсный. В ОРЭ хлорит выделяется на фоне доломита светло-серой окраской. На одних участках хлорит образует однородную сплошную массу, на других присутствует в виде микронной вкрапленности.

В прожилках септарии на контакте хлорита и доломита присутствуют кварц и сидерит (3В). Отдельные выделения кварца от 5 до 50 мкм. На многих участках они образуют протяженные полупрозрачные зоны. Контакты кварца с доломитом и хлоритом неровные, сложной формы. Наблюдаются многочисленные включения этих минералов и в кварце, что указывает на его более позднее образование. Выделения сидерита размером

1—15 мкм, более крупные имеют сложный, неровный контур.

Основная часть септарии образована тонкодисперсным полиминеральным агрегатом с микролепидогранобластовой структурой. Краевые части шириной 2 мм темного цвета (рис. 2А, D) с узкой более светлой зоной шириной около 0,4 мм. Центральные части септарии более светлые (рис. 2А, С). В тонкодисперсном агрегате присутствуют более крупные светлые включения изометричной и удлиненной формы размером от 0,01 до 0,08 мм по удлинению. Такие включения неоднородны и состоят из более мелких кристаллов (рис. 2С). В алевролите

встречаются мелкие минерализованные раковины фосфоритов размером 0,06 мм (рис. 2С). Темные зоны септарии в большей степени насыщены гётитом, который и определяет их цвет. Темные фрагменты округлой формы размером около 1 мм присутствуют и в более светлой внутренней части септарии (рис. 2А).

Центральная неизменная часть септарии образована тонкодисперсными выделениями кварца, хлорита, каолинита, сидерита с включениями гётита, апатита, пирита, лейкоксена (рис. 3С, 4). Кварц широко представлен в септарии (рис. 4). Он присутствует в виде включений изометричной формы со сложными неровными контурами, размером от 1 до 30 мкм. Кварц образует тесные сростания с хлоритом, сидеритом, гётитом, апатитом. Наряду с кристаллическим, присутствуют выделения и не раскристаллизованный кварц. Сидерит присутствует также в виде мелких — 1—15 мкм включений в центральных частях септарии в сростании с хлоритом, кварцем, гётитом (рис. 4). Сидерит не фиксируется в периферийных зонах конкреции с повышенным содержанием гётита.

Апатит присутствует в небольшом количестве в виде дисперсных включений размером 3—10 мкм (рис. 3С) в тесном сростании с хлоритом. В септарии присутствуют редкие включения лейкоксена, связанные с исходным терригенным морским осадком. Размер зафиксированных включений 5—10 мкм (рис. 3С).

В заметных количествах в септарии присутствуют включения пирита (рис. 4В, С) в ассоциации с доломитом, кварцем, хлоритом, сидеритом, гётитом. Пирит фиксируется как в прожилках, так и в основной породе септарии. Размер

выделений — от микронных до 100 мкм. Дисперсные выделения пирита имеют глобулярную форму, более крупные приобретают кубический габитус (рис. 4В). Как правило, пирит присутствует в виде скоплений отдельных кристаллов. Пирит неустойчив и замещается гётитом в зоне окисления. Поэтому в периферийных измененных частях септарии он редок. Наблюдается разрушение относительно крупных, около 120 мкм, кристаллов пирита с образованием хлорита в ассоциации с кварцем и сидеритом (рис. 4С). С другой стороны, идет образование скоплений размером до 10 мкм, состоящих из микронных и менее глобулярных кристаллов пирита, связанных с жизнедеятельностью бактерий. Включения гётита в неизменных частях септарий немногочисленны, имеют дисперсную размерность и развиваются преимущественно по пириту.

Внешняя измененная зона септарии состоит из дисперсных сростаний кальцита, хлорита, кварца, гётита (рис. 5). В этой зоне также зафиксированы включения пирита, барита, апатита, микроклина, цеолитов. Выделения кальцита, хлорита, кварца, апатита, аналогичны неизменной части септарии. Включения пирита немногочисленны, имеют дисперсную размерность. Выделения гётита в периферийной зоне септарии многочисленны и фиксируются в тесном сростании с хлоритом, кварцем. Гётит замещает пирит, сидерит, хлорит и определяет коричневые цвета септарии.

Зафиксированы единичные выделения барита размером 1—10 мкм в ассоциации с хлоритом, кальцитом и кварцем (рис. 5В). В единичном случае зафиксирован микроклин размером около 10 мкм в ассоциации с хлоритом, гётитом, кварцем

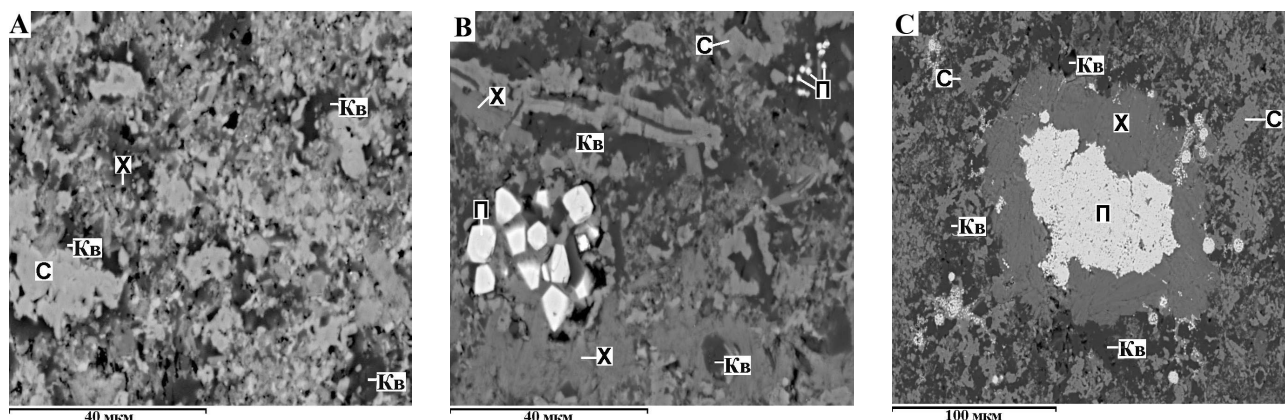


Рис. 4. Слабоизмененный алевролит центральной части септарии с включениями пирита (П), сидерита (С), хлорита (Х), кварца (Кв) (А-С). Микрозонд, ОПЭ

Fig. 4. Slightly altered siltstone of the central part of the septarium, with inclusions of pyrite (П), siderite (С), chlorite (Х), quartz (Кв) (А-С). Microprobe, BSE

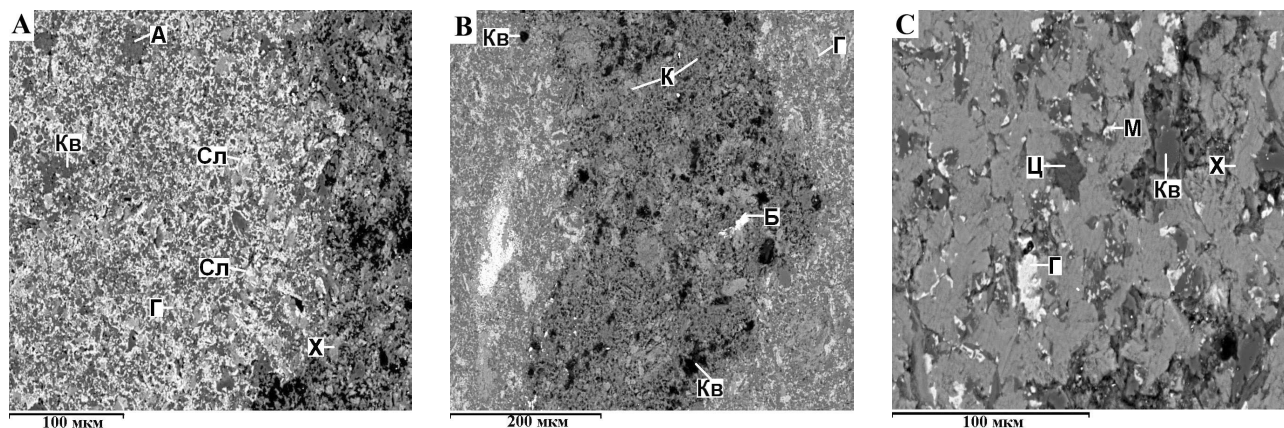


Рис. 5. Сильно ожелезненный алевролит периферийных частей септарии (А—С). Микрозонд, ОРЭ. Х — хлорит, Г — гётит, С — сидерит, Кв — кварц. А — апатит, К — кальцит, М — микроклин, П — пирит, Б — барит, Сл — гидрослюда, Ц — цеолит

Fig. 5. Highly calcified siltstone of the peripheral parts of the septarium (A — C). Microprobe, BSE. X — chlorite, Г — goethite, С — siderite, Кв — quartz. А — apatite, К — calcite, М — microcline, П — pyrite, Б — barite, Сл — hydrosilude, Ц — zeolite

(рис. 5С). По данным РКФА, в септарии присутствуют следы цеолитов и гидрослюда. Цеолит зафиксирован во внешней зоне септарии в ассоциации с хлоритом, гётитом, кварцем (рис. 5С). Выделение цеолита изометричной формы размером около 12 мкм подвергается коррозии. Гидрослюды зафиксированы в ассоциации с кварцем, гётитом, хлоритом (рис. 5А). Размер выделения около 5 мкм.

Изучение химического состава минералов, образующих септарию, по данным РСМА, позволило сделать следующие выводы. Доломит содержит в среднем (мас.%): Mg — 6,69, Mn — 1,84, Fe — 8,08, Ca — 19,92 и O — 15,96 при больших колебаниях значений. В отдельных спектрах фиксируются содержания (мас.%): Na — до 0,24, Si — до 7,97, Al — до 0,21, P — до 1,17 и Sr — до 0,17. Значительное количество элементов и колебание их содержаний связано с попаданием в спектры различных минералов, установленных в септарии. Характерной особенностью доломита в септарии Марокко являются высокие содержания железа.

Из элементов-примесей в кальците фиксируются в среднем (мас.%): Mg — 0,34, Mn — 2,89, Fe — 2,26. В отдельных спектрах фиксируются содержания (мас.%): Al — до 0,91, Si — до 17,02, P — до 0,20, S — до 0,48, K — до 0,15 и Na — до 0,20. Существенно колеблются и содержания Ca и O. Значительные колебания содержаний и присутствие большого числа нехарактерных элементов связаны с микровключениями хлорита, кварца, пирита, апатита. По химическому составу кальцит, расположенный в прожилках и остальной части септарии, близок.

Хлорит относится к железистой разновидности — шамозиту. Основные элементы, присутствующие во всех спектрах (мас.%): Mg — от 2,20 до 5,34, Al — от 0,54 до 16,06, Si — от 6,86 до 25,01, Fe — от 13,52 до 28,19 и O — от 22,52 до 43,34. В ряде спектров фиксируется содержание (мас.%): Na — до 0,34, K — до 0,32, Mn — до 1,56, Ca — до 16,81, а также P — до 1,02, Ti — до 0,61, Sr — до 0,52, S — до 1,06, Zn — до 0,26, Ba — до 0,27. Повышенное содержание Ca связано с доломитом и кальцитом, P — с апатитом, Si — с кварцем, S и Fe — с пиритом, Fe — с сидеритом, Ba — с баритом, Ti — с лейкоксом, также установленными в септарии. Шамозит относится к низкотемпературным минералам и образуется в обстановке низкого окислительно-восстановительного потенциала, ассоциирует с сидеритом и сульфидами железа [2]. Значительная часть шамозита замещена каолинитом, составляющим, по данным РКФА, 6 мас.%.

В сидерите фиксируются устойчивые содержания в среднем (мас. %): Mg — 4,11, Mn — 1,83, Ca — 1,29, Fe — 33,71 и O — 16,37. В отдельных спектрах фиксируются также содержания (мас.%): Si — до 12,98, Na — до 0,66, P — до 0,28, Sr — 0,23, Al — до 0,94, K — до 0,52, Ti — до 0,16, Zn — до 0,19, V — до 0,13. Элементный состав спектров указывает на тесное срастание сидерита с кварцем, хлоритом, гётитом. Присутствуют микровключения апатита, лейкоксона.

В гётите содержания Fe изменяются от 39,91 до 53,70 мас.%, O — от 17,93 до 26,28 мас.%, что связано с попаданием в спектр кварца, хлорита

и ряда других минералов. На это указывает присутствие в спектрах содержаний (мас.%): Mg — до 3,28, Ca — до 1,58, Mn — до 2,07, Al — до 6,71, Si — до 9,18, P — до 0,28, K — до 0,56, Na — до 0,55, Ti — до 0,43, Zn — до 0,23, Ni — до 0,15, Sr — до 0,08 и S — до 0,09. По данным РКФА, гидроксиды железа кристаллические.

Из элементов-примесей в пирите в отдельных спектрах фиксируются содержания (мас.%): As — до 0,49, Ni — до 0,16. В спектрах присутствуют также содержания (мас.%): Al — до 7,50, Si — до 6,91, Mg — до 2,20, P — до 0,13, K — до 0,11, Ca — до 0,35, O — до 46,84, что указывает на сростание пирита с хлоритом, кварцем, доломитом, сидеритом и, возможно, апатитом. Наряду с высокими содержаниями P, Ca, O, в апатите фиксируются и высокие содержания Mg, Si, Mn и Fe, и повышенные Na, K, связанные с микровключениями хлорита. По данным РСМА, апатит относится к гидроксипатиту.

На тесное сростание кварца с другими минералами указывают содержания (мас.%): Na — до 0,98, K — до 1,30, Mg — до 1,21, Al — до 4,15, P — до 2,11, S — до 0,09, Ca — до 6,81, Mn — до 0,28 и Fe — до 9,07. В гидрослюде помимо высоких содержаний (мас.%): Al — 13,12, Si — 19,85, O — 38,79 фиксируются содержания Mg — 0,85, K — 8,04, Ca — 0,08, Ti — 0,19, Fe — 7,34 и Ba — 0,36, что позволяет отнести ее к железистой разновидности — глаукониту, характерному минералу морского осадка. Он является типичным седиментогенным минералом мелководных бассейнов, образующимся при незначительном изменении окислительно-восстановительного потенциала в мобильных водах [2].

В лейкоксене, помимо высоких содержаний Ti и O, фиксируются содержания (мас.%): Mg — до 0,13, Al — до 1,78, Si — до 2,50, K — до 0,08, Ca — до 0,62, V — до 0,48 и Fe — до 1,16, что связано с попаданием в спектр хлорита, кварца. В выделении микроклина фиксируются, помимо высоких

содержаний (мас.%): Al — 18,05, Si — 23,04, K — 8,20 и O — 45,55, повышенные Fe — 2,35, Na — 0,36, Mg — 0,86, Ti — 0,32 и Ba — 0,43. В барите, помимо высоких содержаний (мас.%): S — 13,80, Ba — 43,78 и O — 31,54, фиксируются повышенные Sr — 5,47, Fe — 3,48, а также Mg — 0,29, Al — 0,03, Si — 0,77, Ca — 0,44, указывающие на тесное сростание с кальцитом, хлоритом и кварцем. В цеолите фиксируются содержания (мас.%): высокие Al — 20,30, Si — 23,12, O — 46,47, повышенные Na — 3,08, K — 1,93, Fe — 1,65 и низкие Mg — 0,21.

Заключение

Септарии Марокко содержат прожилки, vyplненные преимущественно доломитом, кварцем, хлоритом с включениями сидерита, кальцита и пирита. Основная порода состоит из кварца, хлорита, каолинита, гётита, кальцита, сидерита с включениями апатита, гидрослюд, микроклина, цеолитов, пирита, лейкоксена, барита дисперсной размерности. По минеральному составу септарии можно отнести к хлорит-гётит-кварцевому алевролиту с микролепидогранобластовой структурой. Их минеральный состав существенно отличается от септарий других регионов мира и связан с региональным низкотемпературным метаморфизмом, в результате которого образовались хлорит, кварц, доломит и цеолиты. Эти минералы частично заместили кальцит, образованный на первом этапе формирования конкреций. В экзогенный этап при выводе септарий в приповерхностные горизонты образовались каолинит и гётит.

По декоративным и технологическим характеристикам септарии Марокко востребованы на мировом рынке в качестве небольших интерьерных образцов и вставок для ювелирных изделий. Небольшие размеры септарий не позволяют использовать их для изготовления сувенирной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов В.В. Цветные камни. Энциклопедия. СПб., 2008. 416 с.
2. Костов Г.Н. Минералогия. М.: Мир, 1970. 584 с.
3. Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Струве Э.А. Петрографический словарь. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 447 с.
4. Петроченков Д.А. Особенности обработки верхнедевонских ювелирно-поделочных аммонитов Марокко // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 34—41.
5. Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю., Быстров И.Г. Ювелирно-поделочные септарии Республики Дагестан // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 1. С. 79—87.
6. Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические характеристики ювелирно-поделочных септарий Республики Адыгея // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 3. С. 107—114.

7. Петроченков Д.А. Геммологические характеристики ювелирно-поделочных септарий Ульяновской области // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2019. № 2. С. 21—27.
8. Петроченков Д.А. Аммониты и септарии месторождения Ататао. Мадагаскар. Методы добычи, геммологические характеристики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 3. С. 142—150, 162, 163.
9. Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V. Upper Givetian ammonoids from Dar Kaoua (Tafilalt, SE Anti-Atlas, Morocco) // Berliner paläobiologische Abhandlungen. 2009. Vol. 11. P. 61—128.
10. Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013. Vol. 16(1). P. 5—65.
11. Bourillot R., Neige P., Pierre A., Durlet C. Early-Middle Jurassic Lytoceratid ammonites with constrictions from Morocco: palaeobiogeographical and evolutionary implications // Paleontology. 2008. Vol. 51. Part 3. P. 597—609.
12. Ebbighausen V., Becker R.T., Bockwinkel J. Morphometric analyses and taxonomy of oxyconic Goniatites (Paratornoceratinae n. subfam.) from the Early Famennian of the Tafilalt (Anti-Atlas, Morocco) // Abhandlungen Der Geologischen Bundesanstalt. 2002. Vol. 57. P. 167—180.
13. Hammichi F., Benshili K., Elmi S. Toarcian-Aalenian ammonite faunas of the south-western Middle Atlas (Morocco). Les faunes d'Ammonites du Toarcien-Aalénien du Moyen Atlas sud-occidental (Maroc) // Revue de Paléobiologie, Genève. 2008. Vol. 27(2). P. 429—447.
14. Rey J., Canerot J., Peybernes B. Lithostratigraphy, biostratigraphy and sedimentary dynamics of the Lower Cretaceous deposits on the northern side of the western High Atlas (Morocco) // Cretaceous Research. 1988. Vol. 9. P. 141—158.

REFERENCES

1. Bukanov V.V. Colored stones. Encyclopedia. St. Petersburg, 2008. 416 p. (In Russian).
2. Kostrov G.N. Mineralogy. Moscow: Mir, 1970. 584 p. (In Russian).
3. Levinson-Lessing F.Yu., Struve E.A. Petrographic dictionary. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963. 447 p. (In Russian).
4. Petrochenkov D.A. Features of mining of Upper Devonian jewelry and ornamental ammonites of Morocco // Mining information and analytical bulletin. 2018. Vol. 2. P. 34—41 (In Russian).
5. Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu., Bystrov I.G. Jewelry and ornamental septaries of the Republic of Dagestan // Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2018. Vol. 12. No. 1. P. 79—87 (In Russian).
6. Petrochenkov D.A. Mineral composition and gemological characteristics of jewelry and ornamental septaries of the Republic of Adygea // Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 107—114 (In Russian).
7. Petrochenkov D.A. Gemological characteristics of jewelry and ornamental septaries of the Ulyanovsk region // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2019. No. 2. P. 21—27 (In Russian).
8. Petrochenkov D.A. Ammonites and septaries of the Atatao deposit. Madagascar. Mining methods, gemological characteristics // Mining information and analytical bulletin. 2019. No. 3. P. 142—150, 162, 163 (In Russian).
9. Bockwinkel J., Becker R. T., Ebbighausen V. Upper Givetian ammonoids from Dar Kaoua (Tafilalt, SE Anti-Atlas, Morocco) // Berliner paläobiologische Abhandlungen. 2009. Vol. 11. P. 61—128.
10. Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V. Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013. Vol. 16(1). P. 5—65.
11. Bourillot R., Neige P., Pierre A., Durlet C. Early-Middle Jurassic Lytoceratid ammonites with constrictions from Morocco: palaeobiogeographical and evolutionary implications // Paleontology. 2008. Vol. 51. Part 3. P. 597—609.
12. Ebbighausen V., Becker R.T., Bockwinkel J. Morphometric analyses and taxonomy of oxyconic Goniatites (Paratornoceratinae n. subfam.) from the Early Famennian of the Tafilalt (Anti-Atlas, Morocco) // Abhandlungen Der Geologischen Bundesanstalt. 2002. Vol. 57. P. 167—180.
13. Hammichi F., Benshili K., Elmi S. Toarcian-Aalenian ammonite faunas of the south-western Middle Atlas (Morocco). Les faunes d'Ammonites du Toarcien-Aalénien du Moyen Atlas sud-occidental (Maroc) // Revue de Paléobiologie, Genève. 2008. Vol. 27(2). P. 429—447.
14. Rey J., Canerot J., Peybernes B. Lithostratigraphy, biostratigraphy and sedimentary dynamics of the Lower Cretaceous deposits on the northern side of the western High Atlas (Morocco) // Cretaceous Research. 1988. Vol. 9. P. 141—158.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Dmitry A. Petrochenkov — 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 take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Петроченков Дмитрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой «Минералогия и геммология» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: p-d-a@mail.ru
SPIN-код: 7283-0347

Dmitry A. Petrochenkov — Cand. of Sci. (Geol. and Mineral.), Assoc. Prof., Director of the Department Mineralogy and Gemology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: p-d-a@mail.ru
SPIN-code: 7283-0347



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88>
УДК 549.08: 543.573



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Т.А. БУДЫКИНА^{1,*}, Л.В. ГАНДУРИНА²

¹ ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

1а, Соколовская ул., г.о. Химки, м/р-н Новогорск, Московская область 141435, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение свойств глинистых пород имеет большое значение в связи с широким применением глинистого сырья в разных отраслях промышленности. Но идентификация глинистых минералов является сложной задачей.

Цель. Изучение свойств глинистых материалов, отобранных из разных местностей, методом синхронного термического анализа для выявления закономерностей в свойствах и идентификации состава.

Материалы и методы. Исследовались природные материалы из разных географических мест нашей страны и ближнего зарубежья методом синхронного термического анализа.

Результаты. Исследование свойств глинистых материалов методом синхронного термического анализа позволяет проследить поведение материалов при температурном воздействии. Возможны предположение и идентификация состава породы на основе сравнения термогравиметрических кривых исследуемых образцов и известных пород.

Заключение. Установлена возможность применения метода термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы, однако существующее многообразие грунтов на планете не позволяет однозначно сделать вывод об их компонентном минеральном составе. Для этого необходимо дополнительно привлекать другие методы исследования (рентгенофазовый, седиментационный, оптический и пр.).

Ключевые слова: синхронный термический анализ, термогравиметрические кривые, дифференциально-сканирующая калориметрия, бентониты, глины

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Будыкина Т.А., Гандурина Л.В. Исследование свойств глинистых пород методом термического анализа. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):77—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88>

Статья поступила в редакцию 25.01.2023

Принята к публикации 06.03.2023

Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

INVESTIGATION OF ARGILLACEOUS ROCK PROPERTIES BY THERMAL ANALYSIS

TATIANA A. BUDYKINA^{1,*}, LYUDMILA V. GANDURINA²

¹ Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia
1A, Sokolovskaya str., Khimki, md. Novogorsk, Moscow region 141435, Russia

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

ABSTRACT

Background. The importance of studying the properties of argillaceous rock materials is determined by their widespread application in various industries. At the same time, identification of argillaceous minerals is associated with a number of difficulties.

Aim. To study the properties of argillaceous rock materials collected in different sites by the method of simultaneous thermal analysis to reveal their characteristic patterns and to identify their composition.

Materials and methods. Natural materials from different geographical sites in Russia and neighboring countries were studied by the method of simultaneous thermal analysis.

Results. The use of simultaneous thermal analysis for studying the properties of argillaceous materials allows their behavior to be studied under temperature exposure. The composition of rock samples can be identified by comparing their thermogravimetric curves with those of known rocks.

Conclusion. The possibility of using thermal analysis for identifying the presumed mineral composition of the studied rock material was established. However, the diversity of soils on the planet impedes drawing a definite conclusion about their mineral composition. Therefore, thermal analysis should be applied in combination with other research methods, such as XRD, sediment, optical, etc., analytical techniques.

Keywords: simultaneous thermal analysis, thermogravimetric curves, differential scanning calorimetry, bentonites, clays

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

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

For citation: Budykina T.A., Gandurina L.V. Investigation of argillaceous rock properties by thermal analysis. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):77—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-77-88>

Manuscript received 25 January 2023

Accepted 06 March 2023

Published 31 March 2023

* Corresponding author

Изучение свойств глинистых пород имеет большое значение в связи с тем, что глинистое сырье широко применяется не только в строительстве для производства керамзитовых гравия, щебня, песка, керамического кирпича, плитки, огнеупоров, но и в других отраслях, например в водоподготовке, при производстве коагулянтов для очистки сточных вод, на полигонах для размещения отходов в качестве водоупоров, в косметологии и пр. Изучение минеральной составляющей глинистого сырья как наиболее энергетически активного компонента позволяет определить характерные

черты материала в целом [7]. Вместе с тем идентификация глинистых минералов является одной из наиболее сложных задач [2].

Согласно ГОСТ 21216-2014, глинистое сырье представляет собой тонкодисперсные осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов (монтмориллонита, гидрослюда, каолинита и др.), содержащие минеральные (кварцевые, полевошпатовые, карбонатные, железистые) и органические примеси.

Для изучения глинистых минералов необходим комплексный подход, включающий разные виды

исследований: рентгенофазовый, химический и термический анализы [3, 5, 6, 8—13, 15—17]. В данной статье приведены результаты исследования глинистого сырья методом синхронного термического анализа (СТА). Сущность метода заключается в изучении фазовых превращений исследуемой пробы вещества при ее нагревании. Под синхронным термическим анализом понимается совместное использование термогравиметрии (ТГА), посредством которой постоянно регистрируется изменение массы пробы при нагревании по заданной температурной программе, и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), регистрирующей возникающие тепловые эффекты.

Цель исследования: исследование свойств глинистых материалов, отобранных из разных местностей, методом синхронного термического анализа для выявления закономерностей в свойствах и идентификации состава.

Объектами исследования являлись 13 образцов природных материалов, отобранных в разных географических местностях нашей страны и ближнего зарубежья, которым в статье были даны следующие сокращения:

Г1 — глинистая порода серая, темная (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г2 — глинистая порода серая, светлая (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г3 — глинистая порода красная (м/р-н Новогорск, Московская область);

Г4 — глина красная (с. Спасское-Лутовиново, Орловская область);

Г5 — глина желтая (с. Спасское-Лутовиново, Орловская область);

Б1 — бентонит, активированный содой (Курганская область);

Б2 — бентонит (Курганская область);

Б3 — бентонит (Азербайджан);

Б4 — бентонит (г. Тольятти);

С1 — суглинок, морена (Московская область);

С2 — суглинок (Республика Крым, пос. Орджоникидзе);

К1 — каолинит;

К2 — клиноптилолит.

Исследуемые образцы, кроме Г4, Г5, представлены на рисунке 1.

В данной работе представлены результаты исследования образцов, не имеющих идентификационных признаков (Г1—Г5, С2), в сравнении с известными осадочными породами — бентонитовыми глинами (Б1—Б4), суглинками (С1), каолином (К1) и клиноптилолитом (К2) — для выявления закономерностей.

Методы анализа

Для исследования глинистых пород при температурном воздействии были проведены эксперименты с использованием метода синхронного термического анализа (СТА). В работе [14] пришли к выводу о возможности идентификации и количественного определения минералов в почвах по термогравиметрическому анализу чистых глинистых минералов (монтмориллонита, каолинита, биотита, мусковита).

Термический анализ — это очень точный метод определения состава исследуемого образца [4, 14], его информативность высока, в связи с чем метод пригоден для исследования различных веществ. Осуществление процесса исследования методом термического анализа происходит на приборе — термоанализаторе.

Термоанализатор представляет собой термовесы (цифровые, высокого разрешения, высокочувствительные) с верхней загрузкой образца и прямым измерением температуры на образце. В данных приборах пробу вещества (мг) нагревают в заданном температурном режиме с заданной скоростью в атмосфере инертного газа, фиксируют убыль массы вещества (термогравиметрический анализ, ТГ) и возникающие экзо- и эндоэффекты (дифференциальная сканирующая калориметрия, ДСК).

Исследование методом СТА проводилось на кафедре пожарной безопасности ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты» на термическом анализаторе STA 449 F3 Jupiter немецкой компании «NETZSCH».

Результаты исследования обрабатывались с помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis, версия 6.1.0, в виде графических зависимостей:

- ТГ (интегральная кривая) — изменение массы образца (%) от температуры (°C);

- ДТГ — первая производная от термогравиметрической кривой, иллюстрирующая скорость уменьшения массы образца во времени (%/мин.);

- ДСК (тепловые эффекты) — экзо- и эндоэффекты (мВт/мг) от температуры (°C).

Условия исследования: нагрев проб проводился до 600 °C, скорость нагрева составляла 20 °C/мин, атмосфера — воздух. Масса образцов — 4,5—120 мг. Материал тиглей — корунд.

Результаты исследований

На рисунках 2, 3 представлены кривые ТГ исследуемых глинистых пород, отражающие потерю массы (ТГ) через каждые 100 °C измерений.



Рис. 1. Исследуемые образцы природных материалов: Г1—Г3 — глины; Б1—Б4 — бентониты; С1—С2 — суглинки, К1—К2 — каолинит и клиноптилолит

Fig. 1. The studied samples of natural materials: Г1—Г3 — clays; Б1—Б4 — bentonites; С1—С2 — loams, К1—К2 — kaolinite and clinoptilolite

Время достижения указанных температур представлено только для одного образца.

Как видно из рисунков, остаточная масса большинства образцов по достижении температуры 600 °С составляет величины 91—96%. Высокую термическую устойчивость с незначительным снижением массы на 3% продемонстрировали образцы Г4 и С1, на 4% — Г5. Это свидетельствует о преобладании в образцах минеральной составляющей. Наибольшее снижение массы зафиксировано у образцов Г1 (на 52%) и Г2 (на 36%).

Одинаковые формы температурных кривых снижения массы образцов бентонита Б1 (активированного содой) и Б3 могут служить косвенным доказательством того, что бентонит Б3 содержит натриевую форму монтмориллонита, что подтверждается высокой набухаемостью образцов Б1 и Б3 в воде. Водные 5%-ные суспензии Б1 и Б3 имеют студнеобразный вид в отличие от жидкой, текучей суспензии образца Б2.

Форма ТГ-кривых у образцов Б1—Б3 схожа с кривой К2 (на рисунках не представлено кривых К1 и К2), что предполагает содержание клиноптилолита. Образец С2 по форме кривой и по потере массы имеет сходство с ТГ-кривой монтмориллонита [14], что позволяет сделать предположение о преимущественно монтмориллонитовой составляющей в образце. Образцы Г4, Г5, С1 близки по динамике снижения массы образцу К1 (каолину), что может свидетельствовать о сходном составе.

Если анализировать температурные интервалы наиболее интенсивного снижения массы, то можно выявить взаимосвязи. Высокие значения убыли массы (9—11%) образцов Б1—Б4, Г3 и К2 при температуре 500 °С свидетельствуют о выделении конституционной воды, находящейся

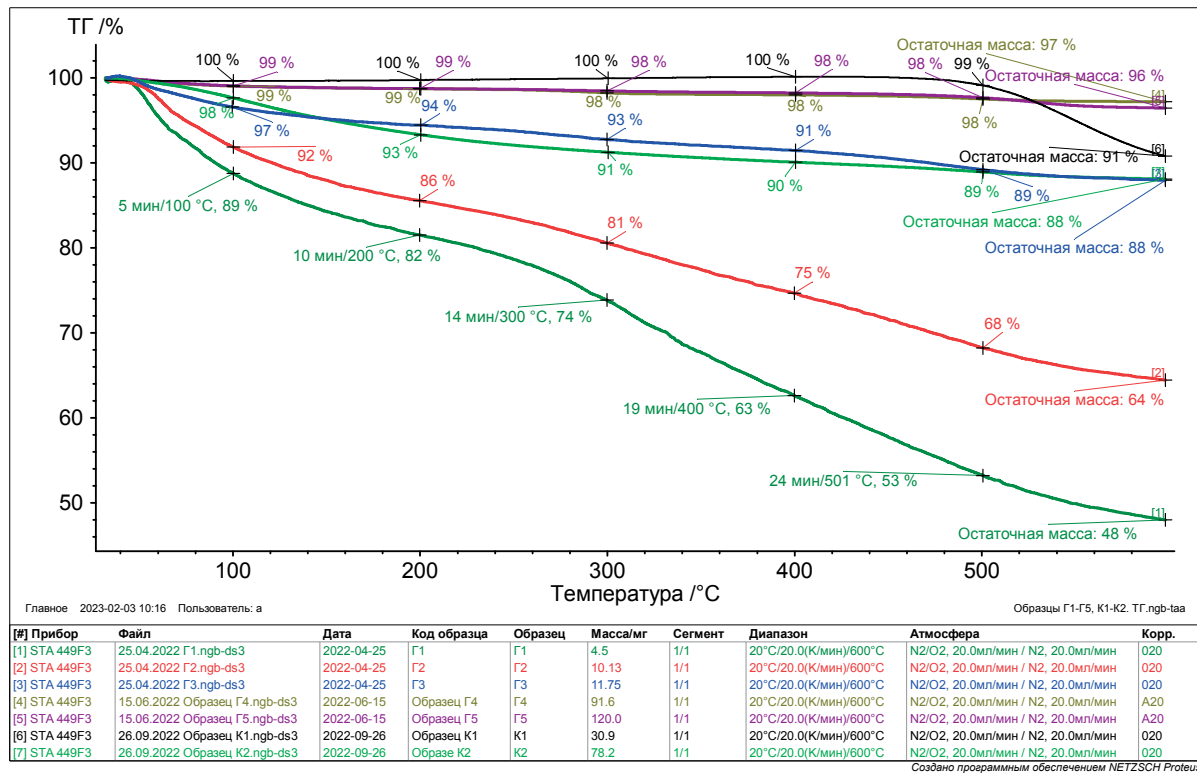


Рис. 2. ТГ-кривые образцов Г1—Г5, К1, К2
Fig. 2. TG-curves of samples G1—G5, K1, K2

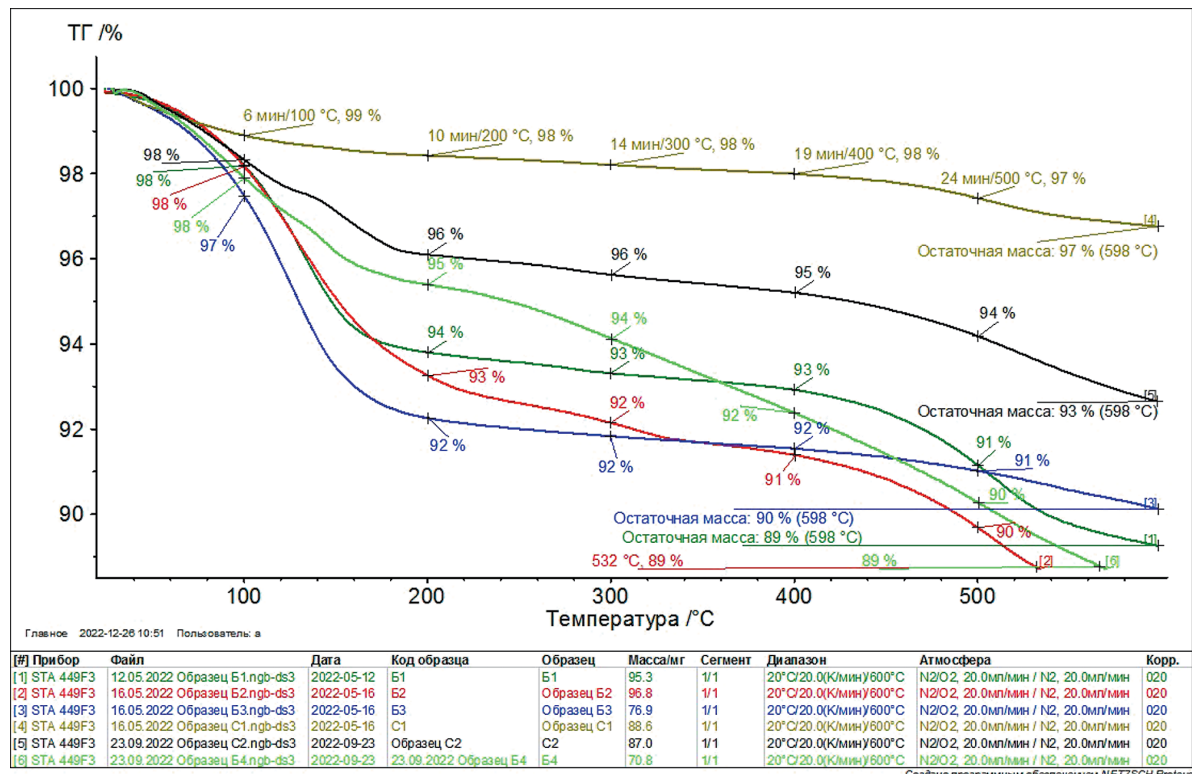


Рис. 3. ТГ-кривые образцов Б1—Б4, С1—С2
Fig. 3. TG-curves of samples B1—B4, C1—C2

в кристаллической решетке алюмосиликатных минералов слоистой структуры. Каолинитсодержащие образцы Г4, Г5, С1, К1 имеют плотную структуру, характерную для монтмориллонитовых глин, и при температуре 500 °С показывают невысокие значения снижения массы (1—3%). Резкая потеря массы для образца К1 с 1 до 9 % в интервале 500—600 °С определяется, по всей вероятности, разрушением структуры каолинита.

Образцы Г1 и Г2 значительно отличаются по составу от других образцов, что свидетельствует о наличии органической составляющей, которая выгорает по ходу эксперимента; минеральная (глинистая) составляющая в них не превышает 50%. Аналогичные выводы при исследовании грунтов сделали исследователи в публикациях [4, 14].

На рисунках 4—6 представлены кривые ДТГ исследуемых образцов, демонстрирующие скорость убыли массы от температуры.

Как видно из рисунка 4, скорость убыли массы образцов Г1 и Г2 имеет сходный вид, но экстремумы у Г1 более выражены. Наличие экстремумов ДТГ у образцов Г1 и Г2 свидетельствует об удалении адсорбционной воды и сгорании органической части состава. Данные рисунка 5 свидетельствуют о процессах удаления воды с очень малой

скоростью, характерной для каолинит содержащих глин (образцы Г4 и Г5), что хорошо согласуется с рисунком 2 и малой потерей массы.

Кривые на рисунке 6 подтверждают одинаковые свойства монтмориллонитовых бентонитов Б1—Б3, имеющих один минимум при температуре 128—135 °С, и схожесть образцов Б4 и С2, имеющих 2 минимума в диапазоне температур 103—155 °С, при которых происходит удаление двух форм кристаллизационной воды: цеолитовой, как у клиноптилолита К2 (рис. 4), и адсорбционной, как у бентонитов Б1—Б3.

В таблице 1 представлены значения пиков убыли массы глинистых образцов при температурном воздействии в четырех интервалах температур, а в таблице 2 — предполагаемый минеральный состав глинистых образцов, определенный на основе ТГ- и ДТГ-кривых.

Из таблиц следует, что в некоторых случаях данные ДТГ-анализа дополняют и уточняют компонентный состав на основе ТГ-кривых, а также позволяют идентифицировать второй минеральный компонент глинистых минералов (например, для образцов Б1 и С2).

Анализируя кривые ДСК образцов, характеризующих тепловые эффекты, происходящие

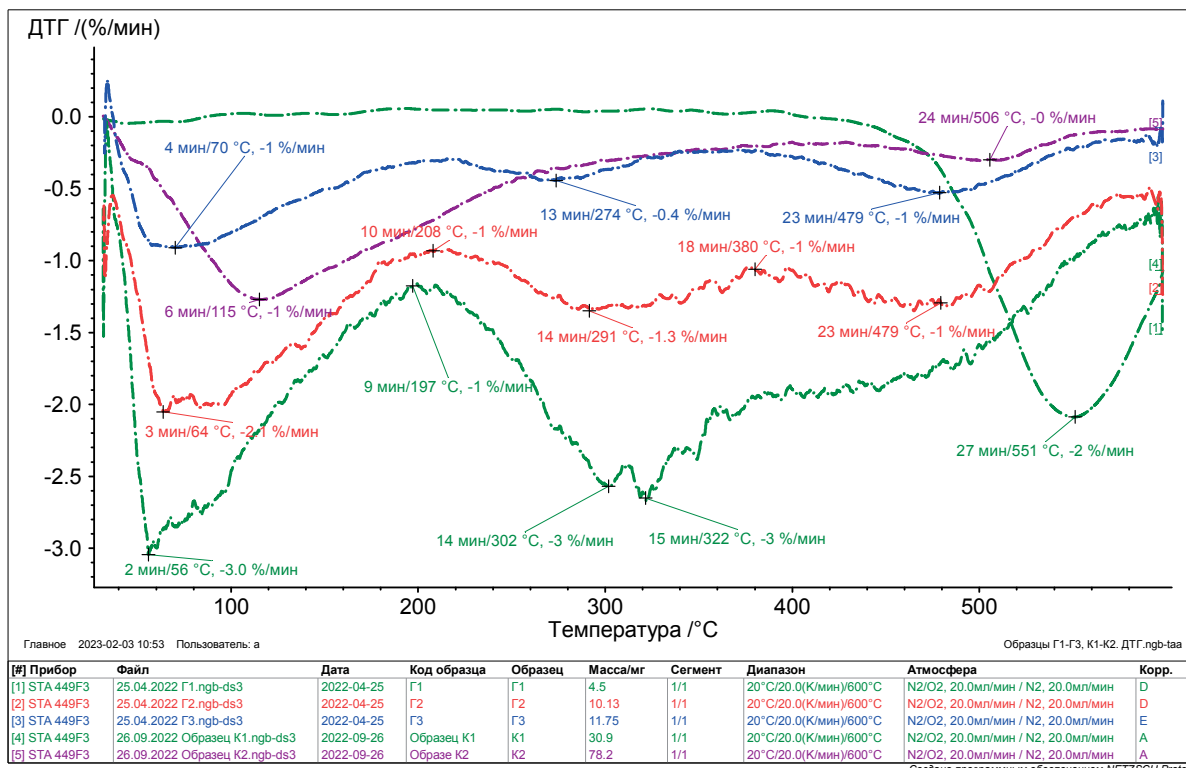


Рис. 4. ДТГ-кривые образцов Г1—Г3, К1, К2
Fig. 4. DTG-curves of samples G1—G3, K1, K2

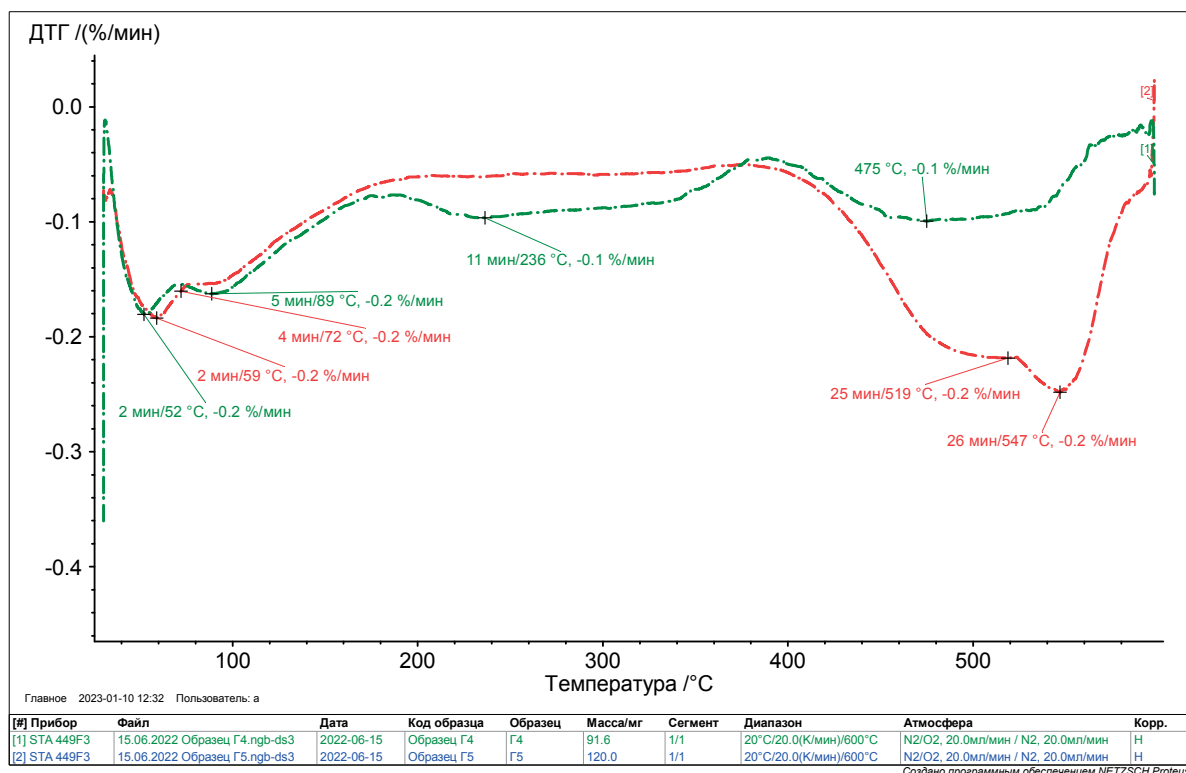


Рис. 5. ДТГ-кривые образцов Г4—Г5
Fig. 5. DTG-curves of samples G4—G5

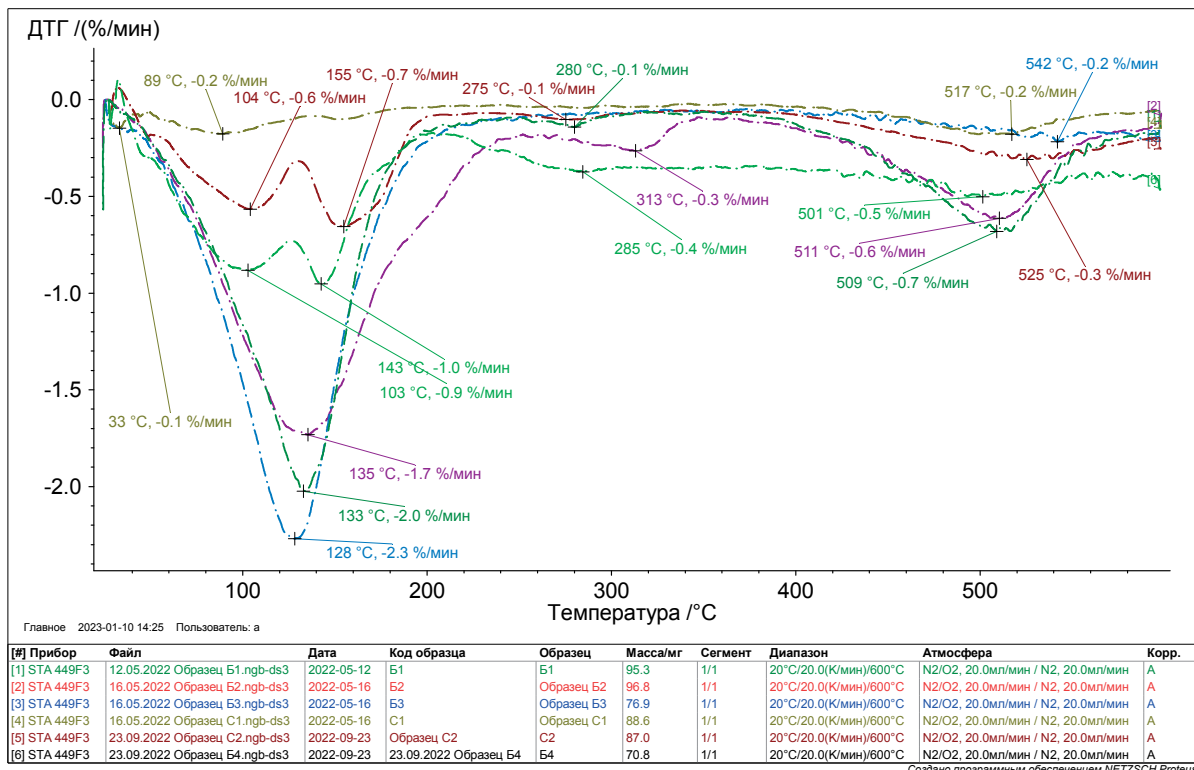


Рис. 6. ДТГ-кривые образцов Б1—Б4, С1—С2
Fig. 6. DTG-curves of samples B1—B4, C1—C2

Таблица 1. ДТГ образцов
Table 1. DTG of samples

Образец	Наличие пиков (максимальной убыли массы) при температуре, °C / значение скорости убыли массы, %/мин.			
	0—100 °C	100—200 °C	200—400 °C	400—600 °C
Г1	56 / -3	–	302 / -3 322 / -3	–
Г2	64 / -2,1	–	291 / -1,3	479 / -1
Г3	70 / -1	–	274 / -0,4	479 / -1
Г4	52 / -0,2 89 / -0,2	–	236 / -0,1	475 / -0,1
Г5	59 / -0,2 72 / -0,2	–		519 / -0,2 547 / -0,2
Б1	–	133 / -2,0	280 / -0,1	509 / -0,7
Б2	–	135 / -1,7	313 / -0,3	511 / -0,6
Б3	–	128 / -2,3	–	542 / -0,2
Б4	–	103 / -0,9 143 / -1,0	285 / -0,4	501 / -0,5
С1	30 / -0,2 88 / -0,2	–	–	517 / -0,2
С2	–	104 / -0,7 155 / -0,8	–	524 / -0,4
К1	–	–	–	551 / -2
К2	–	116 / -1	–	505 / -0

Таблица 2. Идентификация минерального состав образцов глинистой породы по данным термического анализа
Table 2. Identification of the mineral composition of clay porosity samples according to thermal analysis data

Образец	Вероятный компонент по данным	
	ТГ-кривой	ДТГ-кривой
Г1	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г2	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г3	Монтмориллонит	Монтмориллонит
Г4	Каолинит	Каолинит
Г5	Каолинит	Каолинит
Б1	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит + клиноптилолит
Б2	Клиноптилолит	Монтмориллонит
Б3	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит
Б4	–	Монтмориллонит
С1	Каолинит	Каолинит
С2	Монтмориллонит	Монтмориллонит + клиноптилолит
К1	Каолинит	Каолинит
К2	Клиноптилолит	Клиноптилолит

при нагревании в исследуемых материалах, и их величины (в виде площади), можно сделать следующие

выводы. Процесс нагрева до 600 °C исследуемых проб сопровождается эндо- и экзоэффектами,

причем экзоэффекты в основном наблюдаются у образцов Г1 и Г2, что связано со сгоранием органической составляющей (гумуса). Для всех остальных образцов характерны эндоэффекты.

В таблице 3 представлены значения эндо- и экзотермических пиков при температурном воздействии на образцы.

Как видно из таблицы 3, тепловые эффекты для исследуемых образцов различны, но схожи для Б1—Б2, С1 и К2, что может свидетельствовать о содержании клиноптилолита. Сходны между собой и кривые С2, Б3—Б4. Но вместе с тем практически идентичных кривых ДСК нет, что приводит

к заключению о необходимости всестороннего исследования образцов другими методами, дополняющими термический анализ: рентгеновской дифракцией [2, 3, 5, 8, 9, 11, 12], аналитическими методами [1], с применением сканирующей электронной микроскопии [5, 9, 11], рентгенофлуоресцентной спектроскопии [5].

Заключение

1. Идентификация глинистых минералов является сложной задачей в связи с большим разнообразием и сильно отличающимся минеральным составом, зависящим от географической принадлежности.

Таблица 3. ДСК образцов с указанием температурных максимумов и площади возникающего эффекта
Table 3. DSC of samples indicating the temperature maxima and the area of the resulting effect

Образец	Наличие пиков (максимальной убыли массы) при температуре, °С / значение скорости убыли массы, %/мин.			
	Эндоэффект		Экзоэффект	
	Интервал температур, °С	Площадь, Дж/г	Интервал температур, °С	Площадь, Дж/г
Г1	20—200	-472	200—400	691
	500—600	-22	-	-
Г2	20—200	-332	200—400	237
	500—600	-16	-	-
Г3	20—200	-313	-	-
	500—600	-27	-	-
Г4	20—120	-15	120—300	11
	420—550	-9	300—420	7
	550—600	-3	-	-
Г5	20—120	-10	-	-
	450—550	-14	-	-
	550—600	-1	-	-
Б1	20—250	-118	-	-
	450—550	-56	-	-
Б2	20—250	-186	-	-
	300—350	-1,5	-	-
	450—550	-56	-	-
Б3	20—220	-173	250—550	45
Б4	20—220	-126	250—500	69
С1	20—150	-14	-	-
	450—550	-7	-	-
	550—600	-1	-	-
С2	20—150	-27	300—550	89
	150—220	-15	-	-
К1	450—600	-143	-	-
К2	20—250	-169	-	-
	450—550	-14	-	-

Установлены отличающиеся друг от друга характеристики глинистых пород разных видов.

2. Показано, что исследование свойств глинистых материалов методом синхронного термического анализа позволяет выявить характерные особенности поведения пробы при температурном воздействии и использовать это для обеспечения безопасного технологического процесса.

3. Установлена возможность применения метода термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы на основе сравнения полученных зависимостей неизвестных глинистых пород и известных минералов, каолинита,

монтмориллонита и клиноптилолита. Однако существующее многообразие пород на планете не позволяет однозначно сделать вывод об их компонентном минеральном составе. Для этого исследование компонентного состава глин методом термического анализа необходимо дополнить другими методами исследования (рентгенофазовый, седиментационный, оптический и пр.).

4. Дальнейшие исследования будут направлены на использование кинетических и флокуляционных характеристик разбавленных суспензий глинистых пород для идентификации их минерального состава и установления взаимосвязи с данными термического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонина А.П., Бурыкина О.В., Разиньков Д.Ю. Количественное определение состава глины. В сб.: *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии* — 2021: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2021. С. 10—13.
2. Белоусов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2015. № 4. С. 94—101.
3. Белоусов П.Е., Покидько Б.В., Закусин С.В., Крупская В.В. Количественные методы определения содержания монтмориллонита в бентонитовых глинах. *Георесурсы*. 2020. № 22(3). С. 38—47. DOI: 10.18599/grs.2020.3.38-47
4. Белопухов С.Л., Старых С.Э., Куприянов А.Н., Григорьева М.В. Исследование качественного состава гумусовых кислот дерново-подзолистой почвы методом термического анализа // *Природообустройство*. 2020. № 3. С. 36—45. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-45-54
5. Боева Н.М., Бочарникова Ю.И., Жухлистова А.П. Синхронный термический анализ — экспресс-метод оценки качества кислотной активации бентонитов // *Геохимия*. 2018. № 9. С. 923—928. DOI: 10.1134/S0016752518090030
6. Губайдуллина А.М., Лыгина Т.З., Вассерман Д.В., Исламова Г.Г. Информативность и специфические особенности термоаналитических исследований при оценке качества сырьевых материалов волластонитсодержащей, кордиеритовой и клинкерной керамики // *Вестник Казанского технологического университета*, 2009. № 6. С. 373—378.
7. Каспржицкий А.С., Морозов А.В., Лазоренко Г.И., Талпа Б.В., Явна В.А. Комплексное исследование состава и структурных особенностей породообразующих минералов бентонитовых глин Миллеровского месторождения // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 3(26). С. 110.
8. Калбаев А.М., Абдикамалова А.Б. Исследование глин Крантаусского, Бештюбенского и Ходжакульского месторождений // *Вопросы науки и образования*. 2018. № 10(22). С. 8—14.
9. Кормишина А.Е., Мизина П.Г., Кормишин В.А. Изучение физических свойств глины голубой Ундоровского метсорождения // *Национальная Ассоциация Ученых*. 2016. № 3(19). С. 35—37.
10. Левашов Н.Ф., Акулова М.В., Потёмкина О.В. Использование методов термогравиметрии для анализа влияния компонентов на структуру пенобетона // *Информационная среда вуза (см. в книгах)*. 2016. № 1(23). С. 394—398.
11. Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю. Минералогия интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022. № 64(2). С. 47—56. DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56
12. Рязанова А.С. Способность смектитовой компоненты бентонитовой глины к интеркаляции глицина // *Вестник Пермского университета. Серия Геология*. 2020. Т. 19, № 1. С. 44—49. DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.44
13. Середин В.В., Ядзинская М.Р., Андрианов А.В. Классификация форм связанной воды в каолинитовых глинах // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021. Т. 332. № 6. 73—81. DOI: 10.18799/24131830/2021/06/3237
14. Маслова М.Д., Белопухов С.Л., Тимохина Е.С., Шнее Т.В., Нефедьева Е.Э., Шайхиев И.Г. Термохимические характеристики глинистых минералов и слюд // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 21. С. 121—127.
15. Тотурбиев Б.Д., Юсупов А.Р., Рададанов Г.А., Абдулганиева Т.И. Использование бентонитовых глин для получения теплоизоляционного пенобетона // *Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2017. № 4(71). С. 17—25.

16. Хакимов И.С., Хацринов А.И. Исследование электрофизической активации сорбентов на основе глинистых минералов // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 7. С. 90—92.
17. Oranska O.I., Gornikov Yu.I. X-Ray Diffraction and

Thermal Studies on Some Food and Cosmetic Bentonite Clays. *Khimiya, fizika ta tekhnologiya poverkhni* = Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. Vol.10. №1. pp. 13-21. (In Ukr.) DOI: <https://doi.org/10.15407/hftp10.01.013>

REFERENCES

1. Afonina A.P., Burykina O.V., Razinkov D.Yu. Quantitative determination of clay composition. In the collection: Fundamental and applied research in the field of chemistry and ecology — 2021: collection of scientific articles of the International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists. Kursk, 2021. P. 10—13 (In Russian).
2. Belousov P.E., Bocharnikova Yu.I., Boeva N.M. Analytical methods of diagnostics of the mineral composition of bentonite clays // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research. 2015. No. 4. P. 94—101 (In Russian).
3. Belousov P.E., Ostavko B.V., Zakusin S.V., Krupskaya V.V. Quantitative methods for determining the content of montmorillonite in bentonite clays. *Geo resources*. 2020. No. 22(3). P. 38—47 (In Russian). DOI: 10.18599/grs.2020.3.38-47
4. Belopukhov S.L., Starykh S.E., Kupriyanov A.N., Grigorieva M.V. Investigation of the qualitative composition of humic acids of sod-podzolic soil by thermal analysis method. // *Environmental engineering*. 2020. No. 3. P. 36—45 (In Russian). DOI: 10.26897/1997-6011-2020-3-45-54
5. Boeva N.M., Bocharnikova Yu.I., Zhukhlistova A.P. Synchronous thermal analysis — express method for assessing the quality of acid activation of bentonites // *Geochemistry*. 2018. No. 9. P. 923—928 (In Russian). DOI: 10.1134/S0016752518090030
6. Gubaidullina A.M., Lygina T.Z., Wasserman D.V., Islamova G.G. Informativeness and specific features of thermoanalytical studies in assessing the quality of raw materials of wollastonite-containing, cordierite and clinker ceramics // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2009. No. 6. P. 373—378 (In Russian).
7. Kasprzhitsky A.S., Morozov A.V., Lazorenko G.I., Talpa B.V., Yavna V.A. Comprehensive study of the composition and structural features of rock-forming minerals of bentonite clays of the Millerovsky deposit // *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No. 3(26). P. 110 (In Russian).
8. Kalbaev A.M., Abdikamalova A.B. Investigation of clays of the Krantaussky, Beshtyubensky and Khodzhakulstky deposits // *Questions of Science and Education*. 2018. No. 10(22). P. 8—14 (In Russian).
9. Kormishina A.E., Mizina P.G., Kormishin V.A. Study of the physical properties of blue clay of the Undorovsky metrogenation // *National Association of Scientists*. 2016. No. 3(19). P. 35—37 (In Russian).
10. Levashov N.F., Akulova M.V., Potemkina O.V. Using thermogravimetry methods to analyze the effect of components on the structure of foam concrete // *The information environment of the university* (see in the books). 2016. No. 1(23). P. 394—398 (In Russian).
11. Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu. Mineralogy of interior jewelry ammonites of the Samara region // *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and exploration*. 2022. No. 64(2). P. 47—56 (In Russian). DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56
12. Ryazanova A.S. The ability of the smectite component of bentonite clay to intercalate glycine // *Bulletin of Perm University, Geology*. 2020. Vol. 19. No. 1 (In Russian). DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.44
13. Seregin V.V., Yadzinskaya M.R., Andrianov A.V. Classification of bound water forms in kaolinite clays // *Izvestiya Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2021. Vol. 332. No. 6. P. 73—81 (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2021/06/3237
14. Maslova M.D., Belopukhov S.L., Timokhina E.S., Shnee T.V., Nefedieva E.E., Shaikhiev I.G. Thermochemical characteristics of clay minerals and micas // *Bulletin of Kazan Technological University*. 2014. Vol. 17. No. 21. P. 121—127 (In Russian).
15. Toturbiev B.D., Yusupov A.R., Radadanov G.A., Abdulganieva T.I. The use of bentonite clays for obtaining heat-insulating foam concrete // *Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. No. 4(71). P. 17—25 (In Russian).
16. Khakimov I.S., Khatsrinov A.I. Study of electrophysical activation of sorbents on based on clay minerals. // *Bulletin of the Technological University*. 2019. Vol. 22, No. 7. P. 90—92 (In Russian).
17. Oranska O.I., Gornikov Yu.I. X-Ray Diffraction and Thermal Studies on Some Food and Cosmetic Bentonite Clays. *Khimiya, fizika ta tekhnologiya poverkhni* = Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. Vol.10. №1 pp. 13-21. (In Ukr.) DOI: <https://doi.org/10.15407/hftp10.01.013>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Будыкина Т.А. — внесла вклад в разработку концепции статьи, проводила экспериментальные исследования, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гандурина Л.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, проводила анализ экспериментальных результатов, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tatiana A. Budykina — contributed to the development of the concept of the article, conducted experimental research, 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.

Lyudmila V. Gandurina — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, analyzed the experimental results, 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

Будыкина Татьяна Алексеевна* — доктор технических наук, профессор кафедры пожарной безопасности ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России».

1а, Соколовская ул., г.о. Химки, м/р-н Новогорск, Московская область 141435, Россия

e-mail: agz@amchs.ru

тел.: +7 (498) 6990 625, +7 (950) 873-70-25

SPIN-код: 5164-7470

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9571-3166>

Tatiana A. Budykina* — Dr. of Sci. (Tech.), Prof. of the Department of Fire Safety at the Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

1A, Sokolovskaya str., Khimki, md. Novogorsk, Moscow region 141435, Russia

e-mail: agz@amchs.ru

tel.: +7 (498) 6990 625, +7 (950) 873-70-25

SPIN-code: 5164-7470

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9571-3166>

Гандурина Людмила Васильевна — доктор технических наук, профессор кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: office@mgri.ru

тел.: +7 (495) 255-15-10, 8-916-052-29-11

SPIN-код: 7399-7391

Lyudmila V. Gandurina — Dr. of Sci. (Tech.), Prof. of the Department of Construction of Systems and Structures of Water Supply and Sanitation, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: office@mgri.ru

tel.: +7 (495) 255-15-10, 8-916-052-29-11

SPIN-code: 7399-7391

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



АЛИЕВОВЕДЕНИЕ КАК НАУЧНЫЙ ФЕНОМЕН

Н.Г. ВАЛИЕВ*, А.Г. ШОРИН

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
30, ул. Куйбышева, г. Екатеринбург 620144, Россия

АННОТАЦИЯ

Столетие со дня рождения Гейдара Алиева — советского и азербайджанского политического деятеля (годы жизни 1923–2003) — побудило нас проявить интерес к личности Г. Алиева, а также к исследованию феномена алиевоведения — уникального междисциплинарного направления в современной научной среде Азербайджана. Феномена, изучение которого очень важно для понимания специфики существующих ныне тенденций в гуманитарных и социальных науках, а также культурной парадигмы этой страны.

Ключевые слова: Гейдар Алиев, алиевоведение, биография, диссертации, междисциплинарность, национальное пробуждение, независимое государство

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Валиев Н.Г., Шорин А.Г. Алиевоведение как научный феномен. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(1):89–96.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-89-96>

Статья поступила в редакцию 01.03.2023
Принята к публикации 17.03.2023
Опубликована 31.03.2023

* Автор, ответственный за переписку

“ALIYEVEDENIE” AS A SCHOLARLY PHENOMENON

NIYAZ G. VALIEV*, ALEXANDER G. SHORIN

Ural State Mining University
30, Kuibyshev str., Yekaterinburg 620144, Russia

ABSTRACT

The centenary of the birth of Heydar Aliyev, a Soviet and Azerbaijani politician (1923–2003), prompted us to show interest in the personality of G. Aliyev, as well as in the study of the phenomenon of Aliyev studies — a unique interdisciplinary direction in the modern scientific environment of Azerbaijan. The phenomenon, the study of which is very important for understanding the specifics of the current trends in the humanities and social sciences, as well as the cultural paradigm of this country.

Keywords: Heydar Aliyev, Aliev studies, biography, dissertations, interdisciplinarity, national awakening, independent state

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

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

For citation: Valiev N.G., Shorin A.G. "Aliyevden" as a scholarly phenomenon. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(1):89—96.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-1-89-96>

Manuscript received 01 March 2023

Accepted 17 March 2023

Published 31 March 2023

* Corresponding author

Историческая справка о Г. Алиеве

Гейдар Алирза оглы Алиев (в советской и российской традиции — Гейдар Алиевич Алиев) родился 10 мая 1923 года в городе Нахичевань в многодетной семье железнодорожного рабочего. Он был четвертым из восьми детей.

В 1939 году окончил педагогический техникум, после чего поступил на архитектурный факультет Азербайджанского индустриального института в Баку, окончить который не позволила начавшаяся война.

С 1941 года Г. Алиев приступил к службе в органах госбезопасности в качестве заведующего отделом НКВД Нахичеванской АССР, а с 1943 года — заведующего отделом в Совете народных комиссаров Нахичеванской АССР. В 1945 году окончил курсы повышения квалификации Школы переподготовки руководящего оперативного состава МГБ СССР и вступил в ряды ВКП(б). С 1948 года — начальник 5-го управления МГБ по Азербайджану. В этот период работал в резидентурах Ирана, Турции, Пакистана и Афганистана. С 1949 по 1950 год он учился в Школе переподготовки руководящего оперативного состава МГД СССР — сейчас на здании, в котором проходили эти занятия, висит памятная доска с его портретом. С 1956 года — заместитель начальника Бакинского отдела КГБ.

В 1957 году Г. Алиев получил высшее гуманитарное образование, окончив исторический факультет Азербайджанского государственного университета им. С.М. Кирова. В 1960-м стал начальником контрразведывательного отдела КГБ Азербайджана, с 1964-го — заместитель председателя КГБ Азербайджана, которым был в те годы С.К. Цвигун, и на этой должности он начал вести борьбу с коррупцией в республике. В 1966 году стал кандидатом в члены ЦК КП Азербайджана, в 1967-м — председателем КГБ при Совете Министров Азербайджанской ССР.

В 1969 году Г. Алиев занял высшую должность в Азербайджане — первого секретаря ЦК Компартии Азербайджанской ССР. Годы его правления ознаменовались борьбой с коррупцией, что при-

вело к экономическому росту в республике. Вскоре Г. Алиев, продолжая оставаться руководителем Азербайджана, стал занимать все более высокие должности в Москве: с 1974 по 1979 год — заместитель председателя Совета Союза Верховного Совета СССР, с 1976 по 1982 год — кандидат в члены Политбюро ЦК КПСС.

С приходом к власти в СССР Юрия Андропова Г. Алиев был назначен первым заместителем председателя Совета Министров СССР и переехал из Баку в Москву. На новой должности он курировал машиностроение, легкую промышленность и транспорт в стране, возглавлял комиссию по реформе советской школы, а также возглавлял комиссию по строительству БАМа — Байкало-Амурской магистрали.

В 1985 году Г. Алиев высказался в поддержку нового лидера Михаила Горбачева, но вскоре попал в опалу и в 1988 году был отправлен на пенсию как пенсионер союзного значения. В 1990 году, после ввода советских войск в Баку, публично обвинил М. Горбачева в нарушении Конституции, осудив это решение. В том же году он вернулся в Баку, но вскоре из-за давления местных властей был вынужден покинуть столицу Азербайджана и отправился в родной город Нахичевань.

В сентябре 1991 года Г. Алиев был избран председателем Верховного Совета (Меджлиса) Нахичеванской АССР. Через несколько дней в Азербайджане прошли президентские выборы, которые были проигнорированы в Нахичеванской АССР. Таким образом, Г. Алиев встал в оппозицию президенту Аязу Муталибову, при этом его должность в Нахичевани формально дала ему пост заместителя председателя Верховного Совета Азербайджана. Нахичевань продолжала вести самостоятельную политику, в результате которой Г. Алиев установил дружеские отношения с Турцией и Ираном, однако в тот же период обострились отношения с Арменией, которые опять же пришлось урегулировать Алиеву.

В это время в Баку произошел военный переворот, в результате которого президент А. Муталибов был вынужден бежать, а к власти пришел

Народный фронт во главе с Абульфазом Эльчибеем. При этом Нахичевань сохранила независимость, несмотря на попытку совершить и там силовой переворот.

В мае 1993 года российские армейские подразделения покинули город Гянджа. Оставленное ими оружие досталось азербайджанским подразделениям под командованием полковника Сурета Гусейнова, которые отказались подчиняться власти А. Эльчибея. Назревала гражданская война, и в этот период Г. Алиев приехал по приглашению Эльчибея в Баку, чтобы выступить в качестве посредника на переговорах противоборствующих сторон. Переговоры властей с С. Гусейновым успехом не увенчались, по их итогам подал в отставку глава парламента (председатель Милли меджлиса) Иса Гамбар, а спустя несколько дней новым главой парламента был избран Г. Алиев. Сразу после этого А. Эльчибей неожиданно покинул Баку, после чего парламента проголосовал за лишение его президентских полномочий. Эти полномочия решено было передать Алиеву, однако это противоречило Конституции Азербайджана, и вопрос был отложен до проведения всенародно-го референдума. Вскоре Алиев провел успешные переговоры с Гусейновым, после которых военные подразделения покинули пригороды столицы.

В октябре 1993 года в Азербайджане прошли всенародные выборы, в результате которых Г. Алиев стал президентом страны, Гусейнов получил пост премьер-министра, его подразделения были включены в состав нацгвардии Азербайджана.

Г. Алиеву удалось добиться прекращения боевых действий, угрожавших распаду страны, и сосредоточить усилия на восстановлении экономики. Что же касается Гусейнова, то тот пробыл в кресле премьер-министра недолго: в 1994 году он был обвинен в попытке нового мятежа, подал в отставку и бежал в Россию. Позже был экстрадирован обратно в Азербайджан, где и приговорен к пожизненному заключению. В 2004 году помилован. Сейчас ведет жизнь пенсионера.

В 1998 году Г. Алиев на новых выборах был повторно избран президентом Азербайджана. В 2003 году Конституция позволяла ему выдвигать свою кандидатуру в третий раз, однако к этому времени он уже был серьезно болен и заявил избирателям, что снимает свою кандидатуру в пользу сына Ильхама.

12 декабря 2003 года Г. Алиев скончался от сердечной недостаточности, успев увидеть на посту президента сына, избранного на эту должность на выборах, состоявшихся 15 октября. Ильхам Алиев по сей день является действующим президентом Азербайджана.

Увековечение памяти Г. Алиева

Имя Г. Алиева носит административный центр Садарского района Нахичеванской Автономной Республики — поселок Гейдарабад. Исследователь современных топонимов Азербайджана Н. Аскеров отмечает, что в независимом Азербайджане многие иностранные названия населенных пунктов были заменены национальными:



Фото 1. Гейдар Алиев на фоне флага Азербайджана
Photo 1. Heydar Aliyev on the background of the flag of Azerbaijan

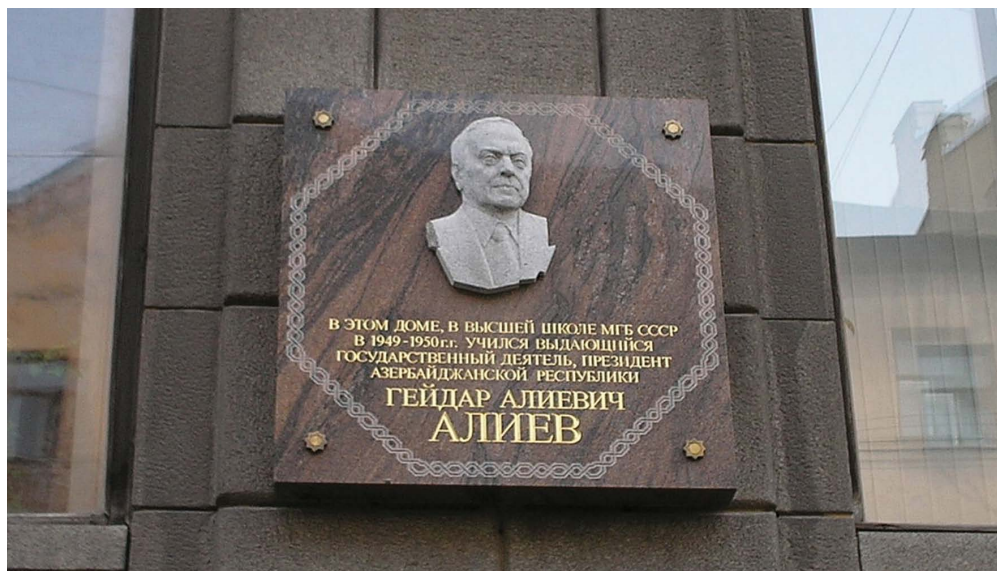


Фото 2. Барельеф на ул. Гороховой в Санкт-Петербурге на стене дома, где Г. Алиев учился в Высшей школе МГБ СССР

Photo 2. Bas-relief on Gorokhovaya Street in St. Petersburg on the wall of the house where G. Aliyev studied at the Higher School of the USSR MGB

например, город Жданов переименован в Бейлаган, Пушкин — в Билясувар, Кировабад — в Гянджу и т. д. Об этом поселке он пишет: «Гейдарабад назван в честь Гейдара Алиева, старшего сына нашего народа» [14].

В рамках этой концепции имя Г. Алиева широко используется в названиях. Чаще всего — в названиях улиц: как в Баку, где его именем назван проспект, так и в других городах Азербайджана. Международный аэропорт в Баку также носит имя Г. Алиева; в честь него называют парки — как в столице, так и в других городах страны. В Азербайджане насчитывается около 60 музеев и центров Г. Алиева, а также тысячи стендов или маленьких музеев в школах, военных частях, административных зданиях. Его именем названо водохранилище, а также пик Гейдар зиверси, расположенный в массиве Гызыл Гая в горах Кавказа. Количество только крупных памятников Г. Алиеву в Азербайджане измеряется сотнями, а более малых форм — тысячами.

Независимый Азербайджан проявляет инициативу по увековечению памяти Г. Алиева и за пределами страны.

Имя Г. Алиева можно встретить во многих городах и регионах России. В посольстве Азербайджана в Москве установлен барельеф, посвященный его выступлению 21 января 1990 года против ввода советских войск в Баку. В Санкт-Петербурге установлена памятная доска на улице Горохо-

вой, где в 1949—1950 годах он учился в Высшей школе МГБ СССР. Памятник ему стоит в Грозном, где также его именем названы улица и сквер. Улица Алиева есть в Малгобеке (Ингушетия) и в Дербенте (Дагестан). Также имя Г. Алиева носят площадь в Ульяновске, школа в Астрахани и вокзал на станции Ангоя в Бурятии.

Достаточно активно используется имя Г. Алиева в бывших республиках, входивших в состав СССР: в Тбилиси работает Азербайджанский государственный театр имени Гейдара Алиева, в Ташкенте и Астане есть улицы, названные в его честь, а в университете Астаны (ЕНУ) открыт кабинет-музей.

В других странах имя Г. Алиева чаще всего можно встретить в Турции — в его честь названа улица в Анкаре, мост в Тарсусе, парки в Стамбуле, Анкаре и Картепе, лицей в Ыгдыре, также в Анкаре есть несколько средних школ, носящих его имя. Улица Г. Алиева есть в столице Иордании Аммане, а еще один парк — в столице Румынии Бухаресте.

Памятники Г. Алиеву открывались не только в России, но и в Грузии, Сербии, Египте и даже в Мексике.

День рождения Г. Алиева (10 мая) считается в Азербайджане национальным праздником и даже имеет специальное название: «Праздник цветов». А 2023 год в честь 100-летия со дня рождения Г. Алиева распоряжением президента Азербайджанской Республики объявлен «Годом Гейдара Алиева».

Алиевоведение

Написано много книг, посвященных Г. Алиеву. Так, например, на русском языке в серии «ЖЗЛ» вышли биографии не только Гейдара Алиева [1], но и его жены Зарифы Алиевой [9]. Также на русском языке вышла трилогия Э. Ахундовой, посвященная жизни Г. Алиева [3–4]. Авторы этих книг (Г. Мираламов и Э. Ахундова), можно сказать, «специализируются» на Алиевых. У Г. Мираламова помимо тома в ЖЗЛ Г. Алиеву посвящены еще и такие книги, как «Победный путь», «Истина», «Есть такое солнце» и «Гейдар-наме», и у обеих этих авторов есть книги, посвященные нынешнему президенту Азербайджана [2, 5]. Также Г. Алиеву посвящена последняя книга советского и российского писателя А. Лиханова, скончавшегося в декабре 2021 года [8].

Что же касается трудов самого Г. Алиева, то многие из них издавались еще в СССР и доступны в библиотеках, однако удобнее их изучать на сайте созданной в Азербайджане Международной электронной библиотеки «Наследие Гейдара Алиева» [11], который доступен на 50 языках.

Для научного же сообщества более всего интересен тот факт, что в 2008 году по распоряжению Президиума Национальной академии наук Азербайджана был создан отдел по изучению наследия Гейдара Алиева, в котором в разное время работали до 13 ученых. С 2010 года он называется «Отдел алиевоведения», и сейчас в нем насчитывается 7 сотрудников [12].

Научный подход к изучению наследия Г. Алиева породил появление уникальных специалистов — ученых-алиевоведов, а зарождение алиевоведения как самостоятельной науки началось еще до создания специального отдела в Академии наук.

Так, библиотека «Наследие Гейдара Алиева» дает нам статистику, что в период с 2007 по 2018 год прошли защиты 21-й научной диссертации. Эти диссертации посвящены Г. Алиеву: от кандидатской диссертации Бахтияра Ейваз оглы Набиева «Гейдар Алиев и экономическое развитие Азербайджанской ССР», в которой рассматривается советский этап развития Азербайджанской ССР (2007 год) [10], до докторской диссертации Тахира Агалар оглы Пашадзе «Гейдар Алиев и азербайджанское народное творчество» [13]. В их числе — докторская диссертация Адалята Гасым оглы Гасимова (2011 год) «Гейдар Алиев и история развития Нахичеванской Автономной Республики (1969–2003 годы)», посвященная роли Г. Алиева в социально-экономическом и культурно-духовном развитии республики начиная еще с советского ее периода [7]. А. Гасымов сейчас является руководителем Отдела алиевоведения Национальной академии наук Азербайджана.

Анализ этих диссертаций показывает: особенность алиевоведения в том, что это направление научной деятельности является междисциплинарным. Научное направление диссертаций не только историческое (отечественная история)



Фото 3. Трилогия Э. Ахундовой о Г. Алиеве
Photo 3. E. Akhundova's trilogy about G. Aliyev



Фото 4. Научная монография И. Гусейновой о Г. Алиеве, которая названа «ценным вкладом в алиевоведение»

Photo 4. I. Huseynova's scientific monograph about G. Aliyev, which is called "a valuable contribution to the study of Aliyev"

и политологическое (политические институты, этнополитическая конфликтология, национальные и политические процессы, политические проблемы глобального развития и международных отношений), но и педагогическое (общая педагогика, история педагогики и образования), философское (философия международного права, философия истории), а также филологическое (азербайджанская литература, фольклористика) и экономическое (организация и управление предприятиями).

Научные статьи и монографии по алиевоведению с использованием именно этого термина начали публиковаться раньше 2008 года, когда прошла первая защита диссертации. В качестве примера можно рассмотреть монографию доктора исторических наук Ирады Гусейновой «Гейдар Алиев — от политического руководителя к общенациональному лидеру», изданную в 2005 году [8]. Предисловие к этой монографии, написанное доктором исторических наук А. Гасановым, так и называется: «Ценный вклад в алиевоведение».

Из этого предисловия можно понять причины появления алиевоведения: личность Г. Алиева тесно связывается с «национальным пробуждением» Азербайджана как независимого государства, необходимым условием которого было «наличие исторической личности — общенационального лидера Гейдара Алиева». И поэтому «научное исследование личности Гейдара Алиева, вошедшего в историю как уникальный политический и государственный деятель, изучение его политического наследия, являющегося национальным достоянием, неиссякаемой сокровищницей азербайджанского народа, имеют в высшей степени большое теоретико-политическое и практическое значение». Выводы, сделанные в самой монографии И. Гусейновой: «Все достижения (развитие экономики, социально-экономическое развитие, достижения на пути демократического развития) стали возможны только благодаря тому, что страной руководил всемирно известный политик и государственный деятель Гейдар Алиев».

Мы же можем сделать вывод, что ученые-алиевоведы, среди которых есть кандидаты и доктора исторических, политических, философских, филологических и экономических наук, объединены в первую очередь сходным мышлением и направлением своих научных изысканий.

Можно также сделать вывод, что алиевоведение является своеобразным феноменом в современной науке Азербайджана и выходит далеко за рамки изучения биографии одного конкретного человека.

Заключение

Феномен алиевоведения, зародившийся и получивший широкое распространение в научной среде современного Азербайджана, является отражением национальной самоидентичности азербайджанского народа и, несомненно, достоин более пристального изучения, чем это можно сделать в рамках одной статьи. Тем не менее даже при первом приближении к изучению этого феномена мы видим и разнообразие его граней, и его масштаб, который трудно переоценить. Остается лишь надеяться на то, что данная тема привлечет внимание и других исследователей, что поможет более глубокому и широкому ее изучению.

Более широкое рассмотрение этого феномена выведет исследователей за рамки научной среды, так как алиевоведение распространено не только в научной среде, но и, например, в школах и других образовательных учреждениях, в культуре, средствах массовой информации и пр.

Также при рассмотрении феномена алиевоведения напрашиваются исторические параллели. Самая близкая из них — родом из СССР, как и Республика Азербайджан, и сам Г. Алиев как бывший советский руководитель этой республики. Исходя из этого напрашивается аналогия с изучением в Советском Союзе наследия В.И. Ленина, которое также выходило далеко за рамки его личной биографии и осуществлялось в том числе и научным

сообществом. И тут стоит упомянуть, что, несмотря на то что в современной России изучение наследия В.И. Ленина уже перестало быть мейнстримом, тем не менее его личность продолжает быть интересной уже в «трансформации исторической памяти».

Однако указанные здесь аспекты уже выходят за рамки данной статьи и служат лишь примером направления дальнейших исследований этой широкой темы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриянов В., Мираламов Г. Гейдар Алиев. Серия: Жизнь замечательных людей. М.: Молодая гвардия, 2005. 400 с.
2. Андриянов В., Мираламов Г. Ильхам Алиев. Серия: Жизнь замечательных людей. Биография продолжается. М.: Молодая гвардия, 2008. 396 с.
3. Ахундова Э. Гейдар Алиев: личность и эпоха. Т. 1. Под бременем власти (1923–1982). М.: Канон+, 2017. 526 с.
4. Ахундова Э. Гейдар Алиев: личность и эпоха. Т. 2. Кремлевская пятилетка (1983–1989). М.: Канон+, 2017. 526 с.
5. Ахундова Э. Ильхам Алиев. Портрет Президента на фоне перемен. М.: РОССПЭН, 2016. 333 с.
6. Гасымов А.Г. Гейдар Алиев и история развития Нахичеванской Автономной Республики (1969–2003 годы). 2011. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/47080104.html>
7. Гусейнова И. Гейдар Алиев — от политического руководителя к общенациональному лидеру. Баку: Тахсил, 2005. 504 с.
8. Лиханов А. Не иссякнет в памяти. М.: Издательский, образовательный и культурный центр «Детство. Отрочество. Юность», 2020. 128 с.
9. Мираламов Г. Зарифа Алиева. Серия: Жизнь замечательных людей. М.: Молодая гвардия, 2010. 310 с.
10. Набиев Б.Е. Гейдар Алиев и экономическое развитие Азербайджанской ССР (1969–1982 годы). 2007. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/93556048.html>
11. Наследие Гейдара Алиева: международная онлайн-библиотека. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/en/index.html>
12. Национальная академия наук Азербайджана, отдел алиевоведения: URL: <https://science.gov.az/ru/institutes/842>
13. Пашадзе Т.А. Гейдар Алиев и азербайджанское народное творчество. 2018. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/82554091.html>
14. Əsgərovun N. Azərbaycanın makrotoponimləri. Bakı, 2009. 334 с.

REFERENCES

1. Andriyanov V., Miralamov G. Gejdard Alijev. Serija: Zhizn' zamechatel'nyh ljudej. M.: Molodaja gvardija, 2005. 400 p. (In Russian).
2. Andriyanov V., Miralamov G. Il'ham Aliev. Serija: Zhizn' zamechatel'nyh ljudej. Biografija prodolzhaetsja. M.: Molodaja gvardija, 2008. 396 p. (In Russian).
3. Ahundova Je. Gejdard Aliev: lichnost' i jepoha. T. 1. Pod bremenem vlasti (1923–1982). M.: Kanon+, 2017. 526 p. (In Russian).
4. Ahundova Je. Gejdard Aliev: lichnost' i jepoha. T. 2. Kremlevskaja pjatiletka (1983–1989). M.: Kanon+, 2017. 526 p. (In Russian).
5. Ahundova Je. Il'ham Aliev. Portret Prezidenta na fone peremen. M.: ROSSPJEN, 2016. 333 p. (In Russian).
6. Gasymov A.G. Gejdard Aliev i istorija razvitiya Nahichevanskoj Avtonomnoj Respubliki (1969–2003 gody). 2011. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/47080104.html> (In Russian).
7. Guseynova I. Gejdard Aliev — ot politicheskogo rukovoditelja k obshhenacional'nomu lideru. Baku: Tahsil, 2005. 504 p. (In Russian).
8. Lihanov A. Ne issjaknet v pamjati. M.: Izdatel'skij, obrazovatel'nyj i kul'turnyj centr «Detstvo. Otrochestvo. Junost'», 2020. 128 p. (In Russian).
9. Miralamov G. Zarifa Alieva. Serija: Zhizn' zamechatel'nyh ljudej. M.: Molodaja gvardija, 2010. 310 p. (In Russian).
10. Nabiev B.E. Gejdard Aliev i jekonomicheskoe razvitie Azerbajdzhanskoj SSR (1969–1982 gody). 2007. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/93556048.html> (In Russian).
11. Nasledie Gejdara Alieva: mezhdunarodnaja onlajn-biblioteka. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/en/index.html> (In Russian).
12. Nacional'naja akademija nauk Azerbajdzhana, otdel alievovedenija: URL: <https://science.gov.az/ru/institutes/842> (In Russian).
13. Pashadze T.A. Gejdard Aliev i azerbajdzhanskoe narodnoe tvorchestvo. 2018. URL: <https://lib.aliyev-heritage.org/ru/82554091.html> (In Russian).
14. Əsgərovun N. Azərbaycanın makrotoponimləri. Bakı, 2009. 334 с.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Валиев Н.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.

Шорин А.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.

Niyaz G. Valiev — 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.

Alexander G. Shorin — 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 АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Валиев Нияз Гадым оглы* — доктор технических наук, профессор, главный редактор издания «Известия вузов. Горный журнал» ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет». 30, ул. Куйбышева, г. Екатеринбург 620144, Россия e-mail: tf.gd@m.ursmu.ru

Шорин Александр Георгиевич — заместитель главного редактора журнала «Известия вузов. Горный журнал» ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет». 30, ул. Куйбышева, г. Екатеринбург 620144, Россия e-mail: iuggu-journal@yandex.ru

Niyaz G. Valiev* — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Editor-in-chief of the Publication «Minerals and Mining Engineering» Ural State Mining University. 30, Kuibyshev str., Yekaterinburg 620144, Russia e-mail: tf.gd@m.ursmu.ru

Alexander G. Shorin — Deputy Editor-in-chief of the magazine «Minerals and Mining Engineering», Ural State Mining University. 30, Kuibyshev str., Yekaterinburg 620144, Russia e-mail: iuggu-journal@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

