

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

2020

Том 63, № 2
Vol. 63, #2

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

2

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ
И РАЗВЕДКА
Научно-методический журнал

Том 63, № 2
2020

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

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 63, No. 2
2020

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

Куликов Владимир Владиславович, доктор технических наук, профессор, первый проректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Куликов Вячеслав Степанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

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

Малков Анатолий Валентинович, доктор технических наук, директор, ООО «Нарзан-гидроресурсы», г. Кисловодск, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Председатель редакционного совета

Косьянов Вадим Александрович, доктор технических наук, профессор, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Редакционный совет

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

Гусев Павел Николаевич, главный редактор газеты «Московский комсомолец», г. Москва, Россия

Козловский Евгений Александрович, доктор технических 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

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

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

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 433-63-33 https://geology.mgri-rggru.ru/jour , E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	200 экз.
Дата выхода в свет	10.08.2020
Типография	Отпечатано в ООО «БЕАН», 1, корп. 5, Баррикад ул., г. Нижний Новгород 603003, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2020
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

FOCUS AND SCOPE

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vyacheslav S. Kulikov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ning Fulong, PhD, Prof., National Centre for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

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

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

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

Chairman of the Editorial Council

Vadim A. Kosyanov, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Editorial Council

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

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

Eugeniy A. Kozlovsky, Dr. of Sci. (Engineering), 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

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

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

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 433-63-33 https://geology.mgri-rggru.ru/jour , E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	200 copies
Publication date	10.08.2020
Printing House	BEAN Ltd., 1, build. 5, Barricad str., Nizhny Novgorod 603003, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ

- 8 РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ ИРАНА И ПОЛОЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Cu, Pb, Zn И Fe**
А. СОХРАБИ, С. БЕЙГИ, И.В. ТАЛОВИНА, А.А. КРУГЛОВА, Н.С. КРИКУН

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 21 СУХОЛОЖСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОИСКИ РУД НА ЕГО ФЛАНГАХ**
Е.М. НЕКРАСОВ, Л.А. ДОРОЖКИНА

- 35 ДЕТАЛИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ НОВО-УЧАЛИНСКОГО КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**
А.В. СПИРИНА, В.В. МАКАРОВ, И.Б. МОИСЕЕВ, И.В. ВИКЕНТЬЕВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 47 ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА**
С.А. АЛИЕВА

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 61 ОСНОВЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГИС ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОМАНИКОВОГО ТИПА ФРАНКО-ФАМЕНСКОГО ВОЗРАСТА**
Д.Е. ЗАГРАНОВСКАЯ, С.И. ИСАЕВА, О.А. ЗАХАРОВА

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 73 МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Cu-U-Au-ПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ КОН РА ПРОВИНЦИИ КОНТУМ, ВЬЕТНАМ**
М.Ф. ДО, П.А. ИГНАТОВ, Т.Х. ФАН, З.Х. НГУЕН, Д. ЧАН

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 86 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ЗАБУРИВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТВОЛОВ СКВАЖИН С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ ОТКЛОНИТЕЛЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ В ТВЕРДЫХ И ОЧЕНЬ ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ**
В.В. НЕСКОРОМНЫХ, Д.В. ЛЫСАКОВ

ХРОНИКА

- 95 К 80-ЛЕТИЮ БОГОМОЛОВА ЮРИЯ ГЕРАСИМОВИЧА**

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 97 О КНИГЕ «ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ. ОТ ЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ К ЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ»**
В.Н. КОМАРОВ

GEOLOGY**8 IRANIAN REGIONAL LINEAMENT ZONES AND THE LOCATION OF Cu, Pb, Zn AND Fe DEPOSITS***ARASH SOHRABI, SOHEYLA BEYGI, IRINA V. TALOVINA, ANNA A. KRUGLOVA, NIKITA S. KRIKUN***GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS****21 SUKHOY LOG GOLD DEPOSIT AND POSSIBLE PROSPECTING FOR ORES ON ITS FLANKS***EVGENIY M. NEKRASOV, LYUDMILA A. DOROZHINA***35 MORPHOLOGICAL FEATURES OF ORE RESERVES OF THE NOVO-UCHALY VMS DEPOSIT (SOUTHERN URALS)***ADELINA V. SPIRINA, VENIAMIN V. MAKAROV, IGOR B. MOISEEV, ILYA V. VIKENTYEV***GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES****47 GEODYNAMIC AND GEOLOGICAL FACTORS IN THE FORMATION OF LARGE HYDROCARBON DEPOSITS IN SUBSALT SEDIMENTS OF THE NORTH CASPIAN REGION***SUDABA A. ALIYEVA***GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION****61 FUNDAMENTALS OF WELL LOGGING DATA INTERPRETATION FOR DETERMINING PROSPECTIVE FRASNIAN-FAMENNIAN DOMANIK DEPOSITS***DZHULIYA E. ZAGRANOVSKAYA, SVETLANA I. ISAEVA, OKSANA A. ZAKHAROVA***MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY****73 MINERAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS Cu-U-Au-MANIFESTATIONS IN THE KON RA REGION OF THE KON TUM PROVINCE, VIETNAM***MINH PHUONG DO, PETR A. IGNATOV, THI HONG PHAN, DUY HUNG NGUYEN, DUAN TRAN***GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE****86 DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES AND TOOLS FOR DRILLING ADDITIONAL WELLS FROM ARTIFICIAL BOTTOM-HOLE WITH WHIPSTOCK OF CONTINUOUS ACTION IN HARD AND VERY HARD ROCKS***VYACHESLAV V. NESKOROMNYKH, DMITRY V. LYSACOV***CHRONICS****95 TO THE 80TH ANNIVERSARY OF YURI GERASIMOVICH BOGOMOLOV****CRITICS AND BIBLIOGRAPHY****97 ABOUT THE BOOK "HISTORY OF THE EARTH. FROM STARDUST TO STARDUST"***VLADIMIR N. KOMAROV*



РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ ИРАНА И ПОЛОЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Cu, Pb, Zn И Fe

А. СОХРАБИ¹, С. БЕЙГИ^{1,*}, И.В. ТАЛОВИНА¹, А.А КРУГЛОВА², Н.С. КРИКУН¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

² ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»
74, Средний пр., г. Санкт-Петербург 199106, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Крупномасштабные геологические структуры, такие как линеаменты, представляет большой научный интерес в связи тем, что позволяют прогнозировать наличие рудных полей. **Цель** данного исследования определить связь между рудными месторождениями, линеаментами и крупномасштабными разломами в Иране с использованием спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и структурных карт.

Материалы и методы. В данном исследовании была составлена карта линеаментов Ирана, которые выделялись как автоматически, так и вручную. Для проверки взаимного пространственного распределения рудных месторождений и линеаментов была подготовлена база данных отработанных и эксплуатируемых месторождений, основанная на материалах изданных карт, опубликованных статей и отчетов о рудных месторождениях Ирана.

Результаты. Анализ линеаментов на геологических картах указывают на наличие четырех доминирующих направлений простирания крупных и малых линеаментов. На разработанной карте линеаментов показаны основные продольные разломы северо-западного простирания, которые параллельны основному простиранию орогенного пояса Загрос, разломы субширотного и субмеридионального простирания, которые имеют диагональное расположение, и поперечные разломы северо-восточного простирания. В результате объединения выходных данных карты линеаментов и карты месторождений полезных ископаемых с помощью программного обеспечения ArcGis была получена «Комбинированная карта линеаментов и месторождений меди, свинца, цинка и железа в Иране». С помощью кумулятивных методов в программном обеспечении ArcGis была проанализирована зависимость между количеством рудных месторождений и расстоянием от линеаментов.

Заключение. Около 90% и 50% рудных месторождений расположены на расстоянии менее 15 км и 5 км, соответственно, от центральной линии ближайшего линеамента. Прослеживается прямая зависимость между плотностью линеаментов и наличием месторождений. Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применен для оценки перспектив рудных полей в труднодоступных и слабоизученных регионах.

Ключевые слова: линеаменты, геопространственные данные, металлогения Ирана, спутниковые изображения

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-55-12002.

Для цитирования: Сохраби А., Бейги С., Таловина И.В., Круглова А.А., Крикун Н.С. Региональные линеаментные зоны Ирана и положение месторождений Cu, Pb, Zn и Fe. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-8-20>

Статья поступила в редакцию 31.03.2020
Принята к публикации 28.07.2020
Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

IRANIAN REGIONAL LINEAMENT ZONES AND THE LOCATION OF Cu, Pb, Zn AND Fe DEPOSITS

ARASH SOHRABI¹, SOHEYLA BEYGI^{1*}, IRINA V. TALOVINA¹, ANNA A. KRUGLOVA², NIKITA S. KRIKUN¹

¹ Saint-Petersburg Mining University
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

² A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute
74, Sredny pr., St. Petersburg 199106, Russia

ABSTRACT

Background. Large-scale geological structures, such as lineaments, are of great research interest due to their potential to mark the presence of ore fields.

Aim. To determine the relationship between ore deposits, lineaments and large-scale faults in Iran using satellite imagery, digital relief modelling and structural mapping.

Materials and methods. In this study, we compiled a map of lineaments in the Iran, which were determined both automatically and manually. A database of the distribution of ore deposits and lineaments was compiled from available maps, publications and reports on ore deposits in Iran. These maps were overlaid to study the relationship between the locations of the lineaments, faults and ore deposits.

Results. An analysis of the lineaments revealed on geological maps indicates the presence of four dominant strike directions of large and small lineaments. The developed lineament map shows the main northwest trending longitudinal faults, which are parallel to the main strike of the Zagros orogenic belt; sublatitudinal and submeridional trending oblique faults; northeast trending transverse faults. A “Combined map of lineaments and deposits of copper, lead, zinc and iron in Iran” was compiled by the ArcGis software using maps of lineaments and mineral deposits. The ore deposits identified were analysed to determine the distribution of the distances between each deposit using the counting and cumulative methods the ArcGis software.

Conclusions. About 90% and 50% of ore deposits are located at a distance of less than 15 km and 5 km, respectively, from the centre line of the associated lineament. A direct relationship between the density of lineaments and the presence of deposits was observed. The obtained results demonstrate the potential of this method for assessing the prospects of ore fields in hard-to-reach and poorly studied regions.

Keywords: lineaments, geospatial data, metallogeny of Iran, satellite image

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

Financial disclosure: the study was performed as part of the Joint German-Russian Project № 20-55-12002 of the Russian Foundation for Basic Research.

For citation: Sohrabi A., Beygi S., Talovina I.V., Kruglova A.A., Krikun N.S. Iranian regional lineament zones and the location of Cu, Pb, Zn and Fe deposits. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-8-20>

Manuscript received 03 March 2020
Accepted 28 July 2020
Published 10 August 2020

* Corresponding author

Взаимосвязь между тектоническими процессами и структурами с формированием месторождений полезных ископаемых давно является предметом интереса для многих геологов. Линеаменты — это крупномасштабные структуры планетарного масштаба, которые могут быть связаны с глубинными разломами [2, 4, 5, 18]. Применение различных методов изучения планетарной трещиноватости и линеаментов при поисках и разведке рудных полезных ископаемых дает возможность выявлять и проследивать металлогенические провинции, определять их масштаб, намечать вероятное положение рудных узлов и полей, оконтуривать намеченные рудные узлы и поля и выделять в их пределах возможные максимальные концентрации полезного ископаемого [6]. В рудных провинциях количество линеаментов и дизъюнктивных нарушений может выступать как один из факторов для прогноза месторождений полезных ископаемых. Это связано с тем, что разрывные нарушения зачастую служат подводящими каналами для гидротермальных растворов [1, 7].

Иранское плато, за исключением орогенного пояса Загрос на юго-западе и хребта Копетдаг на северо-востоке, составляет центральную часть Альп-Гималайского металлогенического пояса. Геологическая эволюция Ирана включает процессы, протекающие не одну эпоху [13, 19, 30]. Раннебайкальский тектогенез привел к формированию крупных скоплений железа и цинка, свинца и серебра в Центральном, Северо-Западном и Юго-Восточном Иране. Результатом проявления последующих эпох складчатости, вплоть до раннекиммерийской, стало формирование месторождений цинка, свинца, серебра, железа, меди, олова и вольфрама в северо-западных окраинах Альборзских гор, вдоль зоны Санандадж — Сирджан и в восточной части Ирана [23] (рис. 1). Киммерийский тектогенез характеризуется образованием цинково-свинцово-серебряной минерализации почти на всем Иранском плато. Наибольшее количество месторождений этих элементов обнаружено в районе Малайер — Исфахан, помимо этого, в той или иной мере объекты данного типа встречаются по всему центральному Ирану [25, 27]. В это же время были сформированы различные месторождения железных руд. Ранние стадии альпийского тектогенеза привели к интенсивному формированию месторождений меди, золота, свинца-цинка-серебра и железа на Иранском плато [10, 15].

Целью данного исследования является определение взаимосвязи между рудными месторождениями и линеамен- тами и региональными разломами

в Иране по спутниковым снимкам, цифровой модели рельефа и структурным картам. Такого рода исследования могут применяться при прогнозе перспективности рудных полей в удаленных или слабоизученных районах.

Задачи данного исследования: 1) выявить разрывные нарушения Ирана, используя технологии дистанционного зондирования; 2) определить местоположение и охарактеризовать минеральный состав основных металлогенических провинций региона; 3) выявить взаимосвязь между характеристиками линеаментов с месторождениями полезных руд Ирана.

Металлогения

Месторождения железа

Несмотря на то что в Иране расположено большое количество месторождений железа (рис. 1), основной объем железной руды поступает с трех месторождений в центре, на северо-востоке и юго-востоке Ирана. Централь- но-Иранская железорудная провинция связана с развитием зоны Кашмер — Керман. Провинция имеет дугообразную форму длиной более 1000 км и шириной до 80 км [29, 31]. Железорудная провинция Бафк расположена в центральной части Кашмер-Керманской зоны и является местом размещения основных железистоокисных руд ($\approx 1,8$ Gt; NISCO, 1980 г.) [17, 22].

Медные месторождения

Формирование крупных месторождений медной руды произошло в пределах вулканоплутонического пояса, существовавшего в позднем олигоцене-миоцене [12]. Сейчас данная зона простирается через Турцию на Балканы и известна как Северо-Анатолийский металлогенический пояс. Важными иранскими порфировыми месторождениями меди являются Сар Чешме, Мейдук, Алиабад и Даре зерешк в Уромие-Дохтар и месторождение Сунгун в провинции Ахар Арасбаран [17].

Свинцово-цинковые месторождения

Месторождения свинца и цинка распространены почти по всему Иранскому плато. В настоящее время известно около 600 свинцово-цинковых месторождений. Даже в горах Загрос, бедных на полиметаллическое оруденение, есть одно свинцово-цинковое месторождение (Кух-Сормех). Только малая часть из них (около десяти) разведана и эксплуатируется [17, 24]. Провинции с наибольшим потенциалом для цинк-свинцовой минерализации — это Центральный Иран и пояс Санандадж — Сирджан. Однако в настоящее

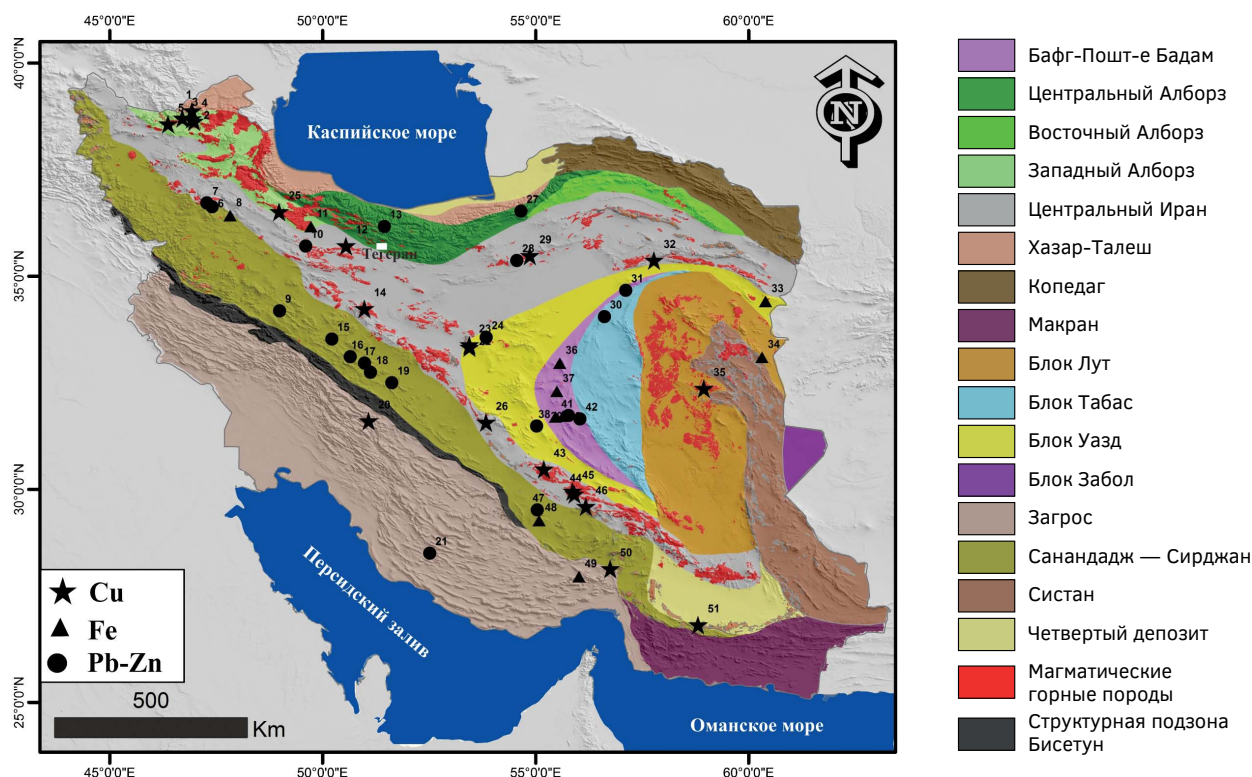


Рис. 1. Геолого-структурная карта Ирана (модифицированная из [11]) и крупных рудных месторождений
Fig. 1. Geological-structural map of Iran (modified from [11]) and major ore deposits

время в Иране также известны многочисленные месторождения несulfидного цинка [14]. Считают, что большая часть несulfидных месторождений цинка сформировалась в карбонатных породах юрского и мелового периодов в пределах главной Иранской плиты [8, 20].

Методы исследования

Линеаменты выделялись с использованием спутниковых изображений и цифровой модели рельефа (ЦМР). Для сопоставления выделенных линеаментов и региональных разломов использовались мелкомасштабные геологические карты [28]. В ходе исследования использовались данные дистанционного зондирования Ирана, которые доступны в виде 80 информационных сцен из Landsat ETM⁺ 7 (данные 2001 г.), закодированных с помощью Ран 155–169 и строк 33–42, имеющих пространственное разрешение 30 м. Существует много подходящих методов для извлечения структурных особенностей из данных дистанционного зондирования. В нашем случае структурные карты воспроизводились путем обсервационной интерпретации и ручного и автоматического распознавания линеаментов. Изо-

бражения были обработаны с помощью программного обеспечения Geomatica 2015.

Цифровая модель рельефа представляет собой цифровое отображение рельефа земной поверхности и состоит из выборочного набора высотных отметок для ряда позиций на Земле с равномерно распределенными интервалами. Чтобы использовать эти данные для определения линеаментов Ирана, точечные объекты (x, y и z) из данных топографической миссии челнока (STRM) с высотой 90 м (свободно доступны из США) были использованы для создания ЦМР. Эти преобразования были выполнены программным обеспечением ArcGIS 10.

Для определения пространственных взаимосвязей между рудными месторождениями и линеаментами, помимо цифровой карты линеаментов, требуется «База данных рудных месторождений Ирана», содержащая сведения о местоположении действующих и заброшенных месторождений и их запасах или ресурсах в зависимости от стадии разведки или поиска. База данных была составлена на основе геологических карт и информации, предоставленной Геологической службой Ирана (GSI) [20]. Интегральным результатом этих данных является созданная с помощью программного

обеспечения ArcGIS «Комбинированная карта линеаментов и месторождений меди, свинца, цинка и железа в Иране» масштаба 1:2 500 000.

Линеаменты и рудные месторождения

Взаимоотношение между линеаменами и рудными месторождениями представляет интерес для многих геологов [3]. Поскольку существуют разные предположения относительно определения линеаментов, известны также разные идеи относительно отношений между линеаменами и рудными месторождениями. Некоторые авторы [16] игнорируют логическую связь между шириной линеаментов (более нескольких десятков километров) и размерами месторождений полезных ископаемых (обычно менее 10 км²) в качестве полезного ориентира для прогноза месторождений полезных ископаемых.

Согласно [31], трещины и разломы в горных породах благоприятствуют формированию рудных минералов, так как зачастую являются подводящими каналами для гидротермальных растворов. Районы с высокими концентрациями или пересечениями этих структур могут быть пригодны для проникновения рудообразующих растворов и последующей минерализации. Недавнее понимание многими геологами важности использования линеаментов для прогноза рудных месторождений основано на идее, что линеаменты представляют собой поверхностные следы глубинных разломов [26].

Результаты исследования

Разломы и линеаменты Ирана

Региональные разломы являются результатом горизонтальных и вертикальных движений блоков, составляющих земную кору Ирана. Они имеют различную кинематику и масштаб и служат границами для тектонических структур первого, второго и третьего порядка, которые формировались на территории Ирана в течение его продолжительной геологической эволюции. Исключив ложные линеаменты, путем сопоставления их с разломами, отмеченными на мелкомасштабных геологических картах Ирана, мы предположили, что большинство линеаментов, нанесенных на карту, являются следами глубинных разломов (рис. 2А).

Большая часть рудных месторождений Ирана сосредоточена в зонах разломов или контролируется разломами. Выделяются четыре основных направления простирания разломов Ирана: это субширотное; северо-запад, северо-восток и субмеридиональное, как показано на рисунках 2Б, В.

Краткие характеристики этих дизъюнктивных нарушений следующие. I. Субширотное простирание характерно для правосторонних сдвигов, оставшихся от катангийского тектогенеза, что согласуется с ориентацией Лутского региона, Восточного Ирана и разломов Найбанда и Базмана. II. Нарушения северо-западного тренда сформировались во время альпийского тектогенеза и совпадают с ориентацией орогенных поясов Загрос, Санандаж — Сирджан, вулканического пояса Уромие — Дохтар и Западного Альборза. III. Простирания север-восток имеют разломы с левосторонней сдвиговой кинематикой, они образовались с открытием Неотетисского океана в пермский и триасовый периоды, эта категория параллельна депрессиям Альборз и Деште-Кавир. IV. Ориентация субмеридиональная в основном соответствует молодым разломам и менее типична для региональных разломов Ирана.

Связь между линеаменами и рудными месторождениями в Иране

Для определения взаимосвязей между рудными месторождениями и линеаменами требуются две серии данных: «Цифровая карта линеаментов Ирана» и «База данных рудных месторождений Ирана», содержащая местоположение месторождений и их ресурсы/запасы. Результатом интеграции этих данных является «Комбинированная карта линеаментов Ирана и месторождений меди, свинца, цинка и железа», которая показана на рисунке 3 (А, В, Д).

Для изучения взаимосвязи между линеаменами и рудными месторождениями Ирана информация о размерах и ресурсах/запасах месторождений и их расстоянии от линеаментов была обработана в программном обеспечении ArcGIS 10 (рис. 3Г, Е). Граничная зона была определена как 15 км от каждой стороны линеаментов, имея общую ширину в поперечном направлении 30 км [26], что применимо для больших линеаментов.

Рисунок 3А иллюстрирует взаимное расположение 889 месторождений медной руды с линеаменами. Месторождения меди расположены по разным направлениям, но ориентация на северо-запад является преобладающей. Некоторые скопления месторождений меди в Западном Иране в вулcano-плутонических поясах Уромие — Дохтар, Арасбаран и в центральной и северной частях Восточного Ирана демонстрируют высокую прямую зависимость с зонами сгущения и пересечения линеаментов. Эти скопления обычно располагаются между близлежащими линеаменами,

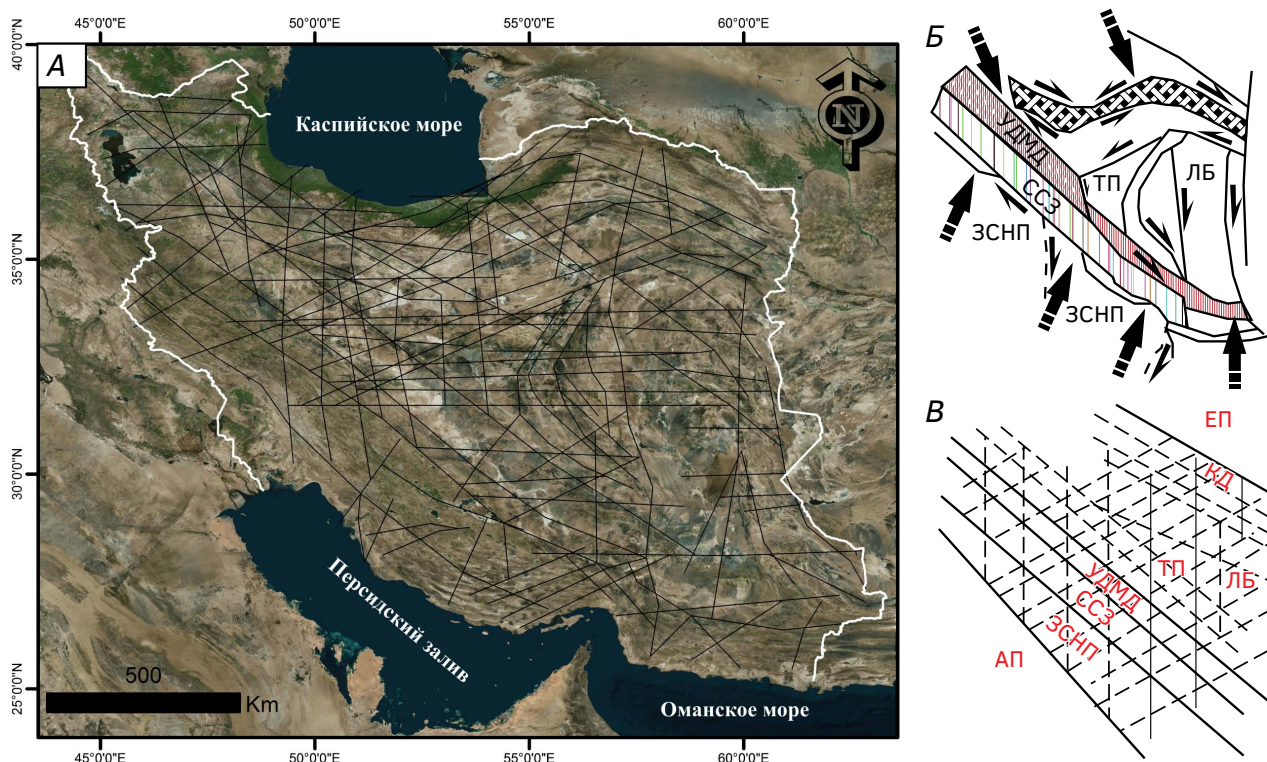
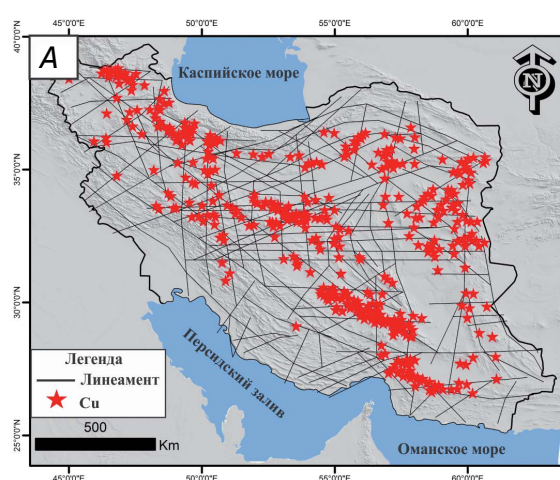


Рис. 2. А — карта линейментов Ирана, полученная по данным спутниковых изображений и ЦМР; Б — основные ориентации разломов фундамента (толстые линии), современные разломы (тонкие линии) и характерные особенности основных структурно-осадочных зон; В — роль разломов в разделении геологических зон Ирана (адаптировано из [5]); сокращения: ЗСНП: надвиговый пояс Засад-Содар, ССЗ: зона Санандадж — Сирджан, УДМА: магматическая дуга Уромие — Дохтар, ЛБ: Лут Блок, ТП: подзона Табас, КД: Копетдаг, АП: Аравийская плита, ЕП: Евразийская плита

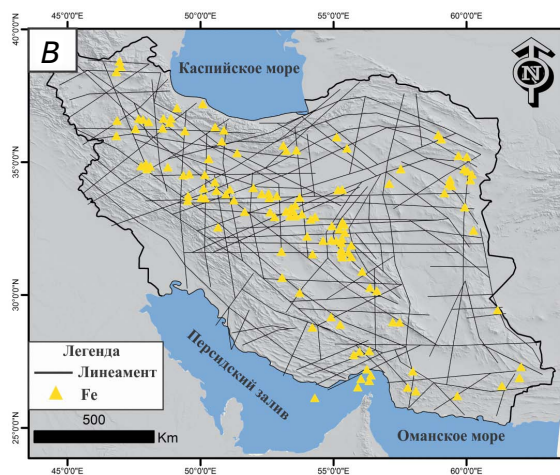
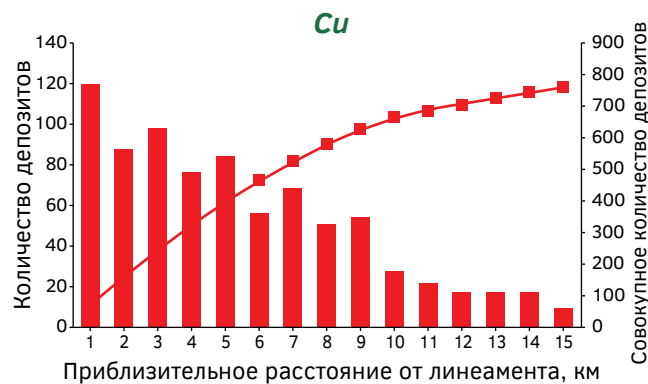
Fig. 2. А — Lineament map of Iran obtained from satellite images and elevation model data (DEM). Б — The main orientations of the basement faults (thick lines), present faults (thin lines), and the characteristic features of the main structural-sedimentary zones). В — The role of faults in dividing the geological zones of Iran (adapted from [5]); abbreviations: ZFTB: Zagros Fold and Thrust Belt, SSZ: Sanandaj-Sirjan Zone, UDMA: Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, LB: Lut Block, TS: Tabas Subzone, KD: Kopet-Dagh, AP: Arabian Plate, EP: Eurasia Plate)

их пересечениями и в зонах прямоугольной или квадратной формы, ограниченных линейментами. Такого рода скопления на западе Ирана встречаются чаще, чем на востоке. В большинстве случаев медные месторождения распределены линейно вдоль линейментов. В более чем половине мест пересечений линейментов или в зонах вблизи пересечений находятся месторождения. Как показано на рисунке 3Б, число объектов уменьшается с увеличением расстояния от линейментов. 801 из 889 месторождений меди (более 89%) находятся на расстоянии менее 15 км от линейментов или в местах их пересечений. Более 50% ближе 5 км к линейментам. Очевидный разрыв происходит на расстоянии 9 км на кумулятивной кривой, показывающей значительное сокращение количества рудных объектов.

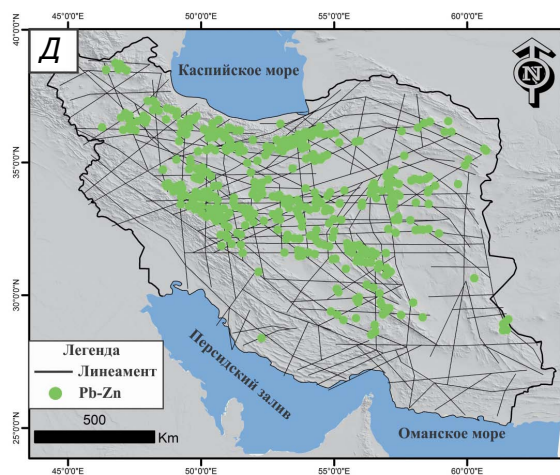
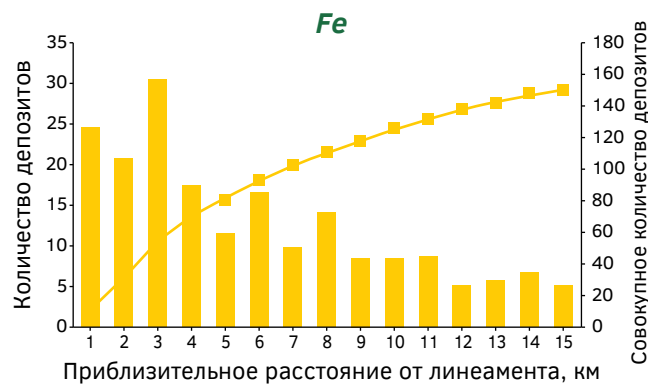
На рисунке 3В показано расположение 203 месторождений железа с линейментами. Основной тенденцией месторождений железной руды является северо-западное направление. С пересечением линейментов в Центральном Иране совпадают скопления месторождений железа, это в меньшей степени относится и к Западному Ирану. Месторождения железной руды в других структурных зонах Ирана также показывают некоторую связь с положением линейментов. Из рисунка 3Г видно, что количество железорудных объектов уменьшается с увеличением расстояния от линейментов. 181 из 203 месторождений железа (более 90%) находятся в пределах диапазона 15 км, из которых 50% из них ближе чем 5 км к линейментам. Если рассматривать кумулятивную диаграмму, на расстоянии 6 км на кривой наблюдается разрыв,



Б



Г



Е

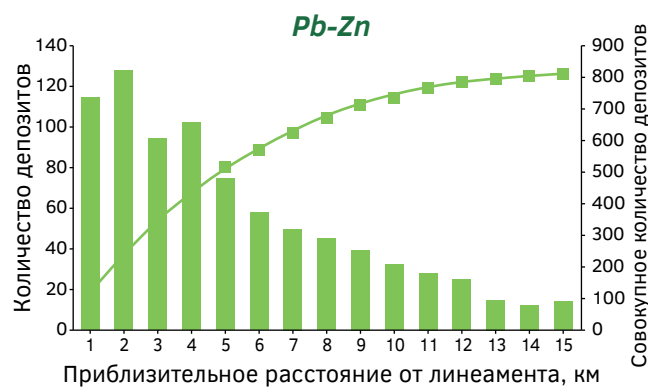


Рис. 3. Пространственное распределение месторождений (А) меди, (В) железа, (Д) свинца и цинка на карте линеаментов Ирана с гистограммами и кумулятивными картами ресурсов и месторождений для (Б) меди, (Г) железа (Е) свинца и цинка, исходя из расстояния от линеаментов Ирана
Fig. 3. Spatial distribution of deposits (A) copper, (B) iron, (D) lead and zinc on the map of lineaments of Iran, with histograms and cumulative charts of the mineral reserves for (Б) copper, (Г) iron (Е) lead and zinc, based on distance from lineaments of Iran

за пределами которого уменьшается количество месторождений железной руды.

На рисунке 3Д показано распределение 891 месторождения свинца и цинка и линейных зон. Распределение данных месторождений в Иране имеет V-образную форму с юга на север Ирана. Эти объекты более всего тяготеют к линейным зонам северо-восточного и северо-западного простираний; также есть небольшая взаимосвязь с линейными зонами субмеридионального простирания. В местах пересечений линейных зон находятся скопления месторождений свинца и цинка. Они чаще всего встречаются в центральных частях Ирана

и в большинстве случаев заканчиваются по зонам простирания линейных зон. На рисунке 3Е показано, что число месторождений свинца и цинка имеет тенденцию к снижению с увеличением расстояния от линейных зон. 841 из 891 объекта (более 94%) находятся в пределах 15 км, а более 50% ближе чем 4 км к линейным зонам.

Для более глубокого изучения связи между рудными месторождениями и линейными зонами некоторые крупные месторождения в металлогенических зонах Ирана были проанализированы отдельно (рис. 4). Большинство из этих месторождений расположены в зонах пересечения

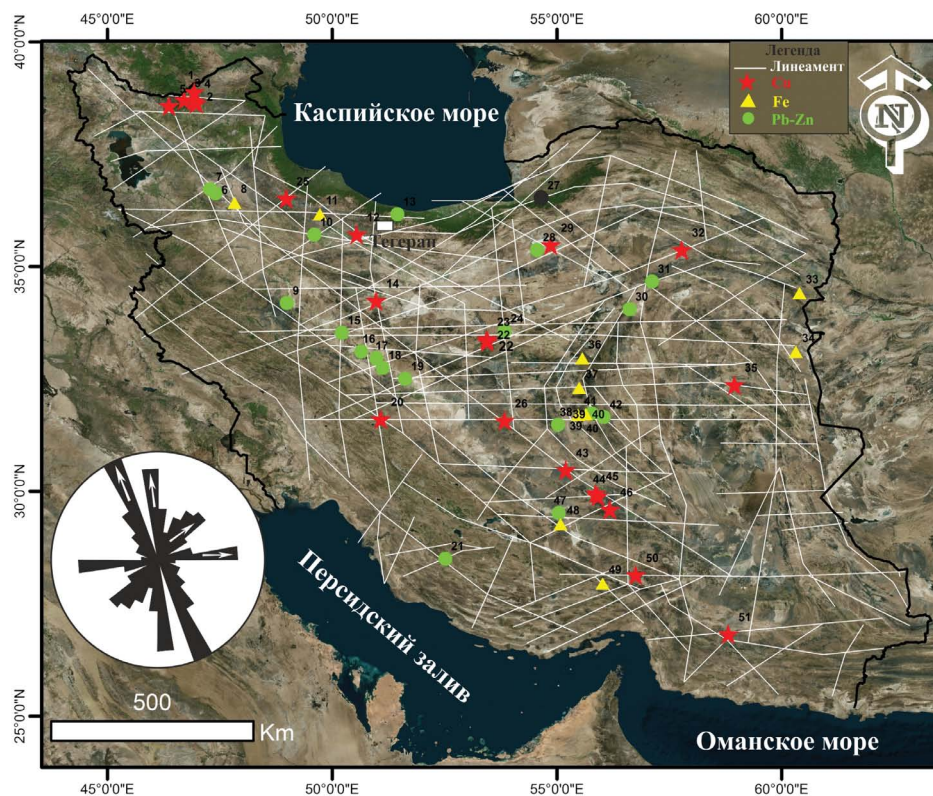


Рис. 4. Карта распределения крупных месторождений меди, железа, свинца и цинка Ирана и их связь с основными линейными зонами: 1) Масджид Даги, 2) Мазраех, 3) Сунгон, 4) Энджерд, 5) Астамал, 6) Ануран, 7) Алам Канди, 8) Шахрак, 9) Ахангаран, 10) Хафт Эмарат, 11) Шамс-Абад, 12) Джару, 13) Дона, 14) Вешнаве, 15) Дарре Нокре, 16) Лакан, 17) Хосейн Абад, 18) Анжире Тиран, 19) Иранкух, 20) Дех Мадан, 21) Кух-е-Сурмех, 22) Мескани, 23) Талмеси, 24) Нахлак, 25) Али Абад, 26) Даррех Зерешк, 27) Мужен, 28) Хан Джар, 29) Ча Муса, 30) Ча Собр, 31) Озбак Кух, 32) Такнар, 33) Санган, 34) Газик, 35) Калех Зари, 36) Робат Пош Бадам, 37) Чадор Малу, 38) Мехди Абад, 39) Коушк, 40) Сечахун, 41) Чогарт, 42) Ча Мир, 43) Мейдук, 44) Даррех-Зар, 45) Сар Чешме, 46) Чахар Гонбад, 47) Чах Газ, 48) Гол Гоар, 49) Танг-э-Зах, 50) Шейх Аали, 51) Рамешк

Fig. 4. Distribution map of significant copper, iron, lead and zinc deposits of Iran and their relation with the major lineaments. 1) Masjed Daghi, 2) Mazraeh, 3) Songon, 4) Anjerd, 5) Astamal, 6) Anguran, 7) Alam Kandi, 8) Shahrak, 9) Aghdarreh, 10) Haft Emarat, 11) Shams Abad, 12) Jarou, 13) Dona, 14) Veshnavah, 15) Darreh Noqreh, 16) Lakan, 17) Hosein Abad, 18) Anjeereh Tiran, 19) Irankuh, 20) Deh Madan, 21) Kuh-e-Surmeh, 22) Meskani, 23) Talmesi, 24) Nakhlak, 25) Ali Abad, 26) Darreh Zereshk, 27) Moujen, 28) Khan Jar, 29) Chah Mousa, 30) Chah Sorb, 31) Ozbak Kuh, 32) Taknar, 33) Sangon, 34) Gazik, 35) Qaleh Zari, 36) Robot Posht Badam, 37) Chador Malu, 38) Mehdi Abad, 39) Khoushk, 40) Sechahoon, 41) Choghart, 42) Chah Mir, 43) Meiduk, 44) Darreh Zar, 45) Sar Cheshmeh, 46) Chahar Gonbad, 47) Chah Gaz, 48) Gol Gohar, 49) Tang-e-Zagh, 50) Sheikh Aali, 51) Rameshk

или сгущения линеаментов. Граничные зоны на расстояниях 1, 5, 10 и 15 км от линеаментов были определены для расчета зависимости этих рудных месторождений от линеаментов.

Месторождения меди на западе Ирана расположены на одной линии с линеамен-тами северо-восточного и северо-западного простираний и в зонах пересечения с линеамен-тами субмери-дионального простирания. Крупные месторожде-ния меди на западе Ирана в основном являются порфировыми или скарновыми. Из 31 месторо-ждения 19 находятся на расстоянии 15 км от ли-неаментов, тогда как 12 — ближе 5 км.

Крупные месторождения железа расположены в южной части Ирана и находятся на одной линии с линеамен-тами северо-западного простирания, а также расположены на их пересечениях с ли-неамен-тами восточного простирания. Месторо-ждения железа в южной половине Ирана в основ-ном магматические и скарновые. Из 9 крупных объектов 8 находятся на расстоянии 15 км, причем 6 находятся ближе 5 км. Только одно месторожде-ние пространственно не связано с линеамен-тами.

Месторождения свинца и цинка в северной по-ловине и западной части Ирана находятся на одной линии с линеамен-тами северо-западного простира-ния и преимущественно расположены на их пере-сечениях с линеамен-тами субмеридионального простирания. Большинство месторождений свинца и цинка в Иране относятся к типам MVT (свинцо-во-цинковые в карбонатных комплексах, миссисип-ский), SEDEX (колчеданные в терригенных и терри-генно-карбонатных комплексах) и несulfидным [9, 21, 25]. Из общего числа 21 крупного месторо-ждения свинца и цинка 20 расположены на рассто-янии 15 км, из них 18 ближе чем 5 км, и только одно не расположено на линии.

Основываясь на полученных статистических данных, можно заключить, что большинство круп-ных рудных месторождений в Иране приурочено

к линеамен-там или зонам их пересечений. Эта схема особенно верна для месторождений свинца и цинка. Возможно, что линеамен-ты с северо-за-падным и северо-восточным простиранием игра-ют наиболее важную роль в размещении месторо-ждений этих элементов в Иране.

Выводы

Геопространственные данные в региональ-ном масштабе, такие как спутниковые изображения, геологические и геоструктурные карты, а также цифровая модель рельефа (ЦМР), были необходи-мы для понимания и подготовки предварительной карты линеаментов Ирана. На основании этих ис-следований было выяснено, что линеамен-ты Ира-на простираются в нескольких основных направ-лениях: в северо-восточном и северо-западном и, в меньшей степени, в северном и восточном. Простирание этих линеаментов совпадает с глав-ными разломами и структурными зонами Ирана.

Сопоставление баз данных месторождений свинца и цинка, меди, железа с линеамен-тной картой Ирана показывает, что более 90% руд-ных месторождений расположены на рассто-янии менее 15 км от центральной линии линеамен-тов. Около 50% линеаментов расположены менее чем в 5 км. Таким образом, мы обнаружили, что большинство рудных месторождений рас-положены вблизи линеаментов или в местах их пересечения. Установлено, что связь между ме-сторождениями свинца и цинка с линеамен-тами и их пересечениями более очевидна, чем у место-рождений меди и железа. Можно предположить, что линеамен-ты с северо-восточным и северо-за-падным простираниями сыграли немаловаж-ную роль в формировании рудных месторождений в Иране. Основываясь на данном исследовании, зоны пересечения линеаментов можно считать по-лезными для будущей оценки перспективных руд-ных полей Ирана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буханова Д.С. Типоморфные характеристики мед-но-порфирового оруденения // Материалы X регио-нальной молодежной научной конференции «Ис-следования в области наук о Земле». 28—29 ноября 2012 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулка-нологии и сейсмологии ДВО РАН, 2012. С. 5—18.
2. Гусев А.В., Печенкин М.М., Таловина И.В. Блоко-вое строение Северо-Онежского синклиория Фенноскандинавского щита по комплексным гео-лого-геофизическим данным // Горный информа-ционно-аналитический бюллетень (научно-техни-ческий журнал). 2016. № 2. С.188—194.
3. Жиров Д.В., Климов С.А., Пантелеев А.В., Жиро-ва А.М. Выделение факторов контроля геодинами-ческих опасностей на примере 3D геолого-струк-турной модели природотехнической системы «Рудник Расвумчоррский — карьер Центральный» (Хибины) // Горный информационно-аналити-ческий бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 200—226.

4. Изосов Л.А., Ли Н.С. Линейamentный анализ при тектонических и металлогенических построениях в Япономорском регионе // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 1. С. 9—14.
5. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. С. 56—56.
6. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линейamentов (под редакцией С.С. Шульца). Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. 136 с.
7. Рычагов С.Н. Гигантские газо-гидротермальные системы и их роль в формировании пародоминирующих геотермальных месторождений и рудной минерализации // Вулканология и сейсмология. № 2. 2014. С. 69—92.
8. Bazargani-Guilani K., Nekouvaght Tak M.A., Faramarzi M. Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, Central Alborz, Iran // Australian Journal of Earth Sciences. 2011. Vol. 58. № 3. P. 297—307.
9. Boni M., Gilg H.A., Balassone G., Schneider J., Allen C.R. Moore F. Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran // Mineralium Deposita. 2007. Vol. 42. № 8. P. 799—820.
10. Carranza E.J.M. Geologically — Constrained Mineral Potential Mapping // PhD Thesis. Delft University of Technology. The Netherlands, 2002. P. 480.
11. Chernicoff C.J., Richards J.P., Zappettini E.O. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence // Ore Geology Reviews. 2002. Vol. 21. P. 127—155.
12. Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // Economic geology. 2005. Vol. 100. № 5. P. 801—818.
13. Cox S.F., Knackstedt M.A., Braun J. Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems // Economic Geology. 2001. Vol. 14. P. 1—24.
14. Daliran F., Pride K., Walther J., Berner Z.A., Bakker R.J. The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 373—402.
15. Ekneligoda T.C., Henkel H. Interactive spatial analysis of lineaments // Journal of Computers and Geosciences. 2010. Vol. 36. № 8. P. 1081—1090.
16. Gilluly J. Lineaments ineffective guides to ore deposits // Economic Geology. 1976. Vol. 71. № 8. P. 1507—1514.
17. Ghorbani M. Economic Geology of Iran // GSI Publisher. 2002. 700 p (In Persian).
18. Gorelikov V.G., Lykov Yu.V., Baatarkhuu G. Analytical and Experimental Study of the Mechanisms of Diamond Bits Interaction with Rocks in the Wellbore During Sinking Processes // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. № 10. P. 7012—7016.
19. Hu X., Garzanti E., Wang J., Huang W., An W., Webb A. The timing of India-Asia collision onset—Facts, theories, controversies // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 160. P. 264—299.
20. Lotfi M., Mir Mohammad Sadeghi M., Omrani S.J. Mineral Distribution Map of Iran (Scale: 1:1,000,000) // Geological Survey Iran. 1993.
21. Meshkani S.A., Mehrabi B., Yaghubpur A., Alghalandis Y.F. The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: a case study of the Sanandaj-Sirjan metallogenic zone, Iran // journal of geochemical exploration. 2011. Vol. 108. № 3. P. 183—195.
22. Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G. Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit // Ore Geology Reviews. 2009. Vol. 35. P. 401—414.
23. Nogol Sadat M.A.A. Les Zones de decrochement ET les virgations structural en Iran. Consequences des resultants de l'analyse structurale de lareigon de Qom. Thses Univ.Scientifique ET Medicate de Grenoble. 1978. P. 201.
24. Rajabi A., Rastad E., Canet C. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration // International Geology Review. 2012. Vol. 54. № 14. P. 1649—1672.
25. Rastad E., Fontbote L., Amistutz G.C. Relation between tidal flat facies and diagenetic ore fabrics in the strat-aband Pb-Zn-(Ba-Cu) deposits of Irankuh, Esfahan, West Central-Iran // Revista del Institu to de Investigaciones Geological Diputation provincial Universidad de Barcelona. 1980. Vol. 34. P. 311—323.
26. Richards J.P. Lineaments revisited // Society econ geological newsletter. 2000. Vol. 42. № 1. P.14—20.
27. Romer R.L., Kroner U. Phanerozoic tin and tungsten mineralization — tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting // Gondwana Research. 2016. Vol. 31. P. 60—95.
28. Sahandi M.R., Soheily M., Sadeghi M., Delavar S.T., Jafari Rad A. Geological Map of Iran, 1:1,000,000 // Geological Survey of Iran. Tehran: Unpublished, 2002.
29. Shafiei B. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications // Ore Geology Reviews. 2010. Vol. 38. P. 27—36.
30. Torsvik T.H., Cocks L.R.M. Gondwana from top to base in space and time // Gondwana Research. 2013. Vol. 24. № 3—4. P. 999—1030.
31. Tosdal R.M., Richards J.P. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu, Mo, Au deposits // Society of Economic Geologists. 2001. Vol. 14. P. 157—181.

REFERENCES

1. Bukhanova D.S. Typomorphic characteristics of porphyry copper mineralization. Proceedings of the X Regional Youth Scientific Conference "Research in the field of earth sciences". Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology, 2012. P. 5—18 (In Russian).
2. Gusev A.V., Pechenkin M.M., Talovina I.V. Block structure of the north onega synclinorium fennoscandian shield according To Complex Geological-geophysical data. Mining informational and analytical bulletin, 2016. № 2. P. 188—194 (In Russian).
3. Zhirov D.V., Klimov S.A., Pantelev A.V., Zhirova A.M. Allocation of factors controlling geodynamic hazards on the example of a 3D geologic-structural model of the natural resource system "Rasnik Rasvumchorkarny Tsentral" (Khibiny). Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2016. № 7. P. 200—226 (In Russian).
4. Izosov L.A., Li N.S. Lineament Analysis at Tectonic and Metallogenic Structures in the Japan Sea Region. Regional Problems. 2014. Vol. 17. № 1. P. 9—14 (In Russian).
5. Kopylov I.S. Theoretical and applied aspects of the theory of geodynamic active zones. Modern problems of science and education, 2011. № 4. P. 56—56 (In Russian).
6. Methodological Guide to the Study of Planetary Fracture and Lineaments (edited by S.S. Schultz). Leningrad: Publishing house of Leningrad University, 1977. 136 p. (In Russian).
7. Rychagov S.N. Giant gas-rich hydrothermal systems and their role in the generation of vapor-dominated geothermal fields and ore mineralization. Journal of Volcanology and Seismology, 2014. № 2. P. 69—92 (In Russian).
8. Bazargani-Guilani K., Nekouvaght Tak M.A., Faramarzi M. Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, Central Alborz, Iran // Australian Journal of Earth Sciences. 2011. Vol. 58. № 3. P. 297—307.
9. Boni M., Gilg H.A., Balassone G., Schneider J., Allen C.R. Moore F. Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran // Mineralium Deposita. 2007. Vol. 42. № 8. P. 799—820.
10. Carranza E.J.M. Geologically — Constrained Mineral Potential Mapping // PhD Thesis. Delft University of Technology. The Netherlands, 2002. P. 480.
11. Chernicoff C.J., Richards J.P., Zappettini E.O. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence // Ore Geology Reviews. 2002. Vol. 21. P. 127—155.
12. Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // Economic geology. 2005. Vol. 100. № 5. P. 801—818.
13. Cox S.F., Knackstedt M.A., Braun J. Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems // Economic Geology. 2001. Vol. 14. P. 1—24.
14. Daliran F., Pride K., Walther J., Berner Z.A., Bakker R.J. The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 373—402.
15. Ekneligoda T.C., Henkel H. Interactive spatial analysis of lineaments // Journal of Computers and Geosciences. 2010. Vol. 36. № 8. P. 1081—1090.
16. Gilluly J. Lineaments ineffective guides to ore deposits // Economic Geology. 1976. Vol. 71. № 8. P. 1507—1514.
17. Ghorbani M. Economic Geology of Iran // GSI Publisher. 2002. P. 700 (In Persian).
18. Gorelikov V.G., Lykov Yu.V., Baatarkhuu G. Analytical and Experimental Study of the Mechanisms of Diamond Bits Interaction with Rocks in the Wellbore During Sinking Processes // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. № 10. P. 7012—7016.
19. Hu X., Garzanti E., Wang J., Huang W., An W., Webb A. The timing of India-Asia collision onset—Facts, theories, controversies // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 160. P. 264—299.
20. Lotfi M., Mir Mohammad Sadeghi M., Omrani S.J. Mineral Distribution Map of Iran (Scale: 1:1,000,000) // Geological Survey Iran. 1993.
21. Meshkani S.A., Mehrabi B., Yaghubpur A., Alghalandis Y.F. The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: a case study of the Sanandaj-Sirjan metallogenic zone, Iran // journal of geochemical exploration. 2011. Vol. 108. № 3. P. 183—195.
22. Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G. Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit // Ore Geology Reviews. 2009. Vol. 35. P. 401—414.
23. Nogol Sadat M.A.A. Les Zones de décrochement ET les virgations structural en Iran. Consequences des resultants de l'analyse structurale de lareigon de Qom. Thses Univ.Scientifique ET Medicate de Grenoble. 1978. P. 201.
24. Rajabi A., Rastad E., Canet C. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration // International Geology Review. 2012. Vol. 54. № 14. P. 1649—1672.
25. Rastad E., Fontbote L., Amistutz G.C. Relation between tidal flat facies and diagenetic ore fabrics in the strataband Pb-Zn-(Ba-Cu) deposits of Irankuh, Esfahan, West Central-Iran // Revista del Institu to de Investigaciones Geological Diputation provincial Unversidad de Barcelona. 1980. Vol. 34. P. 311—323.
26. Richards J.P. Lineaments revisited // Society econ geological newsletter. 2000. Vol. 42. № 1. P.14—20.

27. Romer R.L., Kroner U. Phanerozoic tin and tungsten mineralization — tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting // *Gondwana Research*. 2016. Vol. 31. P. 60—95.
28. Sahandi M.R., Soheily M., Sadeghi M., Delavar S.T., Jafari Rad A. Geological Map of Iran, 1:1,000,000 // Geological Survey of Iran. Tehran: Unpublished, 2002.
29. Shafiei B. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications // *Ore Geology Reviews*. 2010. Vol. 38. P. 27—36.
30. Torsvik T.H., Cocks L.R.M. Gondwana from top to base in space and time // *Gondwana Research*. 2013. Vol. 24. № 3—4. P. 999—1030.
31. Tosdal R.M., Richards J.P. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu, Mo, Au deposits // *Society of Economic Geologists*. 2001. Vol. 14. P. 157—181.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Бейги С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, провела анализ данных, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Круглова А.А. — выполнила перевод на русский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Крикун Н.С. — присоединился к подготовке текста статьи, внёс вклад в разработку концепции статьи, выполнил перевод на русский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Soheyla Beygi — contributed to the development of the concept of the article, conducted a data analysis, 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.

Irina V. Talovina — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Anna A. Kruglova — translated it into Russian, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Nikita S. Krikun — joined the preparation of the text of the article, developed the article concept, prepared the text, translated it into Russian, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сохраби Араш — аспирант кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»
2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия
e-mail: arashshrbi@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1643-3225>

Arash Sohrabi — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia
e-mail: arashshrbi@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1643-3225>

Бейги Сохейла* — аспирантка кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»
2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия
e-mail: beygi.sohayla@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-3863>

Soheyla Beygi* — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia
e-mail: beygi.sohayla@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-3863>

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

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: i.talovina@gmail.com

SPIN-код: 7304-0991

Scopus Author ID: 12767015100

Publons (WoS) Researcher ID: S-2725-2018

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

Irina V. Talovina — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Head of the Department, Saint Petersburg Mining University

2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: i.talovina@gmail.com

SPIN: 7304-0991

Scopus Author ID: 12767015100

Publons (WoS) Researcher ID: S-2725-2018

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

Круглова Анна Александровна — ведущий инженер ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»

74, Средний пр., г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: kruglovaanna915@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6877-625X>

Anna A. Kruglova — leading engineer, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute

74, Sredny pr., St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: kruglovaanna915@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6877-625X>

Крикун Никита Сергеевич — аспирант кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: nskrikun@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-4987>

Nikita S. Krikun — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University

2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: nskrikun@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-4987>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



СУХОЛОЖСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОИСКИ РУД НА ЕГО ФЛАНГАХ

Е.М. НЕКРАСОВ^{1,*}, Л.А. ДОРОЖКИНА²

¹ ФГУНПП «Аэрогеология»

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

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Опытная эксплуатация руд из недр месторождения Сухой Лог показала, что геология и структура месторождения изучены недостаточно полно.

Цель работы. Более детально изучить геологию и структуру месторождения и определить основные закономерности размещения оруденения в плане, на флангах и на глубину, которые будут полезными при добыче руд на месторождении и при поисках фланговых продолжений оруденения.

Материалы и методы. Авторы в полной мере использовали имеющиеся карты, схемы, зарисовки и блок-диаграммы, фиксирующие рудные тела и их поведение в плане и на глубину, и построили новую схему оруденения на месторождении Сухой Лог, на его флангах и на глубину.

Результаты. Показано, что золотое оруденение на Сухоложской и Вернинско-Невской рудоносных площадях контролируются различными элементами трещинной структуры. При этом на Сухоложской площади оруденение приурочено к мощной зоне субширотного надвига чешуйчатого типа, местами приспособляющегося к неширокой полосе мелких разломов, плоскостей скольжения и трещиноватости северо-западного направления. Эта полоса трещиноватости пересекает вытягивающиеся субширотные рифейские глинисто-сланцевые породы Хомолхинской свиты примерно в средней части месторождения. Здесь чешуйчатый надвиг приспособляется к приоткрывающимся в период оруденения трещинным нарушениям северо-западного простирания и выполаживается, его мощность местами возрастает до 130 м. В изогнутом и выположенном интервале надвига локализуется рудное золото-арсенопирит-пирит-кварцевое образование мощностью в 130 м. Оно, склоняясь, полого погружается в север-северо-восточном направлении. Основная доля запасов золота оказалась заключенной в этом рудном образовании. Руды прожилково-вкрапленного типа, прожилковые и жильные образования являются наиболее богатыми рудами. Между ними всегда проявлена вкрапленность золотосодержащих пирита и подчиненного ему арсенопирита. «Густота», плотность межпрожилковой вкрапленности определяет рубеж промышленного оруденения.

На западном фланге месторождения, в пределах другого — Угаханского месторождения, развились прожилковые и жильные золото-кварц-пирротинные руды более глубокого уровня образования. Здесь поиски сухоложских пирит-кварцевых руд (если они даже и существовали) неперспективны, так как они были давно эродированы, а освободившееся золото сконцентрировалось в россыпях. Поиски перспективны только вдоль Безымянного рудоконтролирующего разлома, непосредственно ограничивающего западный фланг Сухоложского месторождения. Оруденение Вернинско-Невской площади контролируется Вернинским разломом восток — северо-восточного простирания и отделяющейся от него серией одиночных оперяющих рудоносных надвиговых зон субширотного направления. К востоку оно постепенно сходит на нет. Поиск руд сухоложского типа здесь более перспективен на восточном борту р. Нырли, в 2 км к востоку от одноименного разлома и в 7 км севернее Вернинского месторождения вблизи небольшого слабоизученного участка с промышленным оруденением золота, отмеченным на схеме месторождения знаком ТМ.

Заключение. В статье определены основные геолого-структурные закономерности локализации золотых руд, которые будут полезны при проведении геолого-разведочных работ на флангах месторождения.

Ключевые слова: месторождение, рудоконтролирующее нарушение, рудные зоны, рудные тела, золото

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А. Сухоложское золоторудное месторождение и возможные поиски руд на его флангах. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):21—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-21-34>

Статья поступила в редакцию 06.04.2020

Принята к публикации 23.07.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

SUKHOY LOG GOLD DEPOSIT AND POSSIBLE PROSPECTING FOR ORES ON ITS FLANKS

EVGENIY M. NEKRASOV^{1,*}, LYUDMILA A. DOROZHINA²

¹ Enterprise "Aerogeologiya"

8/2, str. Akademika Volgina, Moscow 117485, Russia

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

ABSTRACT

Background. Experimental exploitation of ores from the Sukhoi Log deposit has shown that its geology and structure requires elucidation.

Aim. To study the geology and structure of the Sukhoi Log deposit and to determine the main mineralisation patterns in the plan, on the flanks and at depth. This information can be useful when mining gold both directly at the deposit and when prospecting new deposits on its flanks.

Materials and methods. The existing maps, diagrams, sketches and block diagrams describing ore bodies and their behaviour in plan and at depth were used. A new structural layout of mineralisation at the Sukhoi Log deposit, both on its flanks and at depth was built.

Results. The gold mineralisation in the Sukholozhskaya and Verninsko-Nevskaya ore-bearing areas is controlled by various elements of the fracture structure. At the same time, in the Sukholozhskaya area, the mineralisation is confined to a thick zone of a sublatitudinal shingled thrust-fault zone, in places accommodating a narrow strip of small faults, slip planes and fracturing in the northwestern direction. The fracture strip intersects sub-latitudinally laying Riphean argillaceous-shale rocks of the Khomolkhin formation approximately in the middle part of the field. The shingled thrust-fault zone accommodates the fissure faults, which open during mineralisation of the north-west extension, and flattens out. Its thickness in some places reaches 130 m. In the curved and flattened thrust interval, an ore gold-arsenopyrite-pyrite-quartz formation is localised, morphologically resembling a "thick pillow" with a thickness of 130 m. It bends and gently plunges in the north-north-east direction. The bulk of gold reserves is contained in this ore formation. The ores of the vein-disseminated type, veinlet and vein formations are the richest formations. Between them, the dissemination of gold-bearing pyrite and subordinate arsenopyrite is always manifested. The boundary of industrial mineralisation is determined by the density of the interveinous ore.

On the western flank of the deposit, within the bounds of another — Ugakhan — deposit, vein and vein gold-quartz-pyrrhotite ores are found at a deeper level. Here, the search for Sukholozhsky pyrite-quartz ores (if they even existed) is not promising, since they were eroded long time ago, and the liberated gold was concentrated in placers. Prospecting is promising only along the Bezmyanny ore-controlling fault, which directly limits the western flank of the Sukholozhskoye deposit.

The mineralisation of the Verninsk-Nevsky area is controlled by the Verninsky Fault of the east-north-east extension and separated by a series of single feathering ore-bearing overthrust zones of the east-west extension. To the east, this mineralisation gradually decreases. The search for the Sukhologzhsk type ores is more promising on the eastern side of the Nyrli river, 2 km east of the fault of the same name and 7 km north of the Verninskoye deposit near a small, poorly explored area with commercial gold mineralization, marked on the deposit map with a sign *TM*.

Conclusion. The main geological and structural laws of the localisation of gold ores were determined, which could be useful when conducting exploration works on the flanks of the deposit.

Keywords: deposit, ore controlling fault, ore field, ore bodies, gold

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

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

For citation: Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A. Sukhoy log gold deposit and possible prospecting for ores on its flanks. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):21—34. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-21-34>

Manuscript received 06 April 2020

Accepted 23 July 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Лидер отечественных золоторудных месторождений — Сухоложское месторождение — размещается в пределах Ленской золоторудной провинции. В самом начале нашего столетия на западном фланге месторождения-гиганта была начата пробная карьерная добыча руд. Они подтвердили гидротермальную природу Сухоложского месторождения и развитие промышленных руд в зоне пологопадающих субширотных разрывов — надвигах. Вместе с тем не удалось в должной мере расшифровать геологическую позицию местами последовательно смещенных и исчезающих рудных тел, а также структуру самого месторождения в целом, позицию аналогичных по типу, но рядовых месторождений, локализованных к юго-востоку от Сухого Лога — Вернинского и Невского и к северо-западу — Угаханского. Эти обстоятельства побудили авторов составить новую рудно-структурную схему Сухоложской рудоносной площади и помочь выявить на ней участки, наиболее перспективные для поиска продолжений «сухоложских» рудных тел.

Представленная в статье новая рудно-структурная схема месторождения и примыкающей территории рассматривается как пример структурной ловушки рудных тел, формирующихся в пологом надвиге чешуйчатого типа, подвергающегося оруденению под нависающей поверхностью полосы трещиноватости северо-западного направления. Схема составлена авторами на основе геологических схем и карт, ранее опубликованных

В.А. Буряком и Н.М. Хмелевской [3], Б.Л. Вудоллом и Н.П. Поповым [6], авторами статьи [13], а также на основании имеющихся многочисленных и разнообразных изданных и фондовых материалов, собранных такими известными геологами, как С.Д. Шер, А.И. Иванов, Ю.П. Казакевич, Т.П. Жаднова, С.В. Яблокова, В.Б. Аминев, Д.А. Дорофеев, Ю.И. Новожилов, А.М. Гаврилов, Е.А. Зверева, И.А. Карпенко, И.Ф. Мигачев, и многими другими. При этом, как правило, материалы названных выше и не упомянутых здесь геологов обычно принимались за геологическую и структурную основу изучаемого участка и использовались в работе после небольших корректировок. Кроме того, при составлении рудно-структурной схемы были в полной мере использованы принципы составления подобных схем, разработанные одним из ведущих мировых геологов рудно-структурного направления Е.Ш. Хиллсом [14], в частности необходимые для выделения структурных связей — ловушек рудных тел.

Одной из таких связей-ловушек, по Е.Ш. Хиллсу, служат блоки пород, проявленные на рудоносных участках и месторождениях между двумя смыкающимися тектоническими плоскостями. Перемещения таких блоков, способствующие раскрытию трещинных полостей и локализации в них руд, возможны только в направлении, противоположном смыканию плоскостей, в сторону открытого

угла, как показано на рисунке 1. Локализация руд в этом случае осуществляется под нависающей плоскостью третьего — рудоконтролирующего разрыва. По представлениям Е.Ш. Хиллса [14], под-

держанным Ф.И. Вольфсоном и Л.И. Лукиным [4, 5], М.В. Гзовским [7] и другими тектонофизиками [15—17], именно в этом направлении при тектонических перемещениях происходит *разуплотнение*

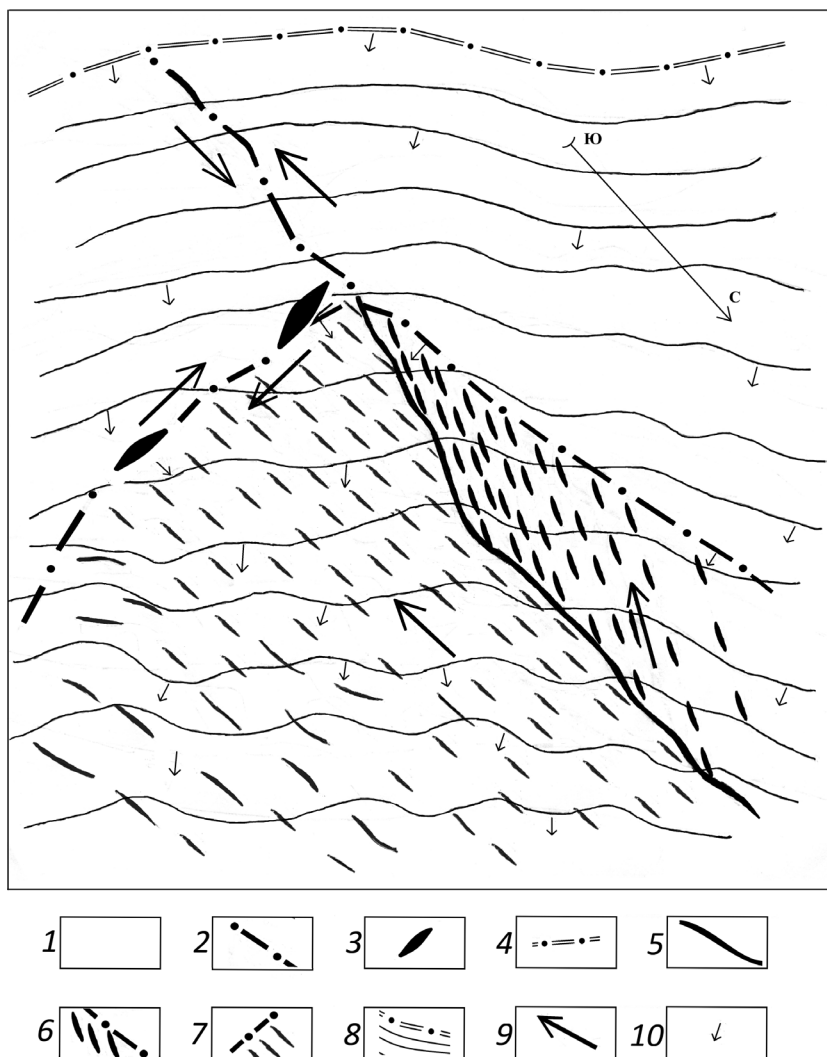


Рис. 1. Структурная связка-ловушка рудных тел, возникающая на сочленении бокового скола с главным разрывом под нависающей поверхностью экранирующего нарушения (в объемном изображении). 1 — рудовмещающие рифейские глинисто-сланцевые породы с прослоями и пачками карбонат и углеродсодержащих песчаников; 2 — главный разрыв; 3 — боковой оперяющий скол с рудными телами; 4 — нависающий экранирующий разрыв; 5 — линия сочленения рудоносного оперяющего скола (надвига) с главным разрывом; 6 — главный разрыв и его поверхность (плоскость); 7 — оперяющий скол и его пологопадающая поверхность (плоскость); 8 — поверхность (плоскость) нависающего экранирующего нарушения; 9 — направления относительных перемещений пород вдоль разрывов в период оруденения; 10 — направления погружения (падения) поверхностей (плоскостей) разрывов

Fig. 1. Structural bundle-trap of ore bodies that occurs at junction of lateral chip with the main break under overhanging surface of the screening fault (three-dimensional image). 1 — ore-bearing Riphean clay-shale rocks with interlayers and bundles of carbonate and carbonaceous sandstones; 2 — the main break; 3 — side feathering chip with ore bodies; 4 — overhanging shielding break; 5 — junction line of the ore-bearing feathering chip (shift) with the main break; 6 — the main break and its surface (plane); 7 — feathering chip and its gently falling surface (plane); 8 — surface (plane) of the overhanging shielding fault; 9 — direction of relative rocks displacement along breaks during mineralization; 10 — directions of faults surfaces (planes) sinking (falling)

проявленных здесь пород. Собственно, это и обуславливает возможность не только движения тектонических блоков, но и поступление в них рудоносных растворов, флюидов и газов. Именно в результате наличия перекрывающей плоскости над «верхушкой» рудовмещающего нарушения поднимающиеся золотосодержащие растворы, газы и флюиды застаиваются, охлаждаются, теряют свое *высокое внутреннее давление* и в результате проявления экранирующего эффекта и других причин раскристаллизовываются, образуя руды.

Вместе с тем на Сухом Логе наибольшая рудолокализирующая роль оказалась принадлежащей другой структурной связке — связке «парных субпараллельных разрывов», расшифрованной применительно для золоторудных месторождений Н.И. Бородаевским и другими геологами [2, 12, 13]. Именно указанные связки «парных субпараллельных разрывов» наиболее благоприятны для локализации рудных тел в интенсивно деформирующихся породах. Интенсивная рудолокализация особенно энергично проявляется при возрастании, «сгущении» субпараллельных нарушений, увеличении плотности таких разрывов в пределах зон трещиноватости, как правило, заключающих между собой рудовмещающие разрывы, зоны раздробленных, рассланцованных и будинированных пород, в которых и размещаются рудные тела. Все изложенные условия локализации руд были использованы при составлении новой предлагаемой рудно-структурной схемы. При этом авторы в первую очередь учитывали и опирались на уже имеющиеся карты и схемы основных месторождений, постепенно пополняя их фланги и выполняя приведенные выше условия размещения «структурных связей», благоприятных для локализации руд.

Как хорошо известно, Сухоложское месторождение-гигант локализовано в пределах мощной Хомолхинской свиты верхнерифейского возраста (предполагаемой толщиной (мощностью) более 10 тыс. м, которая, видимо, сильно завышена из-за неучета надвиговых явлений и вызванной этим неоднократной повторяемости разреза в районе месторождения). Свита представлена переслаивающимися углеродсодержащими алевролитовыми, аргиллитовыми, глинистыми сланцами и филлитами с чередующимися прослоями и горизонтами углеродсодержащих песчаников, особенно часто развитых в средней части свиты. Месторождения к юго-востоку от Сухого Лога (Вернинское и Невское), как известно [9], локализованы в горизонтах карбонатсодержащих песчаников Ауник-

ской свиты (чередующихся с кварцсодержащими), также верхнерифейского возраста. Считается [3, 9, 10, 13], что основной рудовмещающей структурой Сухоложского месторождения служит зона протяженного (более 3 км) надвига, использовавшего пластовые трещины, согласные со слоистостью рудовмещающей свиты.

Составленная авторами схема (рис. 2) показывает, что на западном и восточном флангах Сухоложского месторождения два сравнительно мощных (около 100—200 м) разлома субмеридионального направления — Угаханский и Нырлинский — соединены системой дорудных разрывов северо-западного направления. Такой вывод можно сделать исходя из материалов, перечисленных ниже. На детально разработанной геолого-геоморфологической схеме Сухоложской рудоносной площади ([10], рис. 4), в настоящей статье — рисунок 3, показаны удивительно прямолинейные субмеридиональные долины современных водотоков, которые, по представлению известных геологов-россыпников и геоморфологов, таких как Ю.П. Казакевич, Т.П. Жаднова [8, 10] и др., могут лишь свидетельствовать об использовании ими выдержанных зон, названных разломами древнего заложения. При этом Т.П. Жадновой было установлено [8], что в узлах пересечения меридиональными нарушениями разломов других направлений золотосодержательность возрастает в разы.

Между Угаханским и Нырлинским субмеридиональными разломами, скорее всего, развилась неширокая полоса соединяющих их маломощных (около 1—5 м), но многочисленных, чередующихся и сближенных (как показано на детальной зарисовке Ю.И. Новожилова, рис. 4), субпараллельных разломов и плоскостей скольжения северо-западного направления. Они преимущественно падают на северо-восток под углами от 40 до 60°. Промежутки между такими разрывами составляют от 5—7 до 30 м. Развиты они в пределах всей мощной полосы рудоносного надвига. Протяженность выделенной узкой северо-западной зоны, начинающей от Угаханского разлома до Нырлинского и далее до Вернинского, составляет примерно 20 км при ширине не более 1—1,5 км. Магнитной съемкой в районе подтверждено проявление подобных зон трещиноватости.

Сухоложское месторождение сформировалось в том участке указанной полосы трещиноватости [9, 10, 13], где надвиг развивается в средней части разреза Хомолхинской свиты, наиболее насыщенной пачками, слоями и горизонтами благоприятных для образования руд алевролитовых,

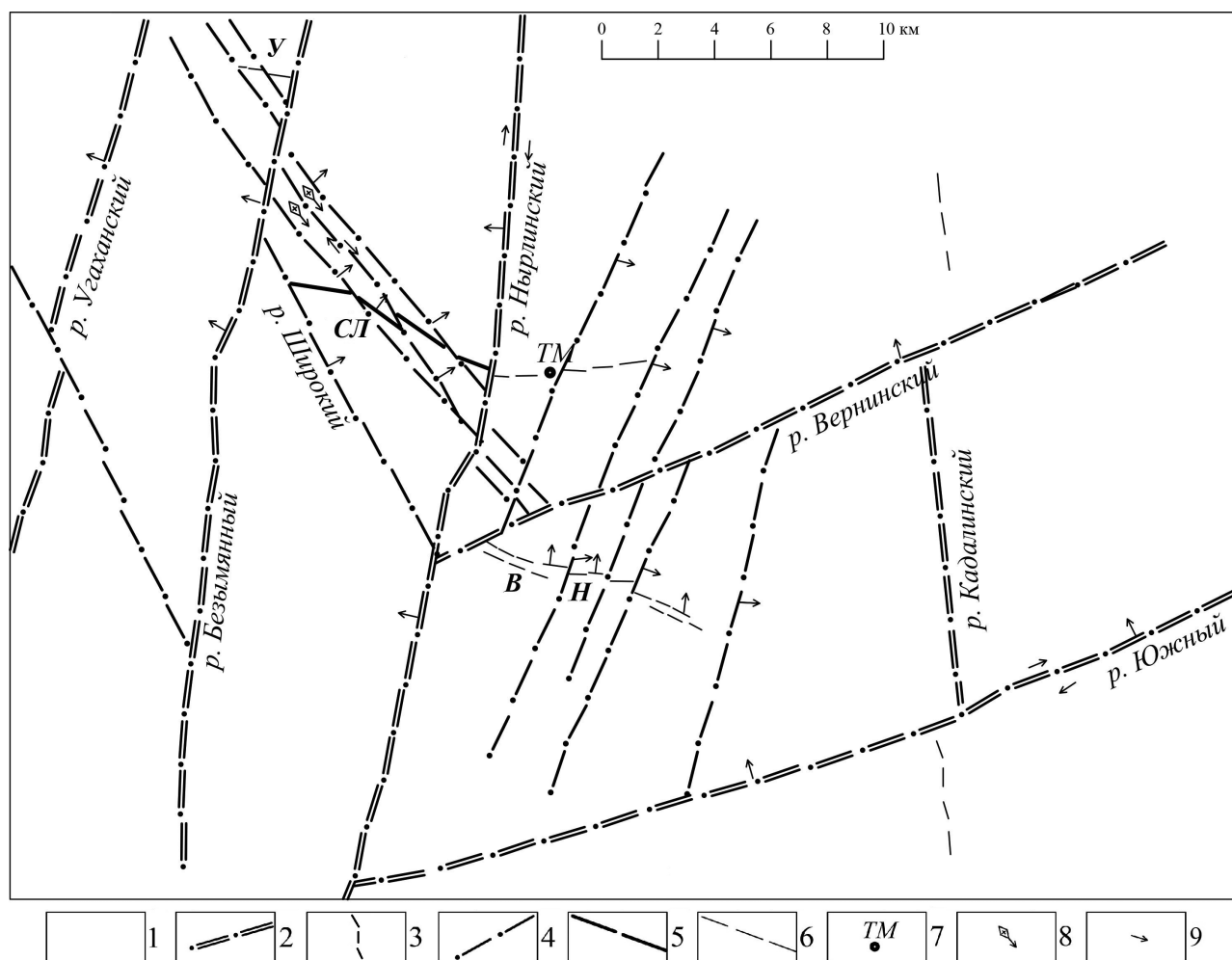


Рис. 2. Рудно-структурная схема, иллюстрирующая размещение золотого промышленного оруденения на Угахан-Сухоложской и Вернинско-Невской рудоносных площадях. Буквами обозначены главные разломы «р» — золоторудные месторождения: У — Угаханское, СЛ — гигантское Сухоложское, В и Н — рядовые Вернинское и Невское месторождения, ТМ — небольшой участок с промышленной минерализацией золота: 1 — сланцевые породы — алевролитовые, аргиллитовые, глинистые сланцы, филлиты, переслаивающиеся с углерод- и карбонатсодержащими песчаниками Хомолхинской свиты верхнего рифея на Угахан-Сухоложской площади и углеродсодержащие и кварцевые песчаники Ауникской свиты того же возраста на Вернинско-Невской площади; 2 — главные рудоконтролирующие разломы (р), и их наименования, стрелками показано направление падения нарушений; 3 — предполагаемое положение разломов; 4 — прочие рудоконтролирующие разломы меньшего масштаба; 5 — мощные золоторудные зоны, прослеженные; 6 — золоторудные зоны слабо прослеженные или предполагаемые; 7 — точка оруденения (ТМ) с промышленными содержаниями золота; 8 — направления перемещений крупномасштабных блоков пород как единой массы, плюс — вздымание, минус — погружение блоков пород; 9 — относительные направления перемещений пород, примыкающих к плоскостям разрывов

Fig. 2. Ore structural diagram illustrating location of industrial gold mineralization at Ugakhan-Sukholozhskaya and Verninsko-Nevskaya ore-bearing areas. The main breaks (“p”) — gold deposits are marked by letters: У — Ugakhan-skoye deposit, СЛ — giant Sukholozhskoye deposit, В and Н — ordinary Verninskoye and Nevskoye deposits, ТМ — a small a small area with industrial mineralization of gold; 1 — shale rocks — siltstone, mudstone, clay shales, phyl-lites, overlapping with carbon — and carbonate-bearing sandstones of Khomolkhinskaya suite of the upper Riphean at Ukgahan-Sukholozhskaya area and carbonaceous and quartz sandstones of Auniks-kaya suite of the same age at Verninsko-Nevskaya area; 2 — main ore-controlling faults (p), and their names, arrows show the direction of fall; 3 — estimated position of faults; 4 — other ore-controlling faults of a smaller scale; 5 — major traced gold ore bearing zones; 6 — poorly traced or estimated gold ore bearing zones; 7 — mineralization point (ТМ) with industrial gold content; 8 — directions of movement of large-scale blocks of rocks as a single mass, plus — rising, minus — descending blocks of rocks; 9 — relative directions of movement of rocks adjacent to the break planes

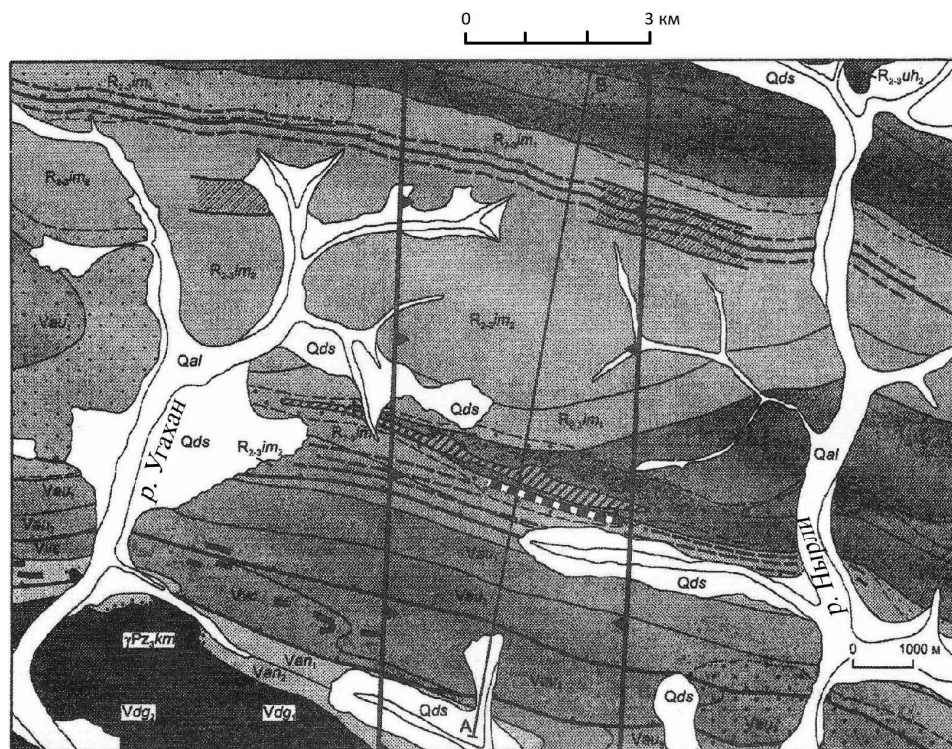


Рис. 3. Геолого-геоморфологическая схема Угахан-Сухоложской рудоносной площади (По Иванову А.И., 2008, [10], см. с. 46, рис. 3). Серыми тонами и, в том числе, сплошными и штриховыми линиями показаны слои и согласные с ними зоны расщепления в пределах Хомолхинской свиты; полосой косых штрихов отмечены гидротермально измененные надрудные породы кровли золоторудной залежи; полосой белых кубиков — Сухоложская золоторудная залежь и рудные образования ее подошвы; белыми полями и полосами показаны рыхлые отложения в долинах современных водотоков, отмеченные индексами Qal и Qds, подписаны основные реки (р.) и ручьи (пуч.)

Fig. 3. Geological and geomorphological scheme of Ugakhan-Sukholozhskaya ore-bearing area (according to Ivanov A.I., 2008 [10], p. 46, fig 3). Gray tones and, in particular, solid and dashed lines show the layers and corresponding cleavage zones within Khomolkhinskaya suite; a band of oblique strokes marks hydrothermally altered supra-ore rocks of the roof of the gold deposit; a band of white cubes — Sukholozhskaya gold deposit and ore formations of its bottom; white fields and stripes show loose deposits in the valleys of modern watercourses, marked with Qal and Qds indices, the main rivers (p.) and streams (пуч.) are indicated

аргиллитовых, глинистых сланцев и филлитов. Именно в этом узле проявились перемещения по типу чешуйчатых надвигов, подмеченные Ю.И. Новожиловым и А.М. Гавриловым (рис. 4). Надвигами использовались чередующиеся субпараллельные пластовые трещины между «кровлей и почвой» зоны золотоносного нарушения. Произошло образование многочисленных сравнительно тонких пластин пород, «наброшенных» одна на другую. Чешуи надвига приспособились здесь к местному перегибу пород, простирающихся не в широтном, как обычно, а в северо-западном направлении. В результате сформировалась в целом золоторудная зона трещинного субширотного нарушения. В ее кровле обособились два наиболее богатых пластовых рудных тела.

Они расположены друг над другом в 8—12 м одно от другого ([10] и рис. 4). Это жильно-прожилковые образования, в том числе полосы зигзагообразных прожилков, залечивших приоткрывшиеся S-образные полости в зонах волочения. Морфологически они повторяют друг друга. Содержание золота в обоих телах почти повсеместно достигает и местами даже превышает 10 г/т. Поскольку всюду между прожилками развиты «межпрожилковая» вкрапленность золотосодержащего пирита, резко подчиненного арсенопирита и отдельные мельчайшие золотишки, содержание золота в пределах всей мощности золоторудной зоны достигает не менее 2,5—3 г/т. Максимальные мощности, среднее содержание золота (до 5, местами 6 и более г/т) и основная доля запасов

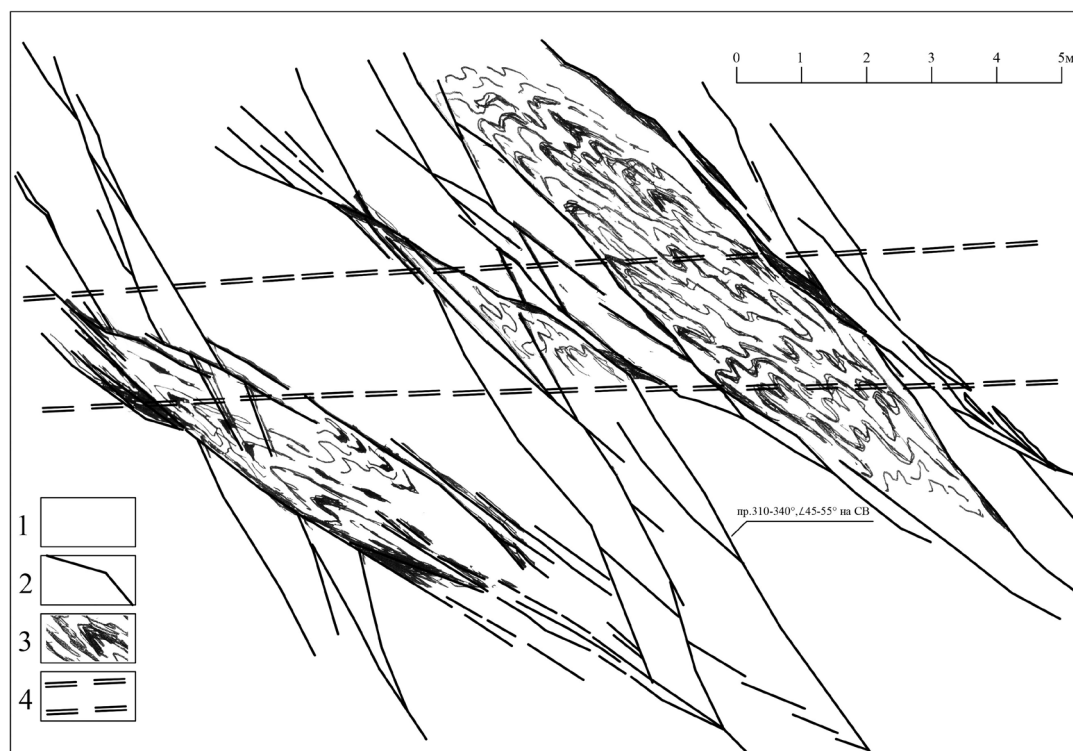


Рис. 4. Зарисовка участка «кровли» пологопадающей золоторудной залежи Сухоложского месторождения в штольне 2 (западная стенка) и интерпретация геологических элементов за ее пределами (по Новожилову Ю.И. и Гаврилову А.М.). 1 — расщепленные, будинированные и местами тектонически раздробленные рудовмещающие алевролитовые, аргиллитовые и глинистые сланцы, филлиты верхнего рифея; 2 — изогнутые плоскости разрывов; 3 — сравнительно прямолинейные и S-образно изогнутые, подобные друг другу прожилки золото-арсенопирит-пирит-кварцевых руд в зонах волочения; 4 — границы кровли и почвы штольни 2

Fig. 4. Drawing of “roof” section of gently falling gold ore lode of Sukholozhskoe Deposit in tunnel 2 (Western wall) and interpretation of geological elements beyond it (according to Novozhilov Yu.I. and Gavrilov A.M.) 1 — cleaved, boudinaged and sometimes tectonically fragmented ore-containing siltstone, mudstone and clay shales, phyllites of the upper Riphean; 2 — curved break planes; 3 — relatively straight and S-shaped curved, similar to each other small lodes of gold-arsenopyrite-pyrite-quartz ores in drawing areas; 4 — borders of tunnel 2 roof and bottom

золота в рудном теле приурочены к его наиболее выположенной части, похожей на мощнейшую (толщиной до 130 м) «подушку», полого склоняющуюся и погружающуюся в северо-восточном направлении между абсолютными вертикальными отметками 730 и 930 м (см. [12], стр. 59, рис. 16). Этот единственный пример в мире для золоторудных месторождений эндогенного класса был установлен при детальном анализе горизонтальных срезов (планов золоторудной залежи месторождения), составленных Д.А. Дорофеевым и изображенных в виде системы горизонтальных срезов залежи, расположенных один под другим.

Система горизонтальных срезов Д.А. Дорофеева начинается с горизонта с абсолютной вертикальной отметкой 1030 м и следует далее вниз с шагом 100 м вплоть до горизонта, обозначенного отметкой 630 м. Этот горизонт расположен в 400 м

ниже поверхности первого горизонтального среза с отметкой 1030 м.

Золоторудная залежь на блок-диаграмме прослежена по простирацию более чем на 1800 м. Как промышленное рудное образование Сухоложская золоторудная залежь установлена непрерывно в субширотном направлении на протяжении не более 1500 м (рис. 5). Залежь как единое рудное тело наиболее компактно проявилась на горизонте с отметкой 730 м. Среднее содержание золота здесь на протяжении около 900 м колеблется от 3 до 5 и более г/т. При этом только на своем западном фланге, вблизи Безымянного рудоконтролирующего разлома, залежь распадается на две мощные (до 50—70 м) ветви. Именно на горизонтальном срезе с отметкой 730 м (см. рис. 5) наиболее четко устанавливается рудоконтролирующая роль Безымянного разлома



Рис. 5. Блок-диаграмма золоторудной залежи Сухоложского месторождения (по Д.А. Дорофееву). Условными знаками показаны возрастающее среднее содержание золота в залежи: 1 — 0,5 г/т и ниже; 2 — более 0,5 г/т, в том числе: 3 — от 0,5 до 1 г/т; 4 — от 1 до 2 г/т; 5 — от 2 до 3 г/т; 6 — от 3 до 4 г/т; 7 — более 4—5 г/т

Fig. 5. Block diagram of gold lode at Sukholozhskoye Deposit (according to D.A. Dorofeev). Legend signs show the increasing average gold content in the deposit: 1 — 0,5 g/t and below; 2 — more than 0,5 g/t, including: 3 — from 0,5 to 1 g/t, 4 — from 1 to 2 g/t, 5 — from 2 to 3 g/t, 6 — from 3 to 4 g/t, 7 — more than 4—5 g/t

субмеридионального направления, обладающего почти вертикальным падением.

Но наиболее интересная ситуация складывается на горизонтальном срезе, расположенном в 200 м ниже верхнего, на горизонте с отметкой 830 м. Именно здесь, примерно в 400 м восточнее Безымянного разлома, надвиг и Сухоложская золоторудная залежь проникают в полосу разрывов секущей Северо-Западной зоны трещиноватости (см. рис. 2). На приводи-

мой блок-диаграмме (рис. 5, горизонт 830 м) четко видно, что залежь расчленяется секущими разрывами северо-западного простирания на серию оруденелых отрезков. При этом секущие разрывы сами оказались рудоносными образованиями. Особенно многочисленны они в восточной части залежи. Здесь субширотный надвиг приспособливается к секущим разрывам полосы трещиноватости, выполаживается (для сравнения можно рассмотреть положение

залежи на горизонтах с отметками 830 и 930 м), мощность его существенно возрастает за счет дополнительных надвиговых плоскостей, и локализованные в нем достаточно богатые золото-пирит-кварцевые жильные и прожилковые руды в совокупности с рудной вкрапленностью слагают на всем протяжении залежи уникальное рудное образование мощностью до 130 м, полого склоняющееся и погружающееся на северо-восток. Сама залежь, как видно из рисунка 5, трансформируется в серию связанных между собой и как бы непрерывно перетекающих друг в друга рудоносных отрезков. Рудоносные боковые «апофизы» северо-западных разрывов, погружаясь на северо-восток, выполняют роль нависающих экранирующих нарушений.

Таким образом, можно считать, что Сухоложское месторождение возникло в зоне мощного надвига, использовавшего в центральной части участок глинистых сланцев разных видов протяженностью около 800—1000 м [13], содержащих редкие прослои углеродистого песчаника. Надвиг на этом участке приспособился к полосе секущих разрывов северо-западного направления, использовал их приоткрытые трещинные полости и трансформировался в мощнейшее уникальное нарушение сложного строения. Надвигообразование, видимо, происходило сосредоточенно, скученно, особенно в пределах упомянутого центрального, изогнутого в северо-западном направлении сравнительно непротяженного интервала пород под нависающими тектоническими плоскостями северо-западной зоны трещиноватости. В результате рудоносное надвиговое нарушение оформилось в рудное образование со сложным внутренним «чешуйчатым» строением.

По наблюдениям Ю.И. Новожилова и А.М. Гаврилова (рис. 4), а также сведениям М.М. Константинова [9], мощность Сухоложской золотоносной залежи в выположенной зоне надвига достигает местами 130 м, считая ее от кровли до подошвы рудного образования. Залежь полого, под углом 25—30°, погружается в северном направлении. Протяженность ее в плане от субмеридионального Нырлинского разлома (на востоке) до Безымянного разлома — сателлита мощного Угаханского нарушения на западе (рис. 2, 3, 5) составляет не менее 3 км. Вблизи Безымянного разлома в зоне залечивающих нарушение пирит-кварцевых прожилков С.В. Яблоковой, помимо золотинок размером около 0,01 мм, в кварце был обнаружен самородок золота весом примерно 10 г. Таким образом, Безымянный разлом, скорее всего, служит запад-

ной границей золоторудной залежи и выполняет здесь рудоконтролирующие функции.

В кровле залежи, в пределах рудоносной зоны рассланцевания, трещиноватости и волочения пород, развившейся в надвиге, локализована зона прямолинейных прожилков (рис. 4). Мощность прожилковой зоны (которую можно назвать Верхней), колеблется от 1—2 до 5—7 м. Нередко под зоной линейных прожилков проявлены упоминавшиеся полосы подобных друг другу зигзагообразных прожилков. Мощность этих полос составляет 0,5—2 м. Прожилки приурочены к зонам волочения, также согласным со слоистостью рудовмещающих сланцев. В целом от содержания («густоты») межпрожилковой вкрапленности золотосодержащих пирита, отчасти арсенопирита и собственно тонкого золота зависит промышленная золотоносность залежи. По мере приближения к Безымянному разлому ее структура усложняется. Здесь она постепенно, уступами, смещается опережающими сколами в южном направлении левосторонне в плане (рис. 6). Судя по оправдавшим себя структурным схемам (рис. 2, 4, 5), экспериментальным карьером, скорее всего, добывались не сухоложские руды, а перекрывающие их надрудные породы всяческого бока чешуйчатого надвига. Эти породы включают обильную вкрапленность пирита и арсенопирита, но убоги по содержанию золота. Как было выше показано, оно существенно возрастает только в прожилковых и жильных образованиях.

Месторождение Угахан расположено примерно в 10 км на север-северо-запад от Сухого Лога. Приурочено оно к ядерной части и крыльям Верхне-Угаханской антиклинали, которая на юге ограничена Гохтачинско-Угаханской, а на севере — Хомолхинской синклиналями. Рудовмещающее нарушение представлено взбросо-надвигом с углом падения около 30° на северо-восток и развито в запрокинутом крыле антиклинали. В ее северо-западном крыле проявлена продольная флексура, которая и фиксирует рудоносную зону рассланцевания с надвиговыми перемещениями. В пределах рудовмещающей зоны рассланцевания выделен рудоносный участок, границы которого устанавливаются только по данным опробования. Мощность минерализованной зоны составляет 30—60 м, промышленно-рудной части — от 2 м, местами до 24 м, общей протяженностью около 3,7 км. На месторождении выделено три участка с пятью рудными залежами, залегающими в нижних горизонтах Верхнебужуихтинской и в первой пачке Нижнебужуихтинской

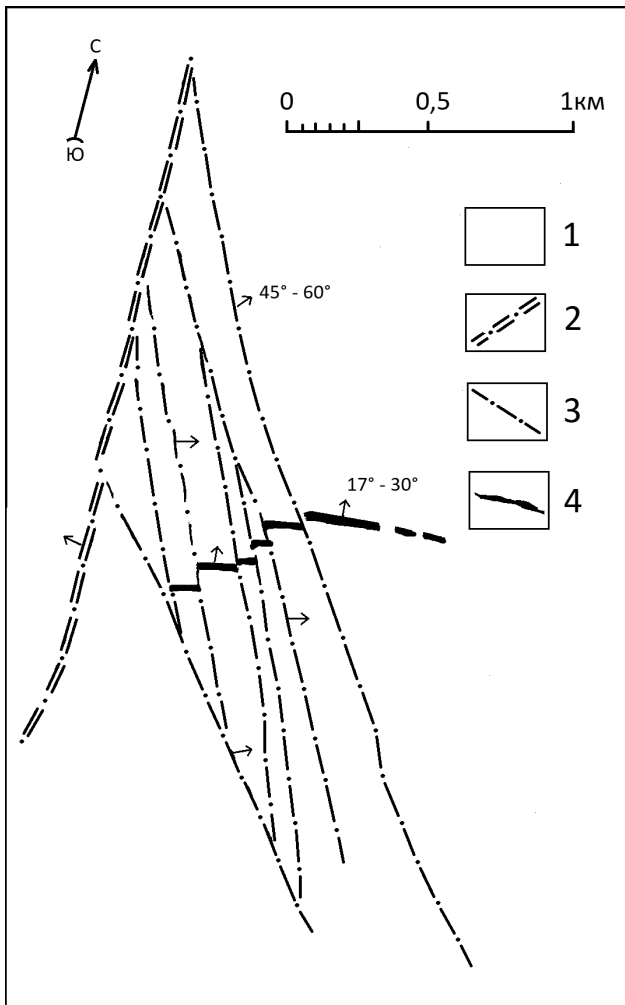


Рис. 6. Предполагаемая принципиальная схема трещинной структуры западного фланга Сухоложской золотоносной залежи. План. 1 — рудовмещающие песчанико-глинистосланцевые породы Хомолхинской свиты; 2 — зона Безымянного разлома; 3 — его боковые оперяющие сколы; 4 — смещенные отрезки золоторудной Сухоложской залежи

Fig. 6. Estimated schematic diagram of fracture structure at the Western flank of Sukholozhskaya gold-bearing area. Plane. 1 — ore-bearing sandstone-clay shale rocks of Khomolkhinskaya suite; 2 — Bezymiannyi fault zone; 3 — its side feathering chips; 4 — shifted portions of Sukholozhskoe gold deposit

подсвет. По мнению авторов, они подстилают породы Хомолхинской свиты. Рудные залежи имеют пластообразную форму, субогласное, с вмещающими породами, залегание, полого падают на север-северо-восток под углами 7—30°. Наи-

более мощная и выдержанная рудная «Залежь 2» на Юго-Восточном участке выходит на дневную поверхность. Азимут ее простираения 314°, падение на северо-восток под углом 17°. Мощность залежи от первых метров до 24 м, содержание золота — от десятых долей грамма до 26,6 г/т. Руда представлена пирротином (от единиц до 10%) [1] вкрапленно-прожилково-линзовидного облика. Пирит имеет резко подчиненное значение, развит, как правило, в виде монокристаллов или катаклазированных брекчированных обломков в пирротиновой массе. Встречаются также единичные зерна халькопирита и золота. Форма выделений золота — неправильная ксеноморфная, подчиняющаяся очертаниям выполняющих цемент минералов [1]. Совершенно очевидно, что угаханские пирротиновые руды образовались на значительно *большей глубине* по сравнению с сухоложскими кварц-арсенопирит-пиритовыми. Там, где на поверхности обнажаются угаханские пирротиновые руды, сухоложские кварц-арсенопирит-пиритовые руды, если они формировались, уже давно уничтожены эрозией, а освободившееся золото сконцентрировалось в россыпях.

Таким образом, Сухоложское и, видимо, Угаханское месторождения размещаются в зоне разрывов и трещиноватости северо-западного направления, в пределах которой вдоль широтных перегибов пластовых надвигов образовались руды различного состава и генезиса.

Совершенно иная структурная обстановка сложилась на восточном фланге Сухоложского месторождения — на участке Вернинского и Невского месторождений. Здесь, как показал М.М. Константинов [9], а также по сведениям А.Д. Баранова и В.К. Черепанова, главным рудоконтролирующим элементом оказался Вернинский разлом восток-северо-восточного простираения, круто падающий на северо-запад. Оруденению подверглись широтные пологопадающие зоны, отделившиеся от разлома как оперяющие сколы. В восточном направлении падение их постепенно становится все круче, промышленная минерализация ослабевает и сходит на нет.

Поиск восточного фланга Сухоложского месторождения наиболее рационален только в районе пункта ТМ (рис. 2) — небольшого участка с промышленной минерализацией, расположенного в 7 км севернее Вернинского месторождения и в 2 км восточнее Нырлинского разлома.

Выводы

Из материала статьи убедительно следует, что рудоносные зоны Сухоложского и Вернинского месторождений пространственно разобщены. Образование и развитие их происходило в результате проявления различных, не связанных между собой рудоконтролирующих нарушений неодинакового направлений и типа.

На рудоносном участке Сухого Лога в период оруденения проявились мощные надрывы чешуйчатого типа. Они развивались между системой (зоной трещиноватости) соединительных разрывов северо-западного направления, связывающих три субмеридиональных разлома — Угаханский, его разлом-сателлит Безымянный и Нырлинский. Оживление согласных со слоистостью разрывов происходило между сближенными субпараллельными нарушениями, было чрезвычайно энергичным, заключалось в надвигании, как бы «набрасывании» многочисленных тонких пластин пород одну на другую. В результате возникло оруденение многоярусного типа в мощной (местами до 130 м) рудной зоне. При этом в разрезе рудной зоны сформировалось несколько повторяющихся, расположенных друг над другом субпластовых разрывов и рудных прожилково-жильных тел с увеличенными содержаниями золота. Большое (если не главное) значение принадлежит межжильной сульфидной вкрапленности, «густота», обильность которой определяет промышленный рубеж оруденения. Возникнове-

ние многочисленных рудных зонков волочения, прожилков и жил привело к появлению рудной зоны сложного внутреннего строения. В результате на Сухоложском участке развился жильно-прожилковый тип сравнительно богатых руд, расположенных как бы «пластами» друг над другом. Подтверждено, что в средней части золоторудной залежи проявлено мощнейшее образование, представляющее «подушку» руды толщиной (мощностью) до 130 м, полого погружающуюся на северо-северо-восток.

На флангах участка преимущественно преобладают рудные тела существенно вкрапленных сравнительно бедных руд. Они формировались в *зонах одиночных разрывов*, что и привело к образованию прожилково-вкрапленных руд.

На Угаханском месторождении локализованы золото-кварц-пирротиновые руды, образовавшиеся на более *глубоком уровне* от палеоповерхности по сравнению с сухоложскими. Поэтому поиски руд сухоложского типа к западу от месторождения Угахан представляются малоперспективными, так как, по всей видимости, «сухоложские» руды (если они и существовали) уничтожены эрозией, а освободившееся золото давно сконцентрировалось в россыпях. Поиск руд сухоложского типа перспективен в интервале от месторождения Сухой Лог до месторождения Угахан вдоль возможно рудоконтролирующего Безымянного разлома, а на восточном фланге — в районе пункта ТМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабяк В.Н. Геоинформационные технологии в горнодобывающей промышленности на примере золоторудного месторождения Угахан // Молодой ученый. 2017. № 28 (162). С. 42—52.
2. Бородаевский Н.И. Материалы по методам изучения структур и геологической перспективной оценке месторождений золота. М.: Труды ЦНИГРИ, 1960. Вып. 35. 417 с.
3. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог — одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.
4. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1953. Переиздан М.: Изд. АН СССР, 1962. 305 с.
5. Вольфсон Ф.И., Лукин Л.И. Особенности локализации гидротермального оруденения цветных и редких металлов // Особенности структур гидротермальных рудных месторождений в различных структурных ярусах и этажах. М.: Наука, 1968. 295 с.
6. Вудолл Б.Л., Попов Н.П. Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь). Новосибирск: Издательство СО РАН. Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 3. С. 315—341.
7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
8. Жаднова Т.П. К вопросу о некоторых закономерностях распределения золотых россыпей и различных видов минерализации в районе северо-восточной части Бодайбинского синклиория. М.: Труды ЦНИГРИ, 1958. Вып. 25. Кн. 1. С. 175—186.
9. Константинов М.М. Золоторудные месторождения России. М.: ООО Акварель, 2010. 349 с.
10. Иванов А.И. Основные черты геологического строения и золотоносность Бодайбинского рудного района // Руды и металлы. 2008. № 3. С. 43—61.
11. Казакевич Ю.П., Шер С.Д., Жаднова Т.П., Стороженко А.А., Кондратенко А.К. и др. Ленский золоторудный район: стратиграфия, тектоника, магматизм и проявления коренной золотоносности. М.: Недра, 1971. 164 с.

12. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. М.: Научный мир, 2000. 270 с.
13. Некрасов Е.М., Дорожкина Л.А., Дудкин Н.В. Сухой Лог // Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. М.: Астрей-Центр, 2015. 191 с.
14. Хиллс Е.Ш. Элементы структурной геологии. М.: Недра, 1967. 478 с.
15. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск: Наука, 1994. 263 с.
16. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н. и др. Теоретические и практические следствия развития идей М.В. Гзовского в исследованиях Института земной коры СО РАН // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики (отв. ред. Ю.Г. Леонов, В.Н. Страхов). М.: Наука, 2000. С. 245—265.
17. Шерман С.И., Семинский К.Ж. Тектонофизические исследования в Институте земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи. Геодинамика и тектонофизика, 2010. Т. 1. № 1. С. 4—23.

REFERENCES

1. Babyak V. N. Geoinformation Technologies in Mining Industry on the Example of Ugakhan Ore Deposit. Young Scientist, 2017. No 28 (162). P. 42—52 (In Russian).
2. Borodayevskiy N.I. Materials on Methods of Structural Study and Perspective Geological Evaluation of Ore Deposits. Moscow: Transactions of CNFGSS, 1960. Issue 35. 417 p. (In Russian).
3. Buryak V.F., Khmelevskaya N.M. Sukhoi Log as One of the World's Largest Ore Deposits. Vladivostok. Dalnauka, 1997. P. 156 (In Russian).
4. Volfson F.I. Problems of Study of Hydrothermal Deposits. Moscow: Gosgeoltechizdat, 1953. Republished in 1962 by Transactions of the USSR Academy of Sciences. 305 p. (In Russian).
5. Volfson F.I., Lukin L.I. Particular Localization of Hydrothermal Metallization of Rare and Non-ferrous Metals // Specific Structures of Hydrothermal Ore Deposits in Different Levels and Tiers. Moscow: Nauka, 1968. 295 p. (In Russian).
6. Vudoll B.P., Popov N.P. Giant Ore Deposit Sukhoi Log (Siberia). Novosibirsk: Publishing house of SB RAS. Geology and Geophysics. 2006. V. 47. No 3. P. 315—341 (In Russian).
7. Gzovskiy M.V. Tectonophysics Foundations. Moscow: Nauka, 1975. 535 p. (In Russian).
8. Zhadnova T.P. On some Regularities of Gold Pleacers Distribution and Different Mineralization Types in the North-East Region of Bodaibinsk Synclinerium. Moscow: Transactions of CNFGSS, 1958. Issue 25. Book 1. P. 175—186 (In Russian).
9. Konstantinov M.M. Gold Deposits of Russia Moscow: Aquarel Ltd, 2010. 349 p. (In Russian).
10. Ivanov A.I. The Main Features of Geological Structure and Gold Mineralization of Bodaibinsk Ore Region. Ore and Metals, 2008. No 3. P. 43—61 (In Russian).
11. Kazakevich Y.P., Sher S.D., Zhadnova T. P., Storozhenko A.A., Kondratenko A.K., et al. Lena Ore Region: Stratigraphy, Tectonics, Magmatism and Manifestations of Indigenous Gold Content. Moscow: Nedra, 1971. 164 p. (In Russian).
12. Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F. Giant Gold Deposits of Russia and the World. Scientist World, 2000. 270 p. (In Russian).
13. Nekrasov E.M., Dorozhkina L.A., Dudkin N.V. Sukhoi Log. Specific Geology and Structure of the Largest Ore Deposits of Endogenic Class. Moscow: Astrea-Center Ltd, 2015. 191 p. (In Russian).
14. Hills E.S. Elements of the Structural Geology. Moscow: Nedra, 1967. 478 p. (In Russian).
15. Sherman S.I., Seminskiy K.Z., Bornyakov S.A., Adamovich A.N., et al. Faulting in the lithosphere. Compression zone. Novosibirsk.: Nauka, 1994. 263 p. (In Russian).
16. Sherman S.I., Seminskiy K.Z., Bornyakov S.A., Adamovich A.N., et al. Theoretical and Practical Consequences of Development of M. V. Gzovskiy's Ideas in the Studies of the Institute of the Earth's Crust SB RAS // M.V. Gzovskiy and Tectonophysics Development (chief editors Y. G. Leonov, V.N. Strakhov). Moscow: Nauka, 2000. P. 245—265 (In Russian).
17. Sherman S.I., Seminskiy K.Z. Tectonophysical Studies in the Institute of the Earth's Crust SB RAS: Major Achievements and Actual Problems. Geodynamics and Tectonophysics, 2010. V.1. No 1. P. 4—23 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Некрасов Е.М. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, внес вклад в сбор и анализ информации по Сухоложскому, Вернинскому и Невскому месторождениям, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Дорожкина Л.А. — внесла вклад в сбор и анализ информации по Угаханскому месторождению, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Evgeniy M. Nekrasov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, collected and analyzed data on Sukholozhskoye, Verninskoye and Nevskoye deposits, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Lyudmila A. Dorozhkina — contributed to collection and analysis of data on Ugakhanskoye deposit, approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Некрасов Евгений Михайлович* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий специалист ФГУНПП «Аэрогеология»
8, стр. 2, ул. Академика Волгина, г. Москва 117485, Россия
e-mail: nekrasov@ibdc.ru
тел.: +7 (495) 610-73-53, +7 (915) 231-12-86
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-5776>

Evgeniy M. Nekrasov* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., leading specialist at the enterprise “Aerogeologiya”
8, bld. 2, Akademika Volgina str., Moscow 117485, Russia
e-mail: nekrasov@ibdc.ru
tel.: +7 (495) 610-73-53, +7 (915) 231-12-86
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9287-5776>

Дорожкина Людмила Алексеевна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий специалист ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»
31, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия
e-mail: dorjkina@vims-geo.ru
тел.: +7 (499) 157-21-27, +7 (916) 116-00-57
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0911-9230>

Lyudmila A. Dorozhkina — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., leading specialist at the All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky
31, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia
e-mail: dorjkina@vims-geo.ru
tel.: +7 (499) 157-21-27, +7 (916) 116-00-57
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0911-9230>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ДЕТАЛИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ НОВО-УЧАЛИНСКОГО КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А.В. СПИРИНА^{1,2,*}, В.В. МАКАРОВ³, И.Б. МОИСЕЕВ³, И.В. ВИКЕНТЬЕВ^{1,2}

¹ ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук»

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

² Инженерная академия ФГАОУ «Российский университет дружбы народов»

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

³ АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Крупное медно-цинково-колчеданное Ново-Учалинское месторождение на Южном Урале (54°10'54" с. ш. и 59°20'45" в. д.) представлено крутопадающей линзой и приурочено к эйфельским вулканитам (риодациты и базальты), смятым в сильно сжатую антиклинальную складку. Рудная залежь слепая и локализована на контакте кислых (внизу) и основных (сверху) пород. Глубина ее залегания от поверхности изменяется от 550 м на севере до 1050 м на юге; мощность — до 186 м, длина по простиранию 1250 м, по падению — 900 м. Рудное тело прорвано дайками габбро-диоритов и габбро-диабазов. Главными рудными минералами месторождения являются пирит, сфалерит, халькопирит, а нерудными — кварц, барит и кальцит. Особенностью месторождения является то, что оно, в отличие от большинства уральских колчеданных залежей, относится к существенно цинковому подтипу ($Zn \gg Cu$). Руды преимущественно сплошные сульфидные, массивные, реже полосчатые или брекчиевидные. Основные полезные компоненты представлены медью, цинком, серой, попутно извлекаются золото, серебро, кадмий, индий, кобальт, никель, селен, теллур.

Цель исследования заключалась в уточнении морфологии рудной залежи, изучении минерального состава руд верхних горизонтов северной части месторождения и выяснении причин возникновения сложного линзовидного строения сульфидной залежи.

Материалы и методы. В период 2017—2019 гг. сотрудниками ИГЕМ РАН совместно с геологами Учалинского ГОКа в ходе проведения эксплуатационно-разведочных работ проводилось геологическое и минералогическое картирование.

Результаты. Были существенно уточнены контуры северной части рудного тела, а также выявлены серии даек изменчивой морфологии. Проведено сравнение новых данных с прежними представлениями о строении рудной залежи. Представленные детальные геологические разрезы иллюстрируют сложную линзовидную форму рудной залежи, осложненную раздувами и пережимами, которую она приобрела вследствие динамометаморфизма.

Заключение. По результатам изучения геологического строения месторождения и минералогического картирования предложена схематическая реконструкция условий формирования его складчатой структуры. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при корректировке системы эксплуатационной разведки и оконтуривания, а также при пересчете запасов.

Ключевые слова: Ново-Учалинское колчеданное месторождение, геологическое строение, морфология рудного тела, дайки, складчатые деформации, Южный Урал

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-05-00849) и базовой темы ИГЕМ РАН.

Благодарность: авторы выражают искреннюю благодарность геологу УГОК В.А. Сапоговой за помощь в проведении полевых работ.

Для цитирования: Спирина А.В., Макаров В.В., Моисеев И.Б., Викентьев И.В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46>

Статья поступила в редакцию 04.02.2020

Принята к публикации 04.06.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

MORPHOLOGICAL FEATURES OF ORE RESERVES OF THE NOVO-UCHALY VMS DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

ADELINA V. SPIRINA^{1,2,*}, VENIAMIN V. MAKAROV³, IGOR B. MOISEEV³, ILYA V. VIKENTYEV^{1,2}

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the RAS,
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

² Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia,
6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

³ Uchaly mining and processing plant, Russia,
2, Gornozavodskaya str., Uchaly453700, Russia

ABSTRACT

Background. The Novo-Uchaly copper-zinc VMS deposit in the Southern Urals (54°10'54"N and 59°20'45"E) is represented by a steeply dipping lens of Eifelian volcanics (rhyodacites and basalts), which are crumpled into a strongly compressed anticlinal fold. The ore deposit is blind and localised at the convergence of felsic (bottom) and mafic (top) rocks. The deposit is located at depths of 550 m (in the northern part) and 1050 m (in the southern part). The deposit thickness reaches 186 m. The length along the strike and along the dip equals 1250 m and 900 m, respectively. The ore body is intruded by gabbro-diorite and gabbro-diabase dikes. The main ore minerals are pyrite, sphalerite and chalcopyrite, as well as non-metallic minerals, such as quartz, barite and calcite. Unlike most of the Ural VMS deposits, this deposit is the zinc subtype (Zn >> Cu). The ores are predominantly massive and solid sulphide, being banded or brecciated in some parts. The main elements extracted are copper, zinc and sulphur, but gold, silver, cadmium, indium, cobalt, nickel, selenium and tellurium are also obtained.

Aim. To clarify the morphology of the ore deposit, to study the ore mineral composition of the upper horizons of its northern part and to determine the underlying reasons for the complex lenticular structure of the sulphide reserve.

Materials and methods. In the period 2017—2019, employees of the Institute of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS) together with geologists of the Uchaly Mining and Processing Plant carried out a geological and mineralogical mapping of the deposit in the course of exploration works.

Results. The ore contours and mineral composition of the northern part of the ore body were significantly clarified. A series of dikes of variable morphology was identified. A comparison was made of the results with current theories about the structure of the ore deposit. Detailed geological sections were determined and illustrate the complex lenticular structure of the ore deposit complicated by pinch and swell areas. The deposit was formed by processes of dynamic metamorphism.

Conclusion. The geological and mineralogical structure of the deposit determined in the study enabled us to propose a schematic reconstruction of the conditions leading to the formation of its folded structure. The findings will help to re-assess the reserves and improve the system of operational exploration and delineation.

Keywords: Novo-Uchaly VMS deposit, geological structure, morphology of ore body, dikes, folded deformations, Southern Urals

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

Financial disclosure: the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-20-05-00849 and base theme of IGEM RAS.

Acknowledgment: the authors express their sincere gratitude to geologist V.A. Sapogova for help during field work.

For citation: Spirina A.V., Makarov V.V., Moiseev I.B., Vikentyev I.V. Morphological features of ore reserves of the Novo-Uchaly vms deposit (Southern Urals). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46>

Manuscript received 04 February 2020

Accepted 04 June 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Половина меди, существенная доля серебра и почти весь цинк, кадмий, индий в России добываются из руд колчеданных объектов, попутно извлекаются золото, кобальт, никель и другие полезные компоненты [3]. Учалинский комбинат является одним из крупнейших в стране горно-обогатительных предприятий, перерабатывающих колчеданные руды [8, 9, 23]. Крупное по запасам и глубоко залегающее («слепое») Ново-Учалинское месторождение принадлежит к уральскому типу [12, 14, 17, 21, 22] и является основой минерально-сырьевой базы Учалинского ГОКа [10, 13] — добыча его руд идет с 2018 г. и продлится не менее 30 лет.

В работе систематизированы данные по оценке и разведке месторождения за более чем 30-летний период. В настоящее время разведка месторождения возобновлена в связи с начавшейся эксплуатацией. В 2017—2019 гг. полевым отрядом ИГЕМ РАН при взаимодействии с геологами УГОК проводилась геологическая документация керн скважин и подземных горных выработок, параллельно выполнялось минералогическое картирование. В результате проведения детализационных работ контуры рудного тела оказались существенно отличными от прежних, упрощенных представлений. На основании полученных данных о геологическом строении месторождения выполнена схематическая реконструкция условий формирования его складчатой структуры.

Геологическая позиция месторождения и его краткая характеристика

Ново-Учалинское месторождение приурочено к западному крылу Малоучалинской антиклинальной складки, которая образовалась на месте Учалинской базальтовой палеогряды [1, 12].

В его геологическом строении принимают участие вулканиты эйфельского возраста карамалыташской ($D_2e\ kr$) свиты [4, 6]. Основание разреза месторождения слагают миндалекаменные базальты, вскрытые на сопредельной площади Учалинского месторождения [2]. Выше залегает рудовмещающая толща риодацитов, преимущественно лавовых фаций, по которым развиты окolorудные метасоматиты серицит-хлорит-кварцевого и серицито-кварцевого состава, встречающиеся преимущественно в лежащем боку рудной залежи. Сверху залегает мощная (от 550 до 1600 м) толща основных вулканитов, представленная гиалокластитам, шлаковыми брекчиями, туфами и лавами (нередко имеющими шаровую отдельность) базальтов [5]. Переход от кислой толщи к базальтоидам обычно резкий, отчетливый; он отмечен появлением прослоев вулканогенно-осадочных пород: средне-, мелкообломочных туфов и туффитов кислого-среднего составов. Субвулканические и интрузивные образования, предположительно относящиеся к наурузовскому (D_3fm) и утыкташскому (C_1t) комплексам [11], представлены:

- силами (мощность от 0,5 м до 100 м) диабазов и диабазовых порфиритов, развитыми на уровне рудного тела и ориентированными согласно напластованию пород;
- силлами и лаколитоподобными телами (мощность от 1 до 70 м) риодацитовых порфиритов;
- дайками габбро-диоритов и габбро, круто секущими рудную залежь, с падением на северо-восток под углами 60—85°.

Контакты рудного тела с вмещающими породами всякого бока обычно резкие, отчетливые. Риодациты в надрудной части разреза, вблизи сульфидной залежи, обычно рассланцованы, по трещинам развиваются хлорит и серицит.

Контакты рудного тела с риодацитами лежащего бока менее четкие. Здесь риодациты сильнее изменены серицитизацией, хлоритизацией и окварцеванием и рассланцованы; местами сильно пиритизированы. Силлы диабазов на контакте с рудой локально рассланцованы, местами серицитизированы и хлоритизированы, по этим контактам отмечаются поздние кварцевые и карбонатные прожилки. Внутри залежи встречаются участки хлорит-серицит-кварцевых пород мощностью от сотых долей до первых метров.

Месторождение относится к числу крупнейших на Урале: запасы его руд оцениваются в 150 млн т, а металлов (Cu + Zn) 3,85 млн т, при содержании Cu 0,5—4,5%, Zn (ср.) 2,94%, Au 1,2 г/т, Ag 26 г/т [3]. Распределение меди, цинка и серы в пределах залежи асимметрично-зональное. Максимумы содержаний меди пространственно тяготеют к участкам наибольших мощностей рудного тела. С севера на юг наблюдается увеличение ее средних содержаний от 0,79 до 1,12%. В направлении от висячего к лежащему боку крутопадающего рудного тела происходит некоторый рост концентраций Cu, а Zn — уменьшается. В направлении его падения содержания Cu и Zn снижаются.

Что касается элементов-примесей в рудах, их можно охарактеризовать на примере наиболее распространенного на месторождении типа руд — Cu-Zn колчедана: средние содержания (г/т) и их пределы составляют: $C_{Au} = 1,7$ (0,2—8), $C_{Ag} = 30$ (1,5—142), $C_{Se} = 34$ (3—145), $C_{Te} = 42$ (3—306), $C_{In} = 10$ (3—44), $C_{Ge} = 3$ (0,6—13), $C_{Cd} = 121$ (20—500), $C_{Bi} = 8$ (1—19). Характер их пространственного распределения в деталях не изучен, т. к. их определение идет в групповых пробах, а рядовые пробы на эти элементы не анализируются (только Cu, Zn, S). Намечаются более тесные корреляционные связи содержаний Au, Ag, As, Hg с Zn, а содержаний Se, Te — с Cu. Максимумы первых тяготеют к северной части рудного тела и к его верхнему выклиниванию, а вторых — к его южной части.

Особенности морфологии рудной залежи по данным разведочных работ

Ново-Учалинское месторождение было открыто в 1986 г. Межозерной ГРП треста «Уралцветметразведка» при проведении поисковых работ на южном фланге Учалинского месторождения буровыми скважинами, глубина которых была больше (>1 км), чем было заложено в проекте, таким образом риск, связанный с нарушением проекта главным геологом партии Э.О. Олиным, оказал-

ся оправданным. Было установлено, что верхняя кромка рудного тела залегает на глубине 550 м и полого склоняется на юг под углом около 20°. Оно имеет линзообразную форму (широкая лента), протяженность по простиранию составила 1250 м. Длина по падению была оценена в 900 м, ниже не оконтурена. Глубина от поверхности до северного выклинивания руд 625 м, а до южного — 1050 м. Верхняя часть рудного тела имеет тупое выклинивание.

В разрезе рудное тело было условно разделено на две части: 1) верхняя, менее деформированная, в которой сосредоточена основная масса руд 2) нижняя, сильнее деформированная (участок флексуобразного перегиба). Падение его верхней части крутое (в основном 50—55° на запад), протяженность в направлении падения ~400 м. Мощность этого участка залежи меняется от 186 м на севере с постепенным уменьшением до 40 м в центральной ее части, а затем — вновь увеличивается до 141 м. При мощности руд нижней части залежи от 25 в северной части до 40 м в южной части, а угол ее падения меняется от 35° на восток до близвертикального в самой выclinке. В северной части рудное тело резко и тупо выклинивается. Начиная с центральной части залежи к северу было установлено, что в лежащем боку основного рудного тела от него ответвляется небольшое линзообразное тело (№ 2), схожее по морфологии (рис. 3а). К северу расстояние между ними достигает 80 м (см. рис. 1а), а в центральной части рудное тело 1 сливается с рудным телом 2.

Крупная и выдержанная по мощности (15—20 м) дайка габбро-диоритов круто сечет рудную залежь и падает на северо-восток под углами 60—85°; вблизи контактов дайки отмечены поперечные и диагонально ориентированные кварцевые (±карбонат) прожилки, нередко с сульфидной минерализацией.

Сравнение контуров рудного тела по результатам геолого-разведочных работ и эксплуатации

Благодаря проведению детализационного подземного бурения и проходки эксплуатационно-разведочных выработок было выяснено, что форма залежи сильно меняется как по простиранию, так и по падению, что особенно заметно на поперечных профилях — приведенные разрезы (рис. 1—3) расположены с севера на юг через 40 м. По данным объемного картирования месторождение представлено мощной и сложной по строению линзой варьирующего падения (чаще крутопадающей). Верхнее ее выклинивание обычно тупое,

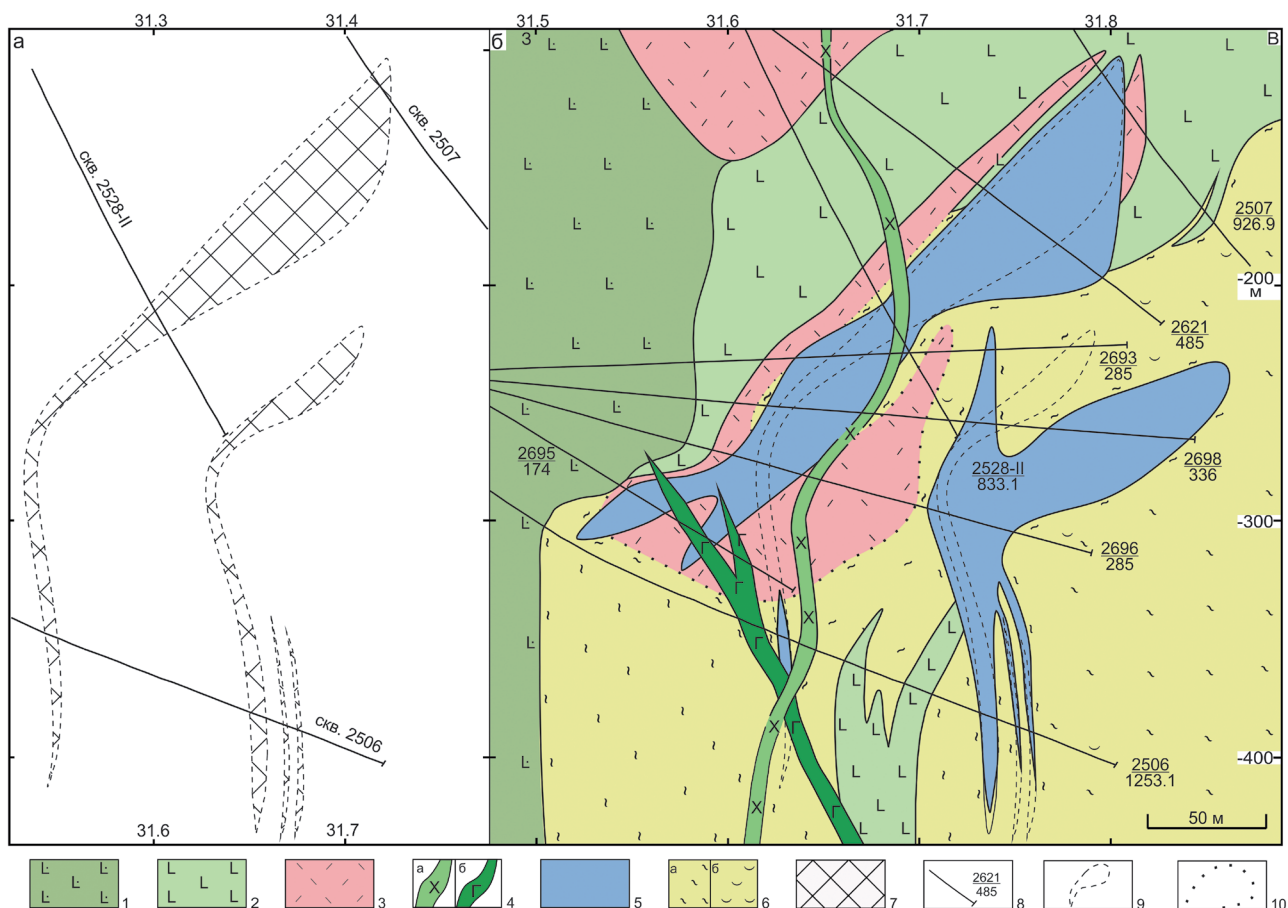


Рис. 1. Поперечный разрез по профилю 27+23 в северной части Ново-Учалинского месторождения. 1 — базальты; 2 — диабазы; 3 — риодациты; 4 — дайки: а — габбро-диоритов; б — габбро-диабазов; 5 — контур рудного тела по данным эксплуатации (2019 г.); 6 — метасоматиты: а — серицит-кварцевого состава, б — зоны хлоритизации; 7 — рудное тело (данные 1994 г.); 8 — скважина, ее номер и глубина; 9 — контур рудного тела (данные 1994 г.); 10 — граница метасоматических изменений кислых вулканитов

Fig. 1. Cross-section along the profile 27+23 in the northern part of the Novo-Uchaly deposit. 1 — basalt; 2 — diabase; 3 — rhyodacite; 4 — dikes: a — gabbro-diorite, b — gabbro-diabase; 5 — ore contour according to the operational exploration (2019); 6 — alteration: a — sericite-quartz, b — chlorite; 7 — ore body (1994); 8 — borehole, its number and depth; 9 — ore contour (1994); 10 — boundary of metasomatic alteration in acid rock

в центральной части она имеет раздув, нижний участок залежи осложнен флексурообразным перегибом, а самая нижняя «выклинка» — уплотненная, субвертикальная. Так, на одном разрезе наблюдается два рудных тела, верхняя часть их более раздута, далее имеется небольшой пережим, затем мощность вновь увеличивается, а нижняя часть имеет жилообразную (в разрезе пальцеобразную) форму (рис. 16). В другом случае представлено одно рудное тело с «апофизой» (рис. 2). А на третьем разрезе наблюдается единая залежь наиболее причудливой формы, верхняя часть которой с пережимом, далее мощность резко увеличивается, а нижняя — после флексурообраз-

ного перегиба — является маломощной (рис. 36). В лежащем боку основной рудной залежи, а иногда и в ее висячем боку, отмечены мелкие линзообразные рудные подсечения, в основном имеющие согласное с простиранием и падением основной рудной залежи залегание.

Так, и дайка габбро-диоритов имеет более сложное строение, чем предполагалось ранее; она извилистая, иногда отмечается резкое увеличение ее мощности. Кроме этой мощной (2—20 м) и относительно выдержанной по простиранию дайки габбро-диоритов, на месторождении были выявлены мелкие дайки габбро-диабазов (рис. 1—3). В их контактовых зонах (десятки сантиметров,

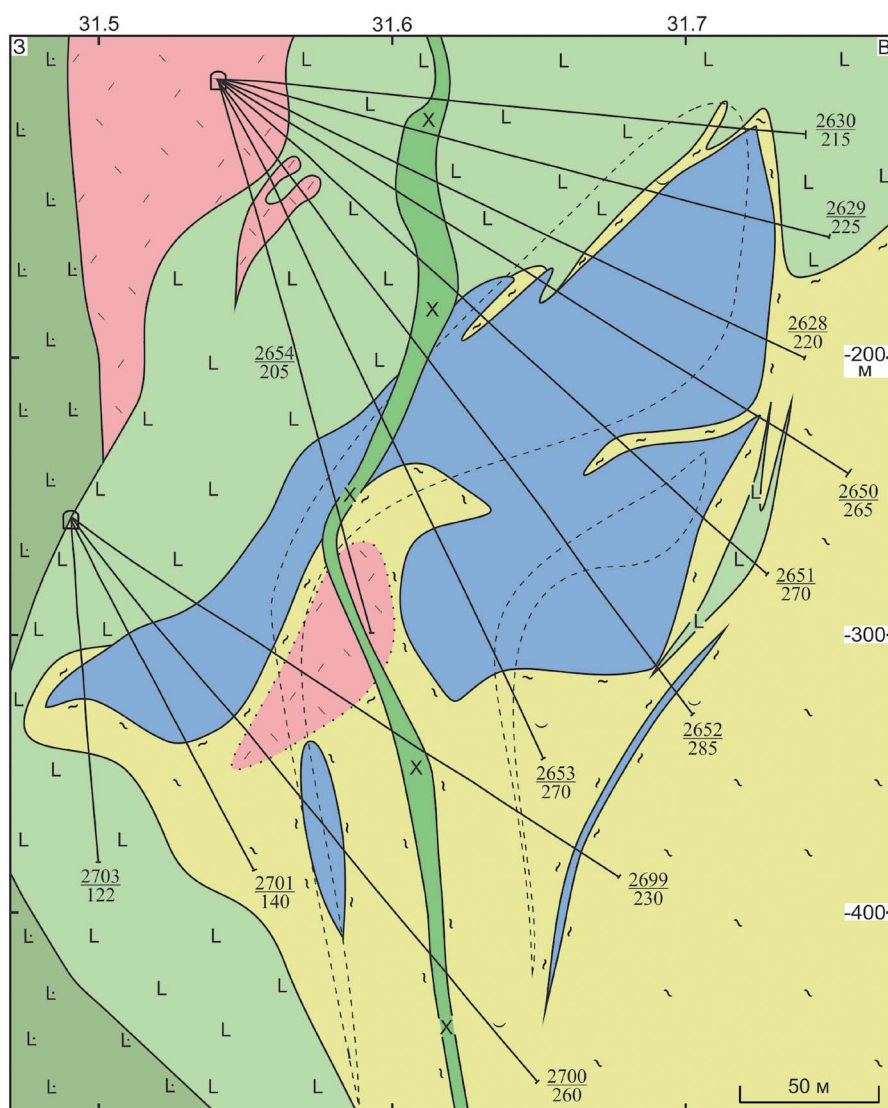


Рис. 2. Поперечный разрез по профилю 28+15 в северной части месторождения. Пунктиром показан контур рудного тела по результатам 1994 г., интерполированный по данным соседних разрезов. Условные обозначения см. рис. 1

Fig. 2. Cross section along the profile 28+15 in the northern part of the deposit. The dotted line shows the ore contour, interpolated from the data of neighboring sections (1994). Legend see Fig. 1

до первых метров) в руде наблюдается укрупнение зернистости минералов, появление магнетита, реже арсенопирита; встречаются участки гнездобразных скоплений блеклой руды (обычно теннантита), галенита и халькопирита, более крупной, чем обычно, зернистости — до 1—5 мм. Нередко близ дайки отмечается появление поздней полисульфидной минерализации (рис. 4в). Незначительная сульфидная минерализация, преимущественно халькопиритовая, присутствует и в самих дайках, локально измененных (окварцевание, хлоритизация, гематитизация) в эндоконтактных зонах.

В близконтактных зонах отмечается рост в рудах содержаний Cu, Au, Ag, As, Sb, Se, Te, связанный с локальным перераспределением мобильных элементов при контактовом метаморфизме и наложении на контактовые зоны поздней гидротермальной минерализации [13].

По степени сульфидности руды месторождения подразделяются на сплошные и вкрапленные (менее 5%) от общего их количества; а по содержанию и распределению полезных компонентов: медные, медно-цинковые, цинковые и серноколчеданные. В лежащем боку залежи местами были

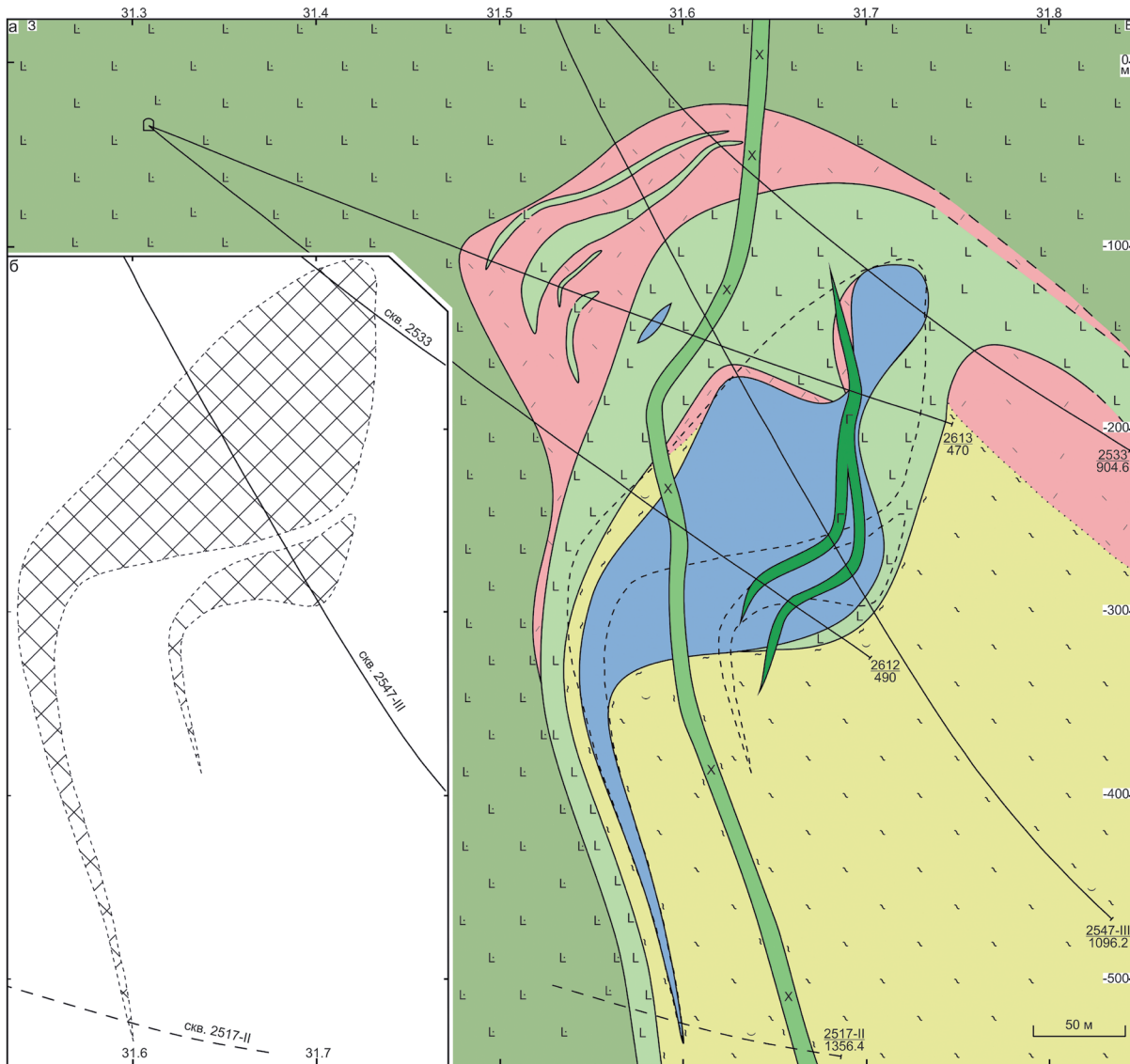


Рис. 3. Поперечный разрез по профилю 29+7 в северной части месторождения. Условные обозначения см. рис. 1
Fig. 3. Cross section along the profile 29+7 in the northern part of the deposit. Legend see Fig. 1

отмечены переходы сплошных руд во вкрапленные, которые затем сменяются метасоматитами. Сплошные руды массивной текстуры встречаются чаще всего; локально распространены сплошные руды брекчиевого и брекчиевидного, а также полосчатого и гнейсовидного строения: на контактах руд с вмещающими породами и изредка с дайками (рис. 4).

Обсуждение результатов и выводы

В ходе проведения геологического и минералогического картирования на месторождении была установлена линзовидная форма рудной залежи, осложненная раздувами и пережимами

(pinch and swell structures) [15, 24]. Было отмечено наличие в руде полосчатых и гнейсовидных текстур, локальная перекристаллизация сульфидов в контактах даек, наличие поздней полисульфидной минерализации (альпийских прожилков) в зонах экзоконтакта и в самих дайках. Все эти признаки характеризуют заметный динамометаморфизм руд месторождения [16, 18—20, 22]. Более мобильная, чем цинк, медь при метаморфизме мигрировала, вероятно, диффузионно-гидротермальным способом [24] с образованием максимума содержаний Cu, соответствующего раздуву мощности рудного тела в призмковой части складки.

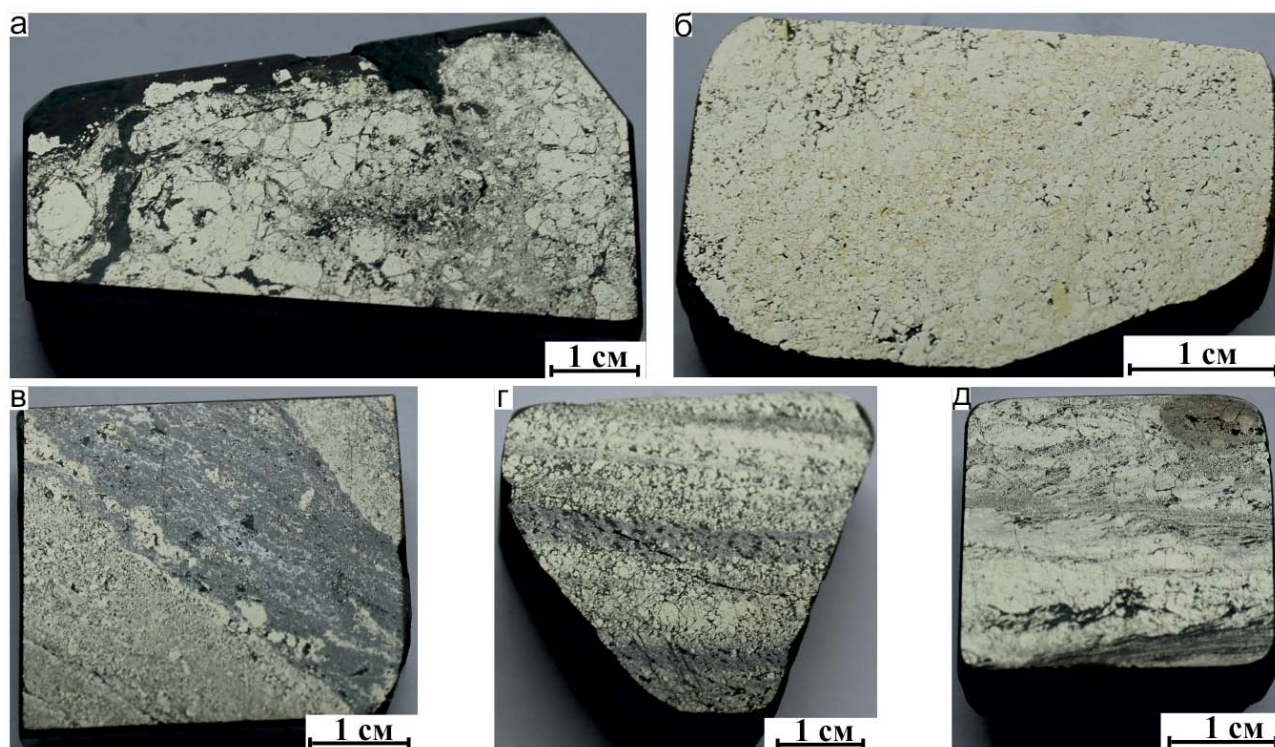


Рис. 4. Текстуры руд северной части Ново-Учалинского месторождения: а — сплошная медно-колчеданная руда брекчиевой текстуры с многочисленными прожилками кварца на контакте рудной залежи с внутрирудными диабазами (скв. 2644, гл. 147,2 м; близ висячего бока залежи); б — сплошная медно-колчеданная руда массивной текстуры, мелкозернистой структуры (скв. 2660, гл. 240 м; близ лежащего бока залежи); в — богатая медно-цинково-колчеданная руда с поздней полисульфидной минерализацией близ дайки габбро-диоритов (скв. 2654, гл. 157 м; центральная часть залежи); г — сплошная цинково-колчеданная руда полосчатой текстуры, сложенная тонкозернистыми агрегатами сфалерита и пирита; контакт с sillом диабазов (бур. орт 68-1/4, гор. — 130 м; верхнее выклинивание залежи); д — сплошная цинково-колчеданная руда, неявно полосчатая текстура с элементами гнейсовидности на контакте руды с sillом диабазов (скв. 2679, гл. 239,3 м; лежащий бок залежи)

Fig. 4. Ore textures of the northern part of the Novo-Uchaly deposit: а — copper-pyritic ore of breccia texture with numerous veins of quartz at the contact of the ore body with intra-ore diabase (borehole 2644, depth 147.2 m; near the hanging wall of the ore body); б — solid copper-pyritic ore of massive texture, fine-grained structure (borehole 2660, depth 240m; near the footwall of the ore body); в — copper-zinc-pyritic ore (Zn-rich) with late polysulfide mineralization near the gabbro-diorite dike (borehole 2654, depth 157 m; central part of the ore body); г — zinc-pyrite ore of banded texture, composed of fine-grained aggregates of sphalerite and pyrite; contact with the diabase sill (ort 68-1/4, level. — 130 m; upper thinout of the ore body); д — solid zinc-pyritic ore, indistinctly-banded with gneissic texture at the contact of the ore with the diabase sill (borehole 2679, depth 239.3 m; footwall of the ore body)

С учетом данных по геологическому строению месторождения [5, 7] предложена схематическая реконструкция месторождения, демонстрирующая последовательность стадий его деформирования и становления современной складчатой структуры (рис. 5).

Выводы

По данным объемного картирования был существенно уточнен контур рудного тела крупного Ново-Учалинского колчеданного месторождения

(Ю. Урал), а также выявлены серии даек сильно изменчивой морфологии. В результате бурения вееров эксплоразведочных скважин из подземных горных выработок установлено, что форма залежи резко меняется как по простиранию, так и по падению, что особенно заметно на поперечных разрезах. Оно представляет собой мощную (до 186 м) и сложную по строению линзу варьирующего падения (чаще крутопадающую). Верхнее ее выклинивание обычно тупое, в центральной части она имеет раздвиг, нижний участок осложнен

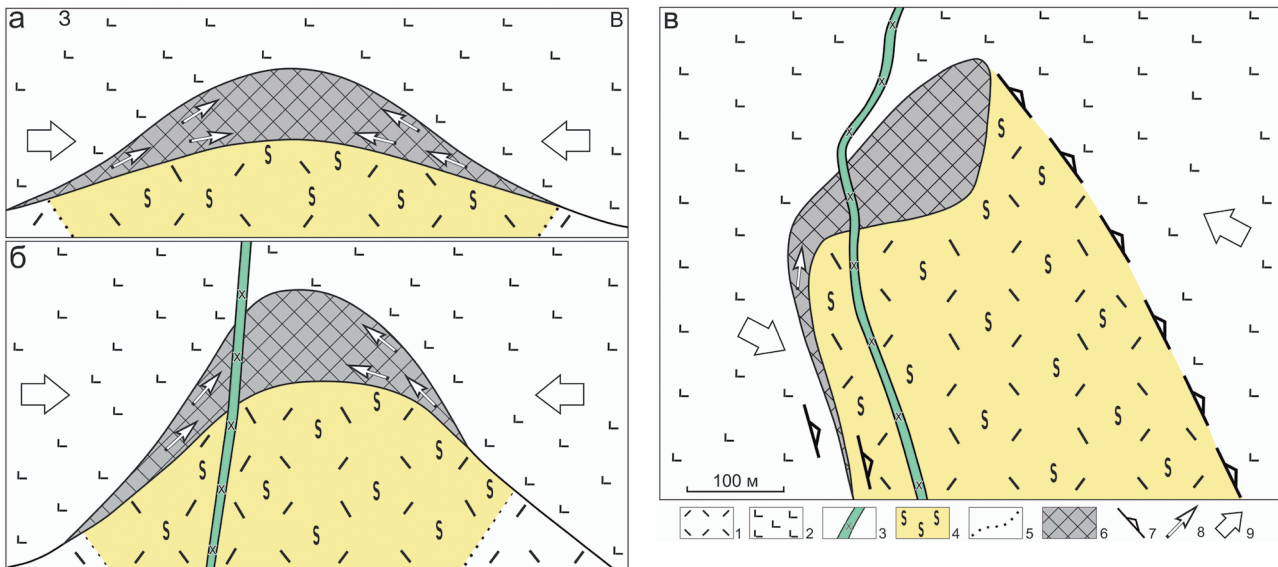


Рис. 5. Реконструкция последовательности формирования структуры Ново-Учалинского месторождения: а — начало складчатых деформаций рудной залежи, формирование пологой антиклинальной складки; б — усиление складчатых деформаций, образование умеренно сжатой антиклинали; в результате латерального сжатия происходит пластическое течение и «выжимание» сульфидов в замковую часть складки с образованием раздува мощности залежи; внедрение дайки габбро-диоритов; слабое перераспределение химических элементов в руде в связи со складчатыми деформациями и локальное — на контакте с дайкой; в — формирование сильно сжатой антиклинальной складки, запрокинутой на запад; месторождение приобретает строение, близкое к современному; перераспределение элементов в связи со складчатыми деформациями, руды становятся гнейсовидными и полосчатыми в зонах выклинивания и вдоль контактов с вмещающими породами. 1 — риодациты, 2 — базальты, 3 — дайка габбро-диоритов, 4 — кварц-серicitовые метасоматиты, 5 — граница метасоматических изменений, 6 — рудное тело, 7 — механическое перераспределение сульфидов путем пластического течения, 8 — направление сжатия, 9 — локальные зоны расщепления

Fig. 5. Reconstruction of formation conditions of the structure of the Novo-Uchaly deposit: а — the beginning of folded deformations of the ore body, the formation of a gentle anticlinal fold; б — strengthening of folded deformations, the formation of a moderately compressed anticline; as a result of lateral compression, a plastic flow and “welling-up” of sulfides into the hinge of fold occurs with the formation of a pinch of ore body thickness; the gabbro-diorite dike injection; slight redistribution of chemical elements in the ore due to folded deformations and local — in contact with the dike; в — the formation of a highly compressed anticlinal fold, vergent to the west; structure of the deposit becomes close to modern one; redistribution of elements due to fold deformations, the ore becomes gneiss-like and banded in the pinch-out zones and along the contacts with the host rocks. 1 — rhyodacite, 2 — basalt, 3 — gabbro-diorite dike, 4 — quartz-sericite alteration, 5 — boundary of hydrothermal alteration, 6 — ore body, 7 — mechanical redistribution of sulfides by plastic flow, 8 — compression direction, 9 — local zones of schistosity

флексурообразным перегибом, а в самом нижнем выклинивании — это субвертикальное уплощенное до жилообразного тела. В лежащем боку залежи были установлены мелкие сульфидные линзы, а в висячем — единичные изолированные рудные подсечения. Сравнивая контур рудного тела по данным разведки месторождения глубокими скважинами с поверхности, можно констатировать, что реальное его геологическое строение оказалось намного сложнее, чем это представлялось ранее.

Вследствие динамометаморфизма рудная залежь приобрела сложную линзовидную форму, осложненную раздувами и пережимами. Итогом изучения геологического строения месторождения стала схематическая реконструкция, демонстрирующая последовательность стадий его деформирования. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при корректировке системы эксплуатационной разведки и оконтуривания, а также при пересчете запасов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобохов А.С. Геологическое строение Учалинского и Узельгинского рудных полей, проявление в них вулканизма и колчеданного оруденения // Среднедевонский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. Уфа: БФАН СССР, 1983. С. 87–102.
2. Галиуллин И.Б., Чадченко А.В., Крылатов В.А. и др. Разведочные работы в пределах горного отвода Ново-Учалинского медноколчеданного месторождения в Учалинском районе Республики Башкортостан в 2009–2012 гг. Геологоразведочные работы с дневной поверхности в 2010–2012 гг. Кн. 1. Учалы, 2012.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». М.: 2018. 372 с.
4. Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 2000. 140 с.
5. Серавкин И.Б., Пирожок П.И., Скуратов В.Н. и др. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината. Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1994. 328 с.
6. Нестоянова О.А., Ленных Г.А. Объяснительная записка к государственной геологической карте Урала. Масштаб 1:200 000. Лист N-40-XVIII (Учалы). 1955.
7. Пшеничный Г.Н., Волкинский М.Я., Николайченков Ю.С. и др. Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1999. 395 с.
8. Орлов М.П., Чадченко А.В., Пирожок П.И., Кулбаков А.М. Новые рудные объекты в минерально-сырьевой базе ОАО «Учалинский ГОК» // Металлогения древних и современных океанов — 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМ УрО РАН, 2009. С. 337–338.
9. Пирожок П.И., Чадченко А.В., Орлов М.П., Моисеев И.Б., Кулбаков А.М. Доразведка и эксплуатационная разведка колчеданных месторождений: методика и результаты // Недропользование-XXI век. 2009. № 3. С. 15–22.
10. Пирожок П.И., Чадченко А.В., Стахеев Н.П. Ново-учалинское месторождение: открытие, оценка, перспективы освоения // Изв. вузов. Горн. ж-л. 2001. № 3. С. 21–27.
11. Салихов Д.Н., Холоднов В.В., Пучков В.Н., Рахимов И.Р. Магнитогорская зона Южного Урала в позднем палеозое: магматизм, флюидный режим, металлогения, геодинамика. М.: Наука, 2019. 392 с.
12. Серавкин И.Б., Косарев А.М., Пучков В.Н. Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 220–237. DOI: 10.7868/S0016777017030054
13. Чадченко А.В., Пирожок П.И., Орлов М.П., Кулбаков А.М. Минерально-сырьевая база: состояние и перспективы развития // Недропользование-XXI век. 2009. № 3. С. 9–14.
14. Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. P. 1508–1511.
15. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S.D. (Ed.), Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol.13. Elsevier, New York, 2014. P. 175–194.
16. Debreil J.-A., Ross P.-S., Mercier-Langevin P. The Matagami district, Abitibi Greenstone Belt, Canada: volcanic controls on Archean volcanogenic massive sulfide deposits associated with voluminous felsic volcanism // Economic Geology. 2018. Vol. 113. P. 891–910.
17. Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits // Economic Geology. 2005, 100th Ann. P. 523–560.
18. Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R. Volcanogenic massive sulphide deposits. In Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Spec. Publ. No. 5; Goodfellow, W. D., Ed.; Geol. Assoc. Can., Miner. Depos. Division, 2007. P. 141–161.
19. Hannington M.D. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Scott, S.D. (Ed.). Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol. 13. Elsevier, New York, 2014. P. 462–486.
20. Monecke T., Gibson H., Goutier J. Volcanogenic massive sulfide deposits of the Noranda camp // Economic Geology. 2017. Vol. 19. P. 169–223.
21. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. Ore Geology Review 2017. Vol. 85. P. 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>
22. Shanks III W.C.P., Thurston R. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. Geol. Survey Sci. Invest. Rep. 2010-5070-C. 2012.
23. Vikentyev I.V. Selenium, tellurium and precious metal mineralogy in Uchalinsk copper-zinc-pyritic district, the Urals. 3rd Inter. Conf. Compet. Mater. Technol. Proc. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016, 123, 1–6. <https://doi.org/doi:10.1088/1757-899X/123/1/012027>
24. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 30–63. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.032>

REFERENCES

1. Bobokhov A.S. The geological structure of the Uchaly and Uzelga ore fields, the manifestation of volcanism and volcanogenic massive sulfide mineralization in them // Middle Devonian volcanism of the Bashkir Trans-Urals and its connection with volcanogenic massive sulfide mineralization, Ufa. 1983. P. 87—102 (In Russian).
2. Galiullin I.B., Chadchenko A.V., Krylatov V.A., et al. Exploration Work Within the Mining Allotment of the Novo-Uchaly Copper Volcanogenic Massive Sulfide Deposit in the Uchaly District of the Bashkortostan Republic in 2009—2012. Exploration work from the daylight surface in 2010—2012. Book 1. Uchaly, 2012 (In Russian).
3. State Report on the State and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2016 and 2017, Moscow, 2018. 372 p. (In Russian).
4. Maslov V.A., Artyushkova O. V. Stratigraphy of the Paleozoic Formations in the Uchaly District of Bashkiria. Ufa: IG Ufa Scientific Center RAS, 2000. 140 p. (In Russian).
5. Seravkin I.B., Pirozhok P.I., Skuratov V.N. Mineral resources of the Uchaly ore mining and processing enterprise. Ufa: Bashkir Book Publishing House, 1994. 328 p. (In Russian).
6. Nestoyanova O.A., Lennykh G.A. Explanatory Note to the State Geological Map of the Urals. Scale 1: 200 000. Sheet N-40-XVIII (Uchaly). 1955 (In Russian).
7. Pshenichny G.N., Volkinstein M.Ya., Nikolaichenkov Yu.S., et. al. Novo-Uchaly copper-zinc-pyritic deposit of the Southern Urals. Ufa: Ufa Sci. Center RAS, 1999. 395 p. (In Russian).
8. Orlov M.P., Chadchenko A.V., Pirozhok P.I., Kulbakov A.M. New ore objects in the mineral resource base of OJSC Uchalinsky // Metallogeny of Ancient and Modern Oceans — 2009. Ore Formation Models and Evaluation of Deposits. Miass: IM UB RAS, 2009. P. 337—338 (In Russian).
9. Pirozhok P.I., Chadchenko A.V., Orlov M.P., Moiseev I.B., Kulbakov A.M. Additional exploration and operational exploration of volcanogenic massive sulfide deposits: methodology and results // Subsoil Use-XXI Century. 2009. No. 3. P. 15—22 (In Russian).
10. Pirozhok P.I., Chadchenko A.V., Staheev N.P. Novo-Uchaly field: discovery, evaluation, development prospects // University News. Mountain Journal. 2001. No. 3. P. 21—27 (In Russian).
11. Salikhov D.N., Kholodnov V.V., Puchkov V.N., Rakhimov I.R. Magnitogorsk zone of the Southern Urals in the Late Paleozoic: magmatism, fluid regime, metallogeny, geodynamics. Moscow: Nauka, 2019. 392 p. (In Russian).
12. Seravkin I.B., Kosarev A.M., Puchkov V.N. Geodynamic conditions of formation of massive sulfide deposits in the Magnitogorsk megazone, Southern Urals, and prospection criteria // Geology of ore deposits. 2017. Vol. 59. No. 3. P. 220—237. DOI: 10.7868/S0016777017030054
13. Chadchenko A.V., Pirozhok P.I., Orlov M.P., Kulbakov A.M. Mineral resources base: state and development prospects // Subsoil Use-XXI Century. 2009. No. 3. P. 9—14 (In Russian).
14. Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. P. 1508—1511.
15. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S.D. (Ed.), Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol.13. Elsevier, New York, 2014. P. 175—194.
16. Debreil J.-A., Ross P.-S., Mercier-Langevin P. The Matagami district, Abitibi Greenstone Belt, Canada: volcanic controls on Archean volcanogenic massive sulfide deposits associated with voluminous felsic volcanism // Economic Geology. 2018. Vol. 113. P. 891—910.
17. Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits // Economic Geology. 2005, 100th Ann. P. 523—560.
18. Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R. Volcanogenic massive sulphide deposits. In Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Spec. Publ. No. 5; Goodfellow, W. D., Ed.; Geolog. Assoc. Can., Miner. Depos. Division, 2007. P. 141—161.
19. Hannington M.D. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Scott, S.D. (Ed.). Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol. 13. Elsevier, New York, 2014. P. 462—486.
20. Monecke T., Gibson H., Goutier J. Volcanogenic massive sulfide deposits of the Noranda camp // Economic Geology. 2017. Vol. 19. P. 169—223.
21. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. Ore Geology Review 2017. Vol. 85. P. 4—29. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>
22. Shanks III W.C.P., Thurston R. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. Geol. Survey Sci. Invest. Rep. 2010-5070-C. 2012.
23. Vikentyev I.V. Selenium, tellurium and precious metal mineralogy in Uchalinsk copper-zinc-pyritic district, the Urals. 3rd Inter. Conf. Compet. Mater. Technol. Proc. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016, 123, 1—6. <https://doi.org/doi:10.1088/1757-899X/123/1/012027>
24. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 30—63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Спирина А.В. — подготовила иллюстрации и текст, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Макаров В.В. — занимался сбором геологической информации, присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Моисеев И.Б. — организовывал проведение полевых работ, корректировал перевод на английский язык, присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Викентьев И.В. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Adelina V. Spirina — prepared the figures, 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.

Veniamin V. Makarov — engaged in collecting geological information, joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Igor B. Moiseev — organized field work, corrected the translation into English, joined in the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ilya V. Vikentyev — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, and finally approved the published version of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Спирина Аделина Владимировна* — аспирант Инженерной академии Российского университета дружбы народов, стажер-исследователь ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук»

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

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

e-mail: adelina.spirina@bk.ru

SPIN-код: 9091-7634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1365-5148>

Adelina V. Spirina* — postgraduate student of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, research assistant at the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences

35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

e-mail: adelina.spirina@bk.ru

SPIN: 9091-7634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1365-5148>

Макаров Вениамин Владимирович — главный геолог Учалинского подземного рудника, АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

e-mail: mak_ven@mail.ru

Veniamin V. Makarov — chief geologist of the Uchaly underground mine, Uchaly mining and processing plant

2, Gornozavodskaya str., Uchaly 453700, Russia

e-mail: mak_ven@mail.ru

Моисеев Игорь Борисович — главный геолог АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

e-mail: gs_moiseev_ib@ugok.ru

Igor B. Moiseev — chief geologist of Uchaly mining and processing plant

2, Gornozavodskaya str., Uchaly 453700, Russia

e-mail: gs_moiseev_ib@ugok.ru

Викентьев Илья Владимирович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук; профессор Инженерной академии ФГАОУ «Российский университет дружбы народов»

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

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

e-mail: viken@igem.ru

SPIN-код: 2456-3030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-7562>

Ilya V. Vikentyev — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), principal researcher at the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia

35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

e-mail: viken@igem.ru

SPIN: 2456-3030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-7562>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-47-60>

УДК 553.98.041:550.8



ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРО-КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

С.А. АЛИЕВА

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
34, проспект Азадлыг, г. Баку AZ1010, Азербайджан*

АННОТАЦИЯ

Введение. В Северо-Каспийском регионе располагается одна из крупнейших по запасам углеводородов (УВ) в мире Астраханско-Приморская область нефтегазоаккумуляции, которая начинается в северо-западной части суши Прикаспийского бассейна, пересекает северную акваторию Каспия и заканчивается на суше, в юго-восточной части рассматриваемого региона.

Цель. Выявление геодинамических и геологических факторов формирования крупных месторождений УВ в подсолевых отложениях сложно построенного Северо-Каспийского региона Прикаспийской синеклизы.

Материалы и методы. Анализ данных о геодинамической и геологической эволюции Северо-Каспийского региона Прикаспийской синеклизы и особенностей его геологического строения и развития.

Результаты. Установлено, что характер формационных рядов, геодинамическая и геологическая обстановки (наличие зон спрединга, субдукции, обусловивших интенсивный тепловой поток, наличие изолированного бассейна седиментации с интенсивным накоплением карбонатов в верхнем девоне — нижней перми, мощная соленосная покрывка кунгура) оказались весьма благоприятными для генерации, миграции и аккумуляции УВ в пределах развитых в Астраханско-Приморской нефтегазоносной области (НГО) Северо-Каспийского региона крупных тектоно-седиментационных поднятий верхнего девона-нижней перми, образованных шельфовыми биогермами, барьерными рифами, а также крупными рифогенными атоллами, сформировавшимися над древними прогибами, с которыми связаны такие крупные местоскопления УВ, как Кашаганское, Тенгизское, Астраханское, Королевское, имеющие высокие удельные запасы УВ (более 100 тыс.т/км²).

Заключение. В пределах основных палеовпадин изолированного бассейна Северо-Каспийского региона за верхнепалеозойскую историю, в основном, имело место устойчивое и длительное прогибание, благоприятное для накопления мощной толщи карбонатных (в основном рифогенных) образований, существовали геотермические и барические условия, необходимые для преобразования и последующей миграции УВ из нефтегазопродуцирующих комплексов в коллекторы, в качестве которых здесь служили, в основном, массивные карбонатные образования рифогенного генезиса, а также консервация образовавшихся месторождений мощными соленосными отложениями кунгурского яруса. Разработаны дальнейшие направления поисково-разведочных работ на шельфе этого региона для выявления новых месторождений УВ в подсолевых отложениях.

Ключевые слова: Прикаспийская синеклиза, Северо-Каспийский регион, Астраханско-Приморская НГО, геодинамика, геологические факторы нефтегазоносности, подсолевые отложения, рифовые массивы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Алиева С.А. Геодинамические и геологические факторы образования крупных месторождений углеводородов в подсолевых отложениях Северо-Каспийского региона. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020;63(2):47—60.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-47-60>

Статья поступила в редакцию 16.03.2020

Принята к публикации 13.04.2020

Опубликована 10.08.2020

GEODYNAMIC AND GEOLOGICAL FACTORS IN THE FORMATION OF LARGE HYDROCARBON DEPOSITS IN SUBSALT SEDIMENTS OF THE NORTH CASPIAN REGION

SUDABA A. ALIYEVA

*Azerbaijan State of Oil and Industry University
34, Azadliq ave., Baku AZ1010, Azerbaijan*

ABSTRACT

Background. The Astrakhan-Primorsk region of oil and gas deposits located in the North Caspian region is one of the world's largest reserves of hydrocarbons. This region stretches from land in the northwestern part of the Caspian basin, through the northern waters of the Caspian, to the south-eastern land part of the region under consideration.

Aim. To identify geodynamic and geological factors in the formation of large hydrocarbon deposits in subsalt sediments in the complex structure of the North Caspian region of the Caspian syncline.

Materials and methods. An analysis of data on the geodynamic and geological evolution of the North Caspian region of the Caspian syncline revealed specific features of its geological structure and development.

Results. The nature of the formation series, as well as the geodynamic and geological conditions (the presence of spreading and subduction zones that caused an intense heat flow, the presence of an isolated sedimentation basin with intensive accumulation of carbonates in the Upper Devonian-lower Permian, a powerful salt-bearing Kungurian cap) were favourable for the generation, migration and accumulation of hydrocarbons in large tectonic-sedimentary Upper Devonian-Lower Permian uplifts characteristic of the Astrakhan-Primorsk oil-and-gas bearing region of the North Caspian. These uplifts were formed by shelf bioherms, barrier reefs and large reeftogenic atolls and emerged through ancient troughs. The large hydrocarbon accumulations, such as Kashagan, Tengiz, Astrakhanskoye and Korolevskoye, with high specific hydrocarbon reserves (more than 100 thousand/km²) are associated with these troughs.

Conclusion. During the Upper Paleozoic, the main paleodepressions of the isolated basin of the North Caspian underwent a steady and long-term subsidence process, favourable for the accumulation of a thick stratum of carbonate (mainly reef) formations. This period was also characterized by the geothermal and baric conditions necessary for the transformation and subsequent migration of hydrocarbons from oil- and gas-producing complexes to reservoirs, which were mainly presented by massive carbonate formations of reef genesis. The as-formed deposits were preserved by thick salt-bearing Kungurian sediments. Directions for prospecting and exploration works aimed at discovering new hydrocarbon deposits in the subsalt sediments of the region were outlined.

Keywords: Pre-Caspian syncline, the North-Caspian region, Astrakhan-Primorsk oil and gas region, geodynamics, geological factor of oil and gas, subsalt deposits, reef massifs

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

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

For citation: Aliyeva S.A. Geodynamic and geological factors in the formation of large hydrocarbon deposits in subsalt sediments of the North Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):47—60. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-47-60>

Manuscript received 16 March 2020

Accepted 13 April 2020

Published 10 August 2020

Северный Каспий — это затопленная относительно недавно (в геологическом измерении) мелководным морем часть континентальной суши, принадлежащей в тектоническом плане краевой, глубоко погруженной части древнего Восточно-Европейского кратона, известной под названием Прикаспийской синеклизы. Южный фрагмент этой впадины располагается в мелководной акватории Северного Каспия [4].

В Северо-Каспийском регионе располагается одна из крупнейших по запасам углеводородов (УВ) в мире Астраханско-Приморская область нефтегазонакопления, которая начинается в северо-западной части суши Прикаспийского бассейна, пересекает северную акваторию Каспия и заканчивается опять на суше, в юго-восточной части рассматриваемого региона.

В пределах Северо-Каспийского региона в подсолевом комплексе выделяется крупная верхнедевонско-каменноугольно-нижнепермская Астраханско-Тенгизская (Приморская) карбонатная платформа, которая охватывает почти всю акваторию Северного Каспия и прилегающие с северо-запада и юго-востока береговые зоны [19]. На севере, по разломам, карбонатная платформа граничит с Новобогатинским и Биикжальско-Кульсаринским сводовыми островодужными блоковыми поднятиями добайкальского фундамента. На западе она распространяется до глубокого Сарпинского прогиба, а на востоке — до узкого Южно-Картонского прогиба. Южной границей Восточно-Европейской добайкальской платформы являются палеозойские складчатые образования — кряж Карпинского, Северо-Бузачинское палеозойское поднятие и их морские продолжения.

Вдоль южного борта Прикаспийской синеклизы, к северу от этих складчатых сооружений прослеживается межплатформенная шовная зона, именуемая Каракульско-Жельтаузской зоной дислокаций. Границей между складчатыми палеозойскими сооружениями кряжа Карпинского — Северо-Бузачинской зоны и Каракульско-Жельтаузской зоной дислокаций является региональная Донецко-Астраханская зона глубинных разломов и надви-

гов (краевой шов) [3, 8]. Границей между складчатыми структурами Северо-Бузачинского поднятия и Тугаракчан-Сарыкумской шовной зоной является Южно-Эмбенский осевой разлом. Все отмеченные структурно-тектонические элементы суши имеют свое продолжение и в акватории Каспия. Характер сочленения складчатых сооружений кряжа Карпинского и Северо-Бузачинского поднятия в море остается невыясненным (рис. 1).

В пределах Северо-Каспийского региона, являющегося крайней южной частью Прикаспийской синеклизы, осадочный разрез занимает стратиграфический интервал от верхов протерозоя вплоть до современных отложений. Мощность осадочного чехла, залегающего на добайкальском фундаменте, составляет здесь 10—16 км.

В разрезе осадочного чехла акваториальной зоны Северного Каспия и его берегового обрамления выделены три основных структурно-формационных этажа: подсолевой (докунгурский) — терригенно-карбонатный, соленосный (кунгурский) и надсолевой (верхнепермско-мезозойский, терригенный), различающихся по истории геологического развития, характеру структуроформирующих факторов, а также по условиям нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Нефтегазонаосность этого региона выявлена в надсолевом комплексе (более 200 небольших по запасам УВ месторождений, приуроченных к солянокупольным поднятиям в северо-восточном и восточном береговом обрамлении Северного Каспия — Эмбенская нефтегазонаосная область), а в подсолевом комплексе вплоть до 2000 г. были выявлены только на суше такие гигантские по запасам УВ месторождения, как Астраханское газоконденсатное (в северо-западной части берегового обрамления), Тенгизское и другие нефтяные (в восточной части берегового обрамления).

В начале 2001 г. в результате проведенного бурения консорциумом компаний (ОКІОС) в сводовой части рифогенного поднятия по подсолевым отложениям Кёр-оглы — Нубар, расположенном в Казахском секторе шельфа Северо-Каспийского региона, были открыты в подсолевых отложениях новые крупные нефтяные месторождения,

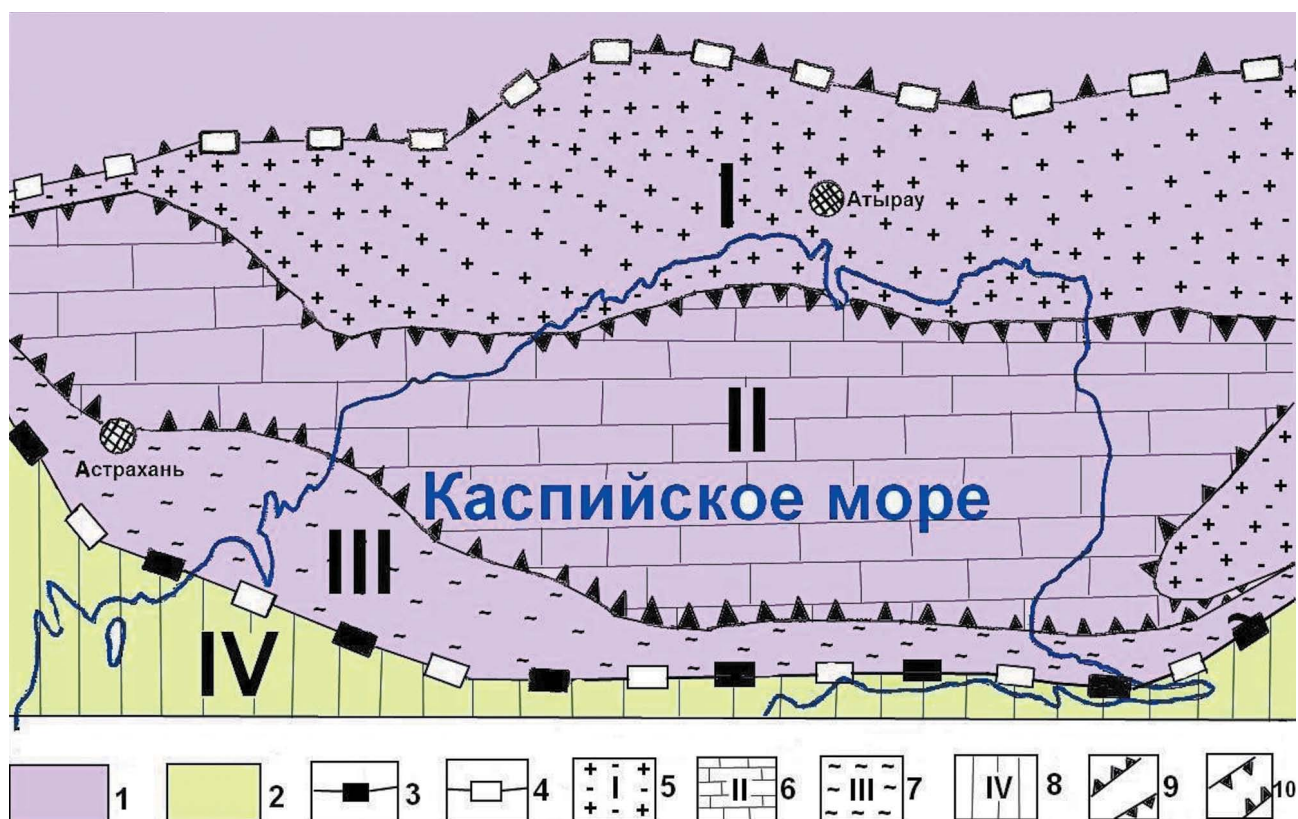


Рис. 1. Схема тектоники зоны сочленения южной части Прикаспийской синеклизы Восточно-Европейской платформы и северо-восточной части Скифско-Туранской плиты

Условные обозначения: 1 — Прикаспийская синеклиза Восточно-Европейской платформы с добайкальским фундаментом; 2 — Скифско-Туранская эпигерцинская платформа; 3 — Южная граница Прикаспийской синеклизы; 4 — Границы Северо-Каспийского региона; 5 — Северо-Астраханско-Биикжальская островодужная область блоковых поднятий фундамента с маломощным терригенным комплексом подсолевых отложений; 6 — Заволжско-Тугаракчанский прогиб по фундаменту, область интенсивного карбоната накопления с преобладанием тектоно-седиментационных рифогенных биогерм в верхнем девоне — нижней перми (Астраханско-Приморская карбонатная платформа); 7 — Каракульско-Жельтаузская переходная от Прикаспийской мегасинеклизы к Скифско-Туранской плите покровно-надвиговая область дислокаций, с погребенными рифовыми массивами девона-нижняя пермь; 8 — тектоническая область кряжа Карпинского — Северо-Бузачинская, зона столкновения Скифско-Туранской и Восточно-Европейской платформ и субдукции; 9 — границы выступов по добайкальскому фундаменту; 10 — границы прогибов по добайкальскому фундаменту

Fig. 1. Scheme of tectonics of the joint zone of the southern part of the Caspian syncline of the East European Platform and the northeastern part of the Scythian-Turan plate

Legend: 1 — Pre-Caspian syncline of the East European platform with a pre-Baikal basement; 2 — Scythian-Turanian of Epihercyn platform; 3 — Southern border of the Pre-Caspian syncline; 4 — Borders of the North Caspian region; 5 — North-Astrakhan — Biikzhal island arc region of block uplifts of the basement with a thin terrigenous complex of subsalt deposits; 6 — Zavolzhsko-Tugarakchan trough along the basement, an area of intense carbonate accumulation with a predominance of tectonic-sedimentary reef bioherms in the Upper Devonian — Lower Permian (Astrakhan-Primorskaya carbonate platform); 7 — Karakul-Zheltau transitional from the Caspian megasyncline to the Scythian-Turanian plate cover-thrust zone of dislocations, with buried reef massifs of the Devonian-Lower Permian; 8 — Tectonic area of the Karpinsky ridge — North -Buzachy, the collision zone of the Scythian-Turanian and East European platforms and subduction; 9 — boundaries of ledges along the pre-Baikal basement; 10 — boundaries of troughs along the pre-Baikal basement

названные казахстанскими геологами Кашаганское-западное и Кашаганское-восточное.

Структура Кашаган (Восточный Кашаган) по отражающему горизонту П1, отождествляемому с кровлей подсолевых отложений, имеет вид треугольника с широкой юго-западной периклиналью (30—35 км) и узкой северо-восточной. Сводовая часть структуры осложнена несколькими вершинами, кровля подсолевого горизонта в которых составляет 3800—4000 м. Размеры структуры по оконтуривающей изогипсе подсолевого горизонта 4200 м: длина — 38 км, ширина на юго-западе — 28 км, на северо-востоке — 4—7 км [18, 19]. Структура Кёр-оглы (Западный Кашаган) вытянута в северо-восточном направлении. Глубина залегания кровли подсолевого горизонта в своде поднятия составляет 3800 м. Западная периклиналь структуры из-за ухудшения сейсмического материала остается неизученной. Размеры структуры 32×11 км.

С августа 1999 по июль 2000 г. на участке Восточный Кашаган было проведено поисковое бурение с баржи «Сункар». В результате из подсолевых карбонатных отложений был получен промышленный приток УВ: дебит нефти — 600 м³/сут, дебит газа — 199 тыс. м³/сут на штуцере 12,7 мм. На участке Западный Кашаган разведочное бурение длилось с сентября 2000 по май 2001 г. В результате из подсолевых карбонатных отложений карбона был получен промышленный приток нефти дебитом 540 м³/сут, газа 215 тыс. м³/сут на штуцере 12,7 мм.

Полученная нефть легкая, маловязкая, сернистость 1,87%, плотность 798,5—805,9 кг/м³. Содержание бензиновых фракций до 41% при температуре 200 °С, до 74,5% при 350 °С. В составе растворенного газа содержится метана — 46,3%, сероводорода — 16,5%.

Разрез продуктивных башкиро-визейских отложений представлен различными типами био- и фитогенных известняков; органогенно-водорослевые известняки почти наполовину состоят из обломков макрофауны; встречаются сгустковомковатые и оолитовые разности; характерны процессы переотложения. Породы неравномерно перекристаллизованы, слабо доломитизированы. Цемент кальцитовый (15—30%), коллекторы поровые, трещинно-поровые, средняя емкость коллекторов по ГИС — 7,3—8,6%. В качестве флюидоупора выступает кунгурский соленосный комплекс [3]. Из этих скважин были получены фонтанные притоки нефти, идентичные по химическому составу, что позволяет говорить о возможно

едином нефтяном месторождении, площадь которого составляет более 3 тыс. км².

Высота верхнедевонско-башкирской залежи, по аналогии с соседним Тенгизским месторождением УВ с массивной рифогенной залежью, с которым Кашаганские месторождения имеют геологическое сходство, ожидается порядка 1500 м.

В случае если дальнейшие разведочные работы подтвердят размеры выявленных залежей нефти, то эти месторождения могут стать самыми крупными из разведанных на шельфах за последние 30 лет, после открытия в 1969 г. месторождения Прадхо-Бей на Аляске. По предварительным оценкам геологические запасы нефти Кашаганского месторождения оцениваются примерно в 7 млрд т, или 40 млрд баррелей. Геологические запасы газа оцениваются более чем в 3 млрд м³ [4]. По экспертным оценкам, геологические ресурсы УВ подсолевых отложений шельфа Северного Каспия на 2002 г. составляли от 10,9 до 12 млрд т.у.т.

Вместе с ранее открытыми гигантскими месторождениями УВ в подсолевых отложениях в береговой зоне этого огромного Северо-Каспийского нефтегазоносного региона (Астраханское, Тенгизское, Каратонское, Тажигалинское) теперь, в связи с открытием гигантских месторождений на шельфе, его размеры составляют порядка 420×100 км, а площадь — порядка 42 000 км².

Задачей настоящего исследования является анализ геодинамических и геологических условий, существовавших в вышеуказанном регионе, приведших к формированию таких гигантских месторождений в подсолевом (верхний девон-карбон — нижняя пермь) комплексе отложений.

В структуре северной части Каспийского ареала прогибания выделен ряд разнонаправленных и разновозрастных рифтовых систем, послуживших основой для разработки различных геодинамических моделей [7, 11, 12, 14—16].

По геодинамической модели О.Г. Бражникова и В.Н. Михальковой (1987) [5] в рифее-венде после раскола Мегагеи началось отделение микроконтинентов плато Устюрта и вала Карпинского от Восточно-Европейского континента, с которым они составляли ранее единое целое. В кембрии, ордовике и силуре продолжалось отделение этих микроконтинентов от материка с образованием обширного палео-Азиатского океана, слившегося с океаном палео-Тетис 1, причем территория Северного Каспия в это время географически находилась в южном полушарии, вблизи экватора. В девоне, карбоне и перми произошло сжатие палео-Азиатского океана, придвигание плато Устюрт

и микроконтинента вала Карпинского обратно, по направлению к Восточно-Европейскому континенту, однако не до первоначального, а до их современного положения. В результате поддвижения базальтовой океанической коры в направлении с севера на юг со стороны центральной части Прикаспийской впадины образовалась девонская Биикжал — Северо-Астраханская островная дуга юга Прикаспийской впадины (рис. 1), которая фактически, начиная с девона, разделила Прикаспийский бассейн на два бассейна — Центрально-Прикаспийский и Северо-Каспийский. Глубоководный желоб в Северо-Каспийском суббассейне располагался на месте современного Заволжско-Тугаракчанского прогиба и Каракульско-Жельтаузской зоны дислокации. Позже, начиная с конца ранней перми-триаса, Северо-Каспийский и Центрально-Прикаспийский суббассейны вновь становятся единым бассейном осадконакопления. Значительное влияние на развитие Северо-Каспийского бассейна оказали также субмеридионально ориентированные древние рифтовые системы (Уральская, Мезенско-Каспийская и др.).

По наиболее характерным признакам геофизических полей в пределах Каспийской мегавпадины были выделены коллизионные, субдукционные, инверсионные, покровно-надвиговые, ретронадвиговые и рифтогенные структуры [14—17].

Южно-Эмбенский палеорифт, расположенный в пределах Северного Каспия Восточно-Европейской докембрийской платформы, формировался в рифее-венде (рис. 4). Морфологически ограничен глубинными разломами откольного типа. Кровля докембрийского фундамента по разломам опущена на глубину до 12—13 км. Раннегерцинский этап тектогенеза привел к раскрытию рифта и накоплению девон-каменноугольных отложений толщиной 7—10 км. В раннепермское время в результате коллизии и столкновения Восточно-Европейской и Западно-Туранской мезоплит рифтовая зона сформировалась в инверсионное поднятие. По поверхности Мохоровичича на глубине 34—36 км выделяется Северо-Каспийское поднятие, что не исключает внедрение мантийного диапира по ослабленным зонам. Значения плотности теплового потока равны 58 мВт/м². Толщина земной коры сокращена до 10—16 км.

В эволюционном аспекте, исходя из принятой геодинамической модели развития Северо-Каспийского региона в позднем палеозое (В.П. Гаврилов, 1998) [7], когда здесь существовал замкнутый суббассейн, его можно отнести по классификации Е.В. Кучерука и Е.Р. Алиевой (1983) [11]

к субдукционным задуговым (или же, точнее, к междуговым) осадочным бассейнам, а с верхней перми-триаса, когда существовал уже единый Прикаспийский бассейн, его следует классифицировать как внутриконтинентальный мегабассейн или же периконтинентально-океанический тип осадочного бассейна. По классификации Б.А. Соколова (1985) [14] в эволюционно-тектоническом аспекте Прикаспийская впадина, включая ее акваториальную часть, в завершающей стадии ее развития, наиболее полно отвечает наложенно-синеклизному типу окраинно-платформенных бассейнов. Поскольку ложе бассейна хранит в себе следы древних рифтов и рифтоподобных структур, а южное его обрамление представлено Припятско-Северо-Каспийской шовной зоной, с геодинамических позиций его можно рассматривать как перикратонный бассейн на более ранних рифтовых системах, которые в последующем были частично регенерированы или перестроены. Л.П. Зоненшайн, В.Г. Кориневский, В.Г. Казьмин и др. (1985) считают, что Прикаспийская впадина в целом может быть интерпретирована как остаточный океанический бассейн додевонского возраста, такого же типа, как современный Мексиканский залив [10]. Его ложе в центральной части впадины поглотилось в глубоководных желобах и оказалось погребенным под толщей осадков.

В позднем девоне — раннем карбоне в связи с расширением трансгрессии для большей части периконтинентальной окраины преобладающим становится карбонатный тип осадконакопления с формированием мелководно-морских слоистых карбонатных, терригенно-карбонатных и бассейновых формаций, приуроченных к внутренним районам Северо-Каспийского суббассейна. Карбонатный этап каменноугольного осадконакопления наиболее ярко проявился на отрезке поздневизейско-раннебашкирского времени, обусловив на значительной части окраины Северо-Каспийского суббассейна формирование карбонатной мелководной слоистой формации. Для этого этапа характерно довольно четкое выражение карбонатного шельфа с развитием на его краю рифогенной субформации (Б.А. Соколов, 1985) [14].

В пределах южной части Северного Каспия, уже на Скифской плите, заложение **рифта Кряжа Карпинского** связано с рифейским этапом. По фундаменту рифтовая структура представляет собой разновеликие блоки, ступенчато погружающиеся до 13—15 км. В акватории Северного Каспия интенсивная положительная

аномалия смещается к северу, что отображает горизонтальный сдвиг рифта по трансформным швам скольжения. В девонских отложениях обнаружено внедрение мелких массивов и даек щелочных ультрамафитов, что указывает на регенерацию рифта и растяжение его ложа поolistрическим разломам, служившим магмаподводящими каналами. Позднегерцинский этап тектогенеза знаменуется столкновением Скифского микроконтинента с пассивной окраиной Прикаспийского континента. Дальнейшее усложнение геодинамических обстановок обусловило формирование зон покровно-надвиговых дислокаций кряжа Карпинского, под которыми были захоронены палеозойские платформенные отложения Прикаспийской впадины.

В районе кряжа Карпинского выделяется крупный низкоскоростной блок, фиксируемый повышенной горизонтальной расслоенностью верхней мантии. Расслаивание верхней кромки мантии и поддвиг нижнего слоя под Прикаспийский континент установлены сейсморазведкой МОГТ (А.Я. Бродский и др., 1994) [6].

Таким образом, исходя из особенностей геодинамического развития на временном этапе поздний девон — ранний карбон — нижняя пермь, Северо-Каспийский регион представлял собой замкнутый междуговой палеобассейн, ограниченный с севера поднятиями Биикжал — Северо-Астраханской островной дуги, а с юга ограниченный

островодужной системой кряжа Карпинского — Северные Бузачи.

Здесь в условиях медленного погружения Заповолжско-Тугаракчанского прогиба отмечалось интенсивное карбонатонакопление с образованием мощных тектоно-седиментационных поднятий, образованных шельфовыми биогермами, барьерными рифами, а также крупными рифогенными атоллами, сформировавшимися над древними прогибами, которые достигают здесь мощности до 3—3,5 км (рис. 2).

На рисунке 3 приведены структурно-тектонические характеристики поверхностей добайкальского фундамента и подсолевых отложений Северо-Каспийского региона.

Наличие интенсивного теплового потока, связанного с внедрением мантийного диапира в пределах осевой зоны Тугаракчанского прогиба, а также близость субдукционных зон Биикжал — Северо-Астраханской островной дуги и кряжа Карпинского — Северные Бузачи способствовало интенсивной и полной переработке органического материала, которым богаты такие рифогенные массивы в УВ. По данным (Е.В. Кучерук и др., 1983, 1985) [11, 12], именно такие осадочные бассейны междуговой типа обладают наиболее высоким генерационным УВ потенциалом.

Выявленные в настоящее время крупные месторождения УВ с удельными запасами более

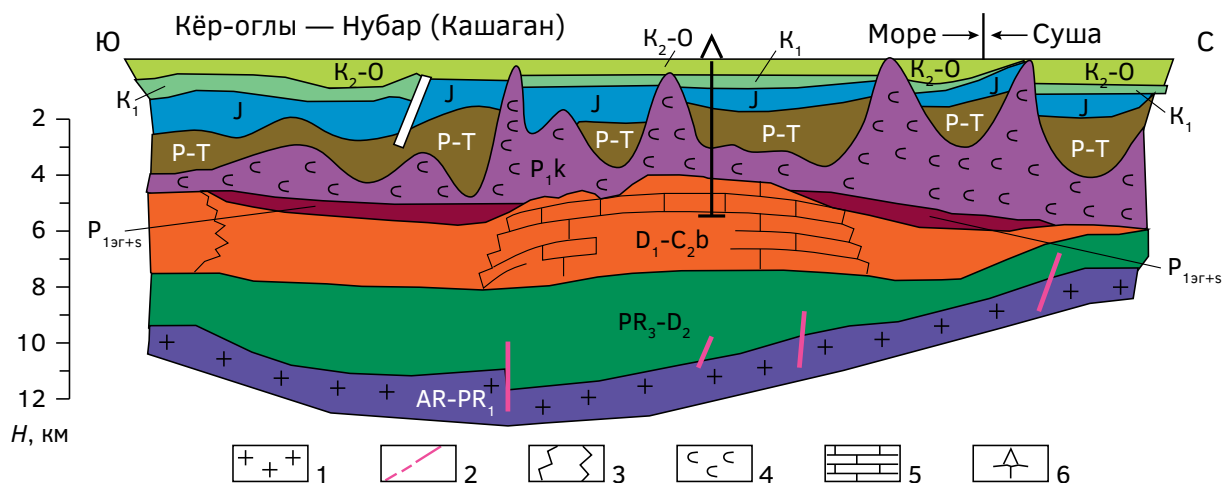


Рис. 2. Геологический профильный разрез поднятия Кёр-оглы — Нубар (Кашаган) (по геофизическим данным) по линии А—А (см. рис. 3). 1 — допалеозойский фундамент; 2 — разрывные нарушения; 3 — границы рифогенных структур; 4 — соленосная толща кунгура; 5 — карбонатные рифогенные породы; 6 — скважина площади Западный Кашаган

Fig. 2. Geological profile section of the Ker-ogly — Nubar (Kashagan) uplift (according to geophysical data) along the A—A line (see Fig. 3). 1 — pre-Paleozoic basement; 2 — breaking violations; 3 — boundaries of reef structures; 4 — Kungur salt-bearing thickness; 5 — carbonate reef rocks; 6 — well of the Western Kashagan area

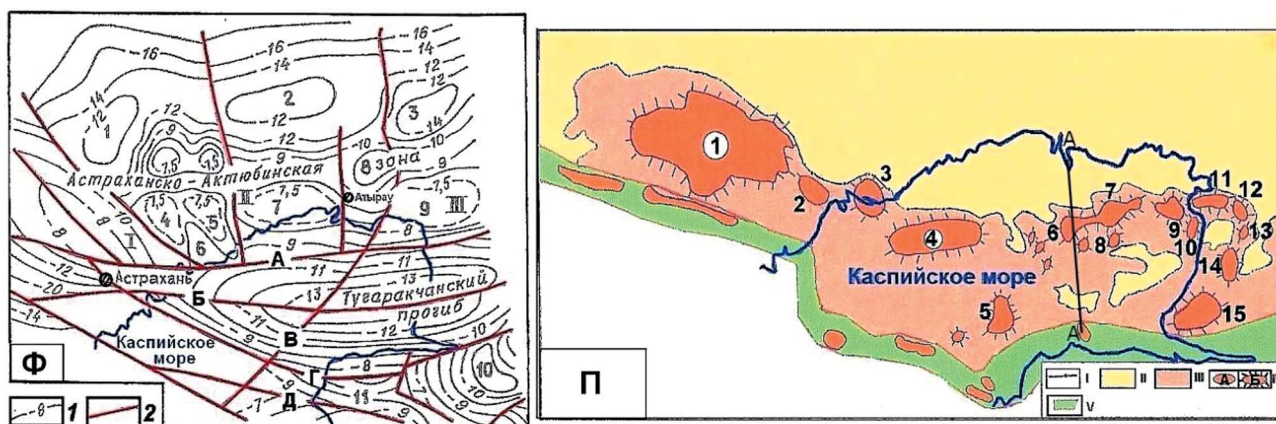


Рис. 3. Схематические структурные карты Северо-Каспийского региона и сопредельной территории по горизонтальным нижним структурным этажам разреза

Ф — структурная карта поверхности фундамента.

Условные обозначения: 1 — изогипсы поверхности добайкальского фундамента; 2 — линии разрывов фундамента (А — Утыбайский, Б — Южно-Эмбенский, В — Аграханско-Гурьевский, Г — Северо-Устьюртский, Д — Южно-Бузачинский); I — Астраханское поднятие; II — Северо-Каспийское поднятие: 1 — Азгирский выступ, 2 — Жаикский выступ, 3 — Доссорский прогиб, 4 — Кобыковский выступ, 5 — Октябрьский выступ, 6 — Жалабайский прогиб, 7 — Ново-Богатинский выступ, 8 — Карабатанский выступ; III — Биикжалское поднятие: 9 — Гурьевский выступ, 10 — Бейнеузский прогиб, 11 — Северо-Бузачинское поднятие.

П — схематическая карта тектоники поверхности подсолёвых отложений (карбон-девон).

Условные обозначения: I — границы тектонических зон; II — южная зона Прикаспийской мегасинеклизы (зона глубокого погружения поверхности подсолёвых отложений до 5500—7000 м); III — южная периферийная зона Прикаспийской мегасинеклизы (зона относительно неглубокого залегания поверхности подсолёвых отложений, порядка 4300—5400 м), IV — локальные поднятия по подсолёвым отложениям (глубины 3800—4200 м), IVA — возможно рифогенные поднятия, IVБ — рифогенные поднятия (1 — Астраханское, 2 — Имашевское, 3 — Жамбайское, 4 — Жамбайское-морское, 5 — Северо-Каспийское, 6 — Кёр-оглы — Нубарское (Западно-Кашаганское), 7 — Восточно-Кашаганское (Шабурбали-Жамиханское), 8 — Южно-Кашаганское, 9 — Кайранское, 10 — Пустынное, 11 — Тажигалинское, 12 — Каратонское, 13 — Королевское, 14 — Тенгизское, 15 — Южненское); V — Каракульско-Жельтаузская переходная покровно-надвиговая зона от Прикаспийской мегасинеклизы к Скифско-Туранской плите; А—А — линия геологического профильного разреза (см. рис. 2).

Fig. 3. Schematic structural maps of the North Caspian region and adjacent territory along the horizons of the lower structural levels of the section

F — structural map of the foundation surface.

Legend: 1 — isohypses of the pre-Baikal basement surface; 2 — lines of breaks of the basement (A — Utybaysky, B — South-Embe, C — Agrakhan-Guryev, G — North-Ustyurt, D — South-Buzachy); I — Astrakhan uplift; II — North Caspian uplift: 1 — Azgir ledge, 2 — Zhaik ledge, 3 — Dossor trough, 4 — Kobaykovsky ledge, 5 — October ledge, 6 — Zhalabay trough, 7 — Novo-Bogatinsky ledge, 8 — Karabatan ledge; III — Biikzhal uplift: 9 — Guryevsky ledge, 10 — Beineuzsky trough, 11 — North-Buzachy uplift.

P — schematic map of tectonics of the surface of subsalt deposits (Carbon-Devonian).

Legend: I — boundaries of tectonic zones; II — southern zone of the Pre-Caspian megasyncline (zone of deep subsidence of the surface of subsalt deposits up to 5500—7000 m); III — southern peripheral zone of the Pre-Caspian megasyncline (zone of relatively shallow bedding of the surface of subsalt deposits, about 4300—5400 m), IV — local uplifts along subsalt deposits (depths 3800—4200 m), IVA — possibly reef uplifts, IVB — reef uplifts (1 — Astrakhan, 2 — Imashevsky, 3 — Zhambaysky, 4 — Zhambaysky-marine, 5 — North-Caspian, 6 — Ker-ogly — Nubar (West Kashagan), 7 — East-Kashagan (Shaburbali-Zhamihansky), 8 — South-Kashagan, 9 — Kairan, 10 — Pustynny, 11 — Tazhigaly, 12 — Karaton, 13 — Korolevsky, 14 — Tengiz, 15 — Yuzhny); V — Karakul-Zheltau transitional nappe-thrust zone from the Pre-Caspian megasyncline to the Scythian-Turanian plate; A—A — line of geological profile section (see Fig. 2).

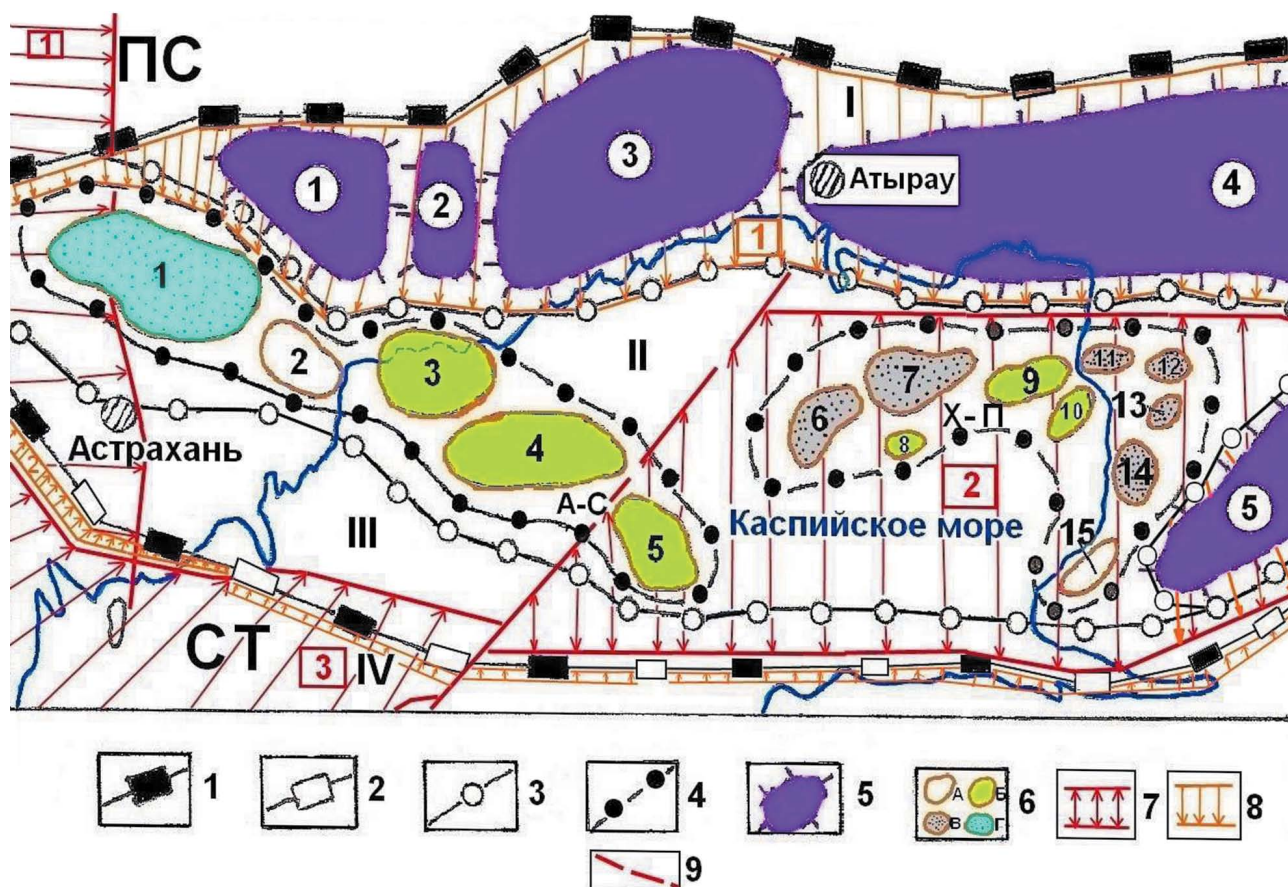


Рис. 4. Схематическая карта тектонического, нефтегазогеологического районирования, расположения палеорифтовых, палеосубдукционных зон и перспектив нефтегазоносности подсолевых образований Северо-Каспийского региона (Северо-Каспийская тектоническая (нефтегазоносная) субпровинция Прикаспийской мегасинеклизы Восточно-Европейской платформы)

Условные обозначения: 1 — граница Северо-Каспийского региона (нефтегазоносной субпровинции); 2 — южная граница Прикаспийской мегасинеклизы (П-М); 3 — границы тектонических и нефтегазоносных областей Северо-Каспийской тектонической и нефтегазоносной субпровинции: I — погребенная островодужная система поднятий по фундаменту (Эмбенская нефтегазоносная область (НГО)); II — Заволжско-Тугаракчанская тектоническая область прогибания фундамента (Астраханско-Приморская НГО); III — переходная покровно-надвиговая тектоническая область (Каракульско-Жельтаузская НГО); 4 — районы развития крупных тектоно-седиментационных биогермных поднятий средне-верхнепалеозойского возраста (А-С — Астрахань — Северо-Каспийский тектонический район, линейная барьерно-рифовая система; Х-П — Хазарско-Приморский тектонический район, крупная атолловая система сложной формы); 5 — крупные выступы по допалеозойскому фундаменту в северной береговой зоне, в пределах которых отсутствуют или имеют незначительные мощности карбонатные образования средне-верхнепалеозойского возраста (1 — Кобяковский, 2 — Октябрьский, 3 — Северо-Каспийский, 4 — Биикжальский, 5 — Мынсуалмасский (Южно-Эмбенский)); 6 — вершины крупных погребенных локальных рифов и атоллов средне-верхнепалеозойского возраста, в том числе: А — контуры вершин биогерм; Б — наиболее перспективно-нефтегазоносные поднятия по подсолевым отложениям в шельфовой зоне Северного Каспия; В — поднятия с выявленной нефтеносностью подсолевых отложений; Г — Астраханское газо-конденсатное месторождение (1 — Астраханское, 2 — Имашевское, 3 — Жамбайское, 4 — Жамбай-морское, 5 — Северо-Каспийское, 6 — Кёр-оглы (Западный Кашаган), 7 — Восточно-Кашаганское, 8 — Южно-Кашаганское, 9 — Кайран, 10 — Пустынное (Шабурбалинское), 11 — Тажигалинское, 12 — Каратонское, 13 — Королевское, 14 — Тенгизское, 15 — Южное). 7 — палеорифтовые системы (цифры в красных квадратах): 1 — Мезенско-Каспийская; 2 — Южно-Эмбенская; 3 — Кряжа Карпинского.

8 — палеосубдукционные (островодужные системы) (цифры в желтых квадратах): 1 — Биикжал — Северо-Астраханская; 2 — Кряжа Карпинского — Северо-Бузачинская. 9 — трансформный разлом. СТ — Скифско-Туранская эпигерцинская платформа (Северо-Кавказско-Мангышлакская нефтегазоносная бассейн-провинция); IV — тектоническая область кряжа Карпинского (Южно-Калмыцкая НГО).

Fig. 4. Schematic map of tectonic, oil and gas geological zoning, location of paleorift, paleosubduction zones and oil and gas potential of subsalt formations of the North Caspian region (North Caspian tectonic (oil and gas) subprovince of the Caspian megasyneclise of the East European platform)

Legend: 1 — border of the North Caspian region (oil and gas subprovince); 2 — southern border of the Pre-Caspian megasyneclise (P-M); 3 — boundaries of tectonic and oil and gas bearing regions of the North Caspian tectonic and oil and gas bearing sub-province: I — buried island arc system of uplifts along the basement (Emba oil and gas region (OGR)); II — Zavolzhsky-Tugarakchan tectonic area of basement subsidence (Astrakhan-Primorsky OGR); III — transitional nappe-thrust tectonic area (Karakul-Zheltau OGR); 4 — areas of development of large tectonic-sedimentary biohermal uplifts of the Middle-Upper Paleozoic age (A-C — Astrakhan — North Caspian tectonic region, linear barrier-reef system; Kh-P — Khazar-Primorsky tectonic region, large atoll system of complex shape); 5 — large protrusions along the pre-Paleozoic basement in the northern coastal zone, within which carbonate formations of the Middle-Upper Paleozoic age are absent or have insignificant thickness (1 — Kobyakovsky, 2 — Oktyabrsky, 3 — North-Caspian, 4 — Biikzhal, 5 — Minsualmas (South Embensky)); 6 — tops of large buried local reefs and atolls of the Middle-Upper Paleozoic age, including: A — contours of the tops of bioherms; B — the most promising oil and gas uplifts in subsalt deposits in the shelf zone of the North Caspian; V — uplifts with revealed oil-bearing capacity of subsalt deposits; G — Astrakhan gas condensate field (1 — Astrakhan, 2 — Imashevsky, 3 — Zhambaysky, 4 — Zhambay-sea, 5 — North Caspian, 6 — Ker-ogly (Western Kashagan), 7 — East-Kashagan, 8 — South-Kashagan, 9 — Kairan, 10 — Pustynny (Shaburbaly), 11 — Tazhigaly, 12 — Karaton, 13 — Korolevsky, 14 — Tengiz, 15 — Yuzhny). 7 — paleorift systems (numbers in red squares): 1 — Mezen-Caspian; 2 — South Embinsky; 3 — Karpinsky Ridge. 8 — paleosubduction (island arc systems) (numbers in yellow squares): 1 — Biikzhal — North-Astrakhan; 2 — Karpinsky Ridge — North-Buzachy; 9 — transform fault. ST — Scythian-Turanian Epigertsin platform (North Caucasian-Mangyshlak oil and gas basin-province); IV — tectonic region of the Karpinsky ridge (South Kalmyk OGR).

100 тыс. т/км² (Астраханское, Западно-Кашаганское, Восточно-Кашаганское, Тенгизское и др.) расположены в пределах Южно-Эмбенского палеорифта и в тыловой зоне Биикжал — Северо-Астраханской островодужной системы (рис. 4).

Выделенные в результате сейсмо-стратиграфического анализа группировки подсолевых поднятий рифогенного генезиса в северо-западной и восточной частях акватории Северного Каспия располагаются на двух крупных ветвях Астраханско-Приморской верхнедевонско-нижнекаменноугольной карбонатной платформы: Астраханско-Северокаспийской линейной барьерно-рифовой системой, имеющей размеры 250×30 км, которая включает такие крупные рифогенные поднятия (или группы поднятий), как Астраханское, Имашевское, Жамбайское, Жамбай-морское, Северо-Каспийское, и Хазарско-Приморской атолловой системой, разделенных глубоким Пешнинским прогибом. Проведенные структурные построения в пределах Хазарско-Приморской атолловой системы показывают, что выявленные в восточной и центральной частях акваториальной зоны Заповолжско-Тугаракчанского прогиба (Приморский и Хазарский нефтегазоносные районы) поднятия Кёр-оглы — Нубар (Кашаганские), Пустынный

(Шабурбалинская), Кайран и другие имеют связь с крупным погребенным Каратон-Тенгизским атоллом в береговой зоне, а также с поднятиями, образующими единую внешнюю зону на склонах этого атолла. По предварительным расчетам размер внешнего кольца этого крупного атолла достигает 180×90 км (рис. 4).

Строение этого атолла аналогично строению кольцевой структуры гигантского атолла мелового возраста Эль-Абра с обрамляющей его внешней зоной, структур Паса-Рика нефтегазоносной зоны Фаха-де-Оро в Примексиканской впадине.

Исходя из геодинамического и ретроспективно-бассейнового анализов, территория крупного Северо-Каспийского осадочного бассейна с установленной нефтегазоносностью как в подсолевых, так и в надсолевых образованиях была нами классифицирована как Северо-Каспийская нефтегазоносная субпровинция (НГСП), входящая в Прикаспийскую нефтегазоносную бассейн-провинцию (НГБ-П) [3, 4].

Выделение Северо-Каспийской субпровинции обосновывается тем, что во время формирования основных подсолевых нефтегазоносных комплексов девона-карбона — нижней перми этот регион, представлявший собой крупный осадочный

палеобассейн, был изолирован от остальной части Прикаспийской НГБ-П островодужной системой (барьерная зона поднятий блоков добайкальского фундамента) [3], а при формировании надсолевых регионально-нефтегазоносных комплексов (верхняя пермь — мезозой — палеоген) эти палеобассейны соединились в единый крупнейший Прикаспийский палеобассейн.

В соответствии с особенностями геологического строения и развития в этой субпровинции был выделен ряд НГО. Так, в пределах восточной части островодужной зоны поднятий (барьерная зона поднятий блоков добайкальского фундамента) выделена Эмбенская НГО, в которую входят Кошалакско-Карабатанский, Кобяковско-Новобогатинский и Гурьевско-Кульсаринский НГР. В эти НГР входит ряд ЗНГН. Нефтегазоносность здесь связана с надсолевыми — верхнепермско-мезозойскими отложениями.

Расположенная южнее Заволжско-Тугаракчанская депрессионная тектоническая область, в связи со сходным геологическим строением, идентичностью формирования и типов выявленных здесь крупных местоскоплений углеводородов в подсолевых образованиях (Астраханское, Кашаганские, Тенгизское и др.) была выделена в качестве Астраханско-Приморской НГО. Здесь выделяются Астраханский НГР, в который входят Аксарайская и Южно-Астраханская ЗНГН; Хазарско-Приморский НГР, в который входят Кашаганская, Тажигали-Каратонская, Тенгизско-Королевская и Юженско-Елемесская ЗНГН.

С учетом особенностей геологического развития в верхнем палеозое в центральной зоне Северокаспийской нефтегазоносной субпровинции, испытавшей длительное прогибание (Заволжско-Хазарско-Тугаракчанская зона прогибания, соответствующая северной зоне Астраханско-Приморской нефтегазоносной области), накопились терригенно-карбонатные образования мощностью 8—10 км. Расчетные значения температур на глубине 5 км, соответствующей усредненной глубине залегания кровли подсолевых образований, в рассматриваемой зоне около 110—130 °С, что благоприятно для катагенетических преобразований органического вещества (ОВ) и подтверждается расчетами начальных прогнозных геологических ресурсов УВ.

По анализу данных бурения и размещению залежей УВ подсолевого комплекса, а также по материалам геофизических исследований шельфа Северного Каспия выделены или предполагаются по аналогии с сопредельными рай-

онами следующие нефтегазоносные комплексы: додевонско-нижнедевонский терригенный, эйфельско-нижнефранский терригенный, верхнефранско-нижневизейский карбонатный, верхневизейско-нижнебашкирский карбонатный, верхнебашкирско-нижнемосковский терригенный, верхнемосковско-кунгурский карбонатно-сульфатно-соленосный [1, 2]. Исходя из средних глубин залегания, а также региональной распространенности и значительности содержащихся в них запасов УВ, выявленных в отдельных нефтегазоносных комплексах берегового обрамления Северного Каспия, в качестве региональных нефтегазоносных комплексов подсолевых образований региона, имеющих наибольшее значение при прогнозе перспектив нефтегазоносности, следует считать среднефранско-нижневизейский карбонатный, верхневизейско-нижнебашкирский карбонатный, а также верхнемосковско-кунгурский карбонатно-сульфатно-соленосный [9, 13].

В пределах Северо-Каспийского региона (Северо-Каспийская НГСП), по нашему мнению, высокие оценки ресурсов УВ в подсолевых отложениях в полной мере соответствуют количеству прошедших здесь стадий геодинамической эволюции, в процессе которой здесь имелись крупные зоны спрединга (палеорифты: Мезенско-Каспийский, Южно-Эмбенский и Кряжа Карпинского), а также зоны субдукции (островные дуги: Биикжал — Северо-Астраханская, Кряжа Карпинского — Северные Бузачи) (рис. 4).

Таким образом, геодинамические и геологические условия и температурный режим оказались весьма благоприятными для генерации, миграции и аккумуляции УВ в пределах развитых здесь тектоно-седиментационных поднятий верхнего девона — нижней перми, образованных шельфовыми биогермами, барьерными рифами, а также крупными рифогенными атоллами, сформировавшимися над древними прогибами по фундаменту, с которыми связаны такие крупные местоскопления УВ, как Кашаганское, Тенгизское, Астраханское, Королёвское.

Наибольшие перспективы нефтегазоносности здесь связаны с среднефранско-нижневизейским карбонатным, верхневизейско-нижнебашкирским карбонатным и верхнемосковско-кунгурским карбонатно-сульфатно-соленосным регионально-нефтегазоносными комплексами в погребенных локальных биогермных поднятиях, выявленных сейсморазведкой в пределах Заволжско-Тугаракчанской области прогибания фундамента (Астраханско-Приморская НГО).

Исходя из всего вышеизложенного, по оценке геодинамических и геологических факторов, определяющих условия возникновения и развития процессов нефтегазообразования, можно сделать заключение, что в пределах основных палеовпадин изолированного бассейна Северо-Каспийского региона за верхнепалеозойскую историю в основном имело место устойчивое и длительное прогибание, благоприятное для накопления мощной толщи карбонатных (в основном рифогенных) образований, существовали геотермические и барические условия, необходимые для преобразования и последующей миграции УВ из нефтегазопродуцирующих комплексов в коллекторы, в качестве которых здесь служили в основном массивные карбонатные образования рифогенного генезиса, а также консервация образовавшихся месторождений мощными соленосными отложениями кунгурского яруса.

Исходя из данных о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности подсолевых палеозойских отложений шельфа Северного Каспия предлагаются нижеследующие направления поисково-разведочных работ на шельфе этого региона.

1. В пределах шельфа Астраханско-Приморской НГО — по Кашаганской группе рифогенных поднятий основными направлениями работ является доразведка выявленных залежей нефти по Западному и Восточному Кашаганам в рифогенных образованиях карбона и поиски новых залежей в девонских отложениях по этим площадям, а также поиски залежей нефти в подсолевых отложениях на площади Южный Кашаган (см. рис. 4), для чего потребуется бурение скважин глубиной 6500—7000 м.

По остальным перспективно-нефтегазоносным тектоно-седиментационным биогермным поднятиям, выявленным на шельфе Северного Каспия

в подсолевых образованиях Хазарско-Приморской атолловой системы (Кайран, Пустынный) и Астраханско-Северо-Каспийской линейной барьерно-рифовой системы (Жамбай, Жамбай-морской, Северо-Каспийской), необходимо проведение детальных сейсморазведочных исследований — для подготовки их к поисковому бурению. По результатам этих исследований в сводовых зонах этих поднятий следует провести бурение параметрических скважин на глубину 6500—7000 м для изучения разреза и нефтегазоносности подсолевых биогермных карбонатов на максимально возможную глубину, после чего определить направления поискового бурения по этим перспективным площадям.

2. В пределах шельфа самой южной весьма сложной переходной покровно-надвиговой тектонической области (Каракульско-Жельтаузской НГО) необходимо проведение комплекса геофизических исследований для выявления перспективно-нефтегазоносных погребенных рифогенных поднятий. Для детализации сложнопостроенных структур целесообразно применять здесь объемную сейсморазведку, основанную на обработке площадных наблюдений с последующей пространственной интерпретацией. После выявления наиболее благоприятных поднятий следует для изучения разреза и нефтегазоносности палеозоя в поднадвиговом (автохтонном) комплексе провести параметрическое бурение.

Осуществление вышеуказанных исследований позволит выявить новые крупные месторождения УВ на шельфе Северного Каспия.

Полученные результаты вышеуказанных исследований позволяют рекомендовать обязательное использование анализа геодинамических эволюций земной коры в качестве важного критерия при оценке перспектив нефтегазоносности крупных сложно построенных регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух Б.М., Алиева С.А. Промышленная нефтегазоносность шельфа Северного Каспия // Геология нефти и газа. 2006. № 1. С. 18—24.
2. Ажгалиев Д.К. Девонские отложения — перспективное направление поисковых работ на нефть и газ в Прикаспийском бассейне // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 2. С. 111—116. <https://doi.org/10.18599/grs>
3. Ажгалиев Д.К., Каримов С.Г., Исаев А.А. Региональное изучение — следующий важный этап в оценке нефтегазоносного потенциала осадочных бассейнов Западного Казахстана // Георесурсы. 2018. № 20 (1). С. 16—24. <https://doi.org/10.18599/grs>
4. Алиева С.А., Авербух Б.М., Серикова У.С., Мустаев Р.Н. Геология и нефтегазоносность Каспийской впадины. М.: Научно-издательский центр ИНФРА, 2014. 486 с.
5. Бражников О.Г., Михалькова В.Н. Геодинамика и нефтегазоносность Прикаспийской впадины // Нефтегазоносность Прикаспийской впадины и сопредельных районов. М.: Наука, 1987.
6. Бродский А. Я., Воронин Н. И., Миталев И. А. Строе-ние нижнекаменноугольных и девонских отложений и направления нефтегазо-поисковых работ на Астраханском свде // Геология нефти и газа. 1994. №. 8. С. 8—11.

7. Гаврилов В.П. Геодинамическая модель нефтегазообразования в литосфере и ее следствия // Геология нефти и газа. 1998. № 6. С. 2—12.
8. Джафаров И.С., Керимов В.Ю., Шилов Г.Я. Шельф, его изучение и значение для поисков и разведки скоплений нефти и газа. СПб.: Недра, 2005. 384 с.
9. Жемчугова В.А., Макарова Е.Ю., Наумчев Ю.В., Макаров Н.Д., Панков В.В. Карбонатные резервуары подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы. Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 194—207. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.20>
10. Зоненшайн Л.П., Кориневский В.Г., Казьмин В.Г. Строение и развитие Южного Урала с точки зрения тектоники литосферных плит // История развития Уральского палеоокеана. М.: Институт океанологии АН СССР, 1985.
11. Кучерук Е.В., Алиева Е.Р. Современное состояние классификации осадочных нефтегазоносных бассейнов. М.: ВНИИОЭНГ, 1983. 89 с.
12. Кучерук Е.В., Ушаков С.А. Тектоника плит и нефтегазоносность. М.: ВНИИТИ, 1985. 200 с.
13. Мурзагалиев Д.М. Атырауский филиал АО «Геотекс» // Геология нефти и газа. 1998. № 2. С. 10—15.
14. Соколов Б.А. Эволюционно-динамические критерии оценки нефтегазоносности недр. М.: Недра, 1985. 168 с.
15. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Глобальная эволюция Земли. М.: МГУ, 1991. 445 с.
16. Сорохтин О. Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. М.: МГУ, 2002. 506 с.
17. Ступакова А.В., Пашали А.А., Волянская В.В., Сулова А.А., Завьялова А.П. Палеобасейны — новая концепция моделирования истории геологического развития и нефтегазоносности регионов // Георесурсы. 2019. 21(2). С. 4—12. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.4-12>
18. Тулегенова Г., Сеитов Н.С. Тектоническое районирование и геодинамические условия формирования структур Северо-Каспийского нефтегазоносного региона // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2016. № 2. С. 5—16.
19. Халилов Э.А., Авербух Б.М., Мамедова В.А., Гусейнов Г.М. Геодинамические и палеогеографические условия формирования регионально-нефтегазоносных формаций палеозоя Северного Каспия // Геолого-геохимические исследования при поисках, разведке и разработке месторождений УВ. Баку: Тематический сборник научных трудов АзИУ, 1991.

REFERENCES

1. Averbukh B.M., Aliyeva S.A. Promyshlennaya neftegazonosnost' shel'fa Severnogo Kaspiya [Industrial oil and gas potential of the North Caspian shelf] The geology of oil and gas. 2006. No 1. P. 18—24 (In Russian).
2. Azhgaliyev D.K. Devonskiye otlozheniya — perspektivnoye napravleniye poiskovykh rabot na nef't i gaz v Prikaspiyskom bassejne [Devonian deposits — a promising direction of prospecting for oil and gas in the Caspian basin]. Georesources. 2017. Vol. 19. No. 2. P. 111—116. (In Russian). <https://doi.org/10.18599/grs>
3. Azhgalev D.K., Karimov S.G., Isaev A.A. Regional'noye izucheniye — sleduyushchiy vazhnyy etap v otsenke neftegazonosnogo potentsiala osadochnykh basseynov Zapadnogo Kazakhstana [Regional study is the next important stage in assessing the oil and gas potential of sedimentary basins in Western Kazakhstan]. Georesursy. 2018. No 20 (1). P. 16—24 (In Russian). <https://doi.org/10.18599/grs>
4. Aliyeva S.A., Averbukh B.M., Serikova U.S., Mustaev R.N. *Geologiya i neftegazonosnost' Kaspiyskoy vpadiny* [Geology and oil and gas potential of the Caspian basin]. Moscow: INFRA Scientific Publishing Center, 2014. 486 p. (In Russian).
5. Brazhnikov O.G., Mikhalkova V.N. Brazhnikov O.G., Mikhalkova V.N. Geodinamika i neftegazonosnost' Prikaspiyskoy vpadiny [Geodynamics and oil and gas potential of the Caspian basin]. Neftegazonosnost' Prikaspiyskoy vpadiny i sopredel'nykh rayonov [Oil and gas potential of the Caspian Basin and adjacent areas]. Moscow: Science, 1987 (In Russian).
6. Brodskiy A.Y., Voronin N.I., Mitalev I.A. Stroyeniye nizhnkamennougol'nykh i devonskikh otlozheniy i napravleniya neftegazo-poiskovykh rabot na Astrakhanskom svode [The structure of the Lower Carboniferous and Devonian sediments and directions of oil and gas exploration work on the Astrakhan arch]. *Geologiya nef'ti i gaza* [Geology of oil and gas]. 1994. No 8. P. 8—11. (In Russian).
7. Gavrilov V.P. Geodinamicheskaya model' neftegazobrazovaniya v litosfere i yeyo sledstviya [Geodynamic model of oil and gas formation in the lithosphere and its consequences]. *Geologiya nef'ti i gaza* [Geology of oil and gas]. 1998. No 6, P. 2—12 (In Russian).
8. Jafarov I.S., Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya. Shel'f, yego izucheniye i znacheneye dlya poiskov i razvedki skopleniy nef'ti i gaza [Shelf, its study and significance for the search and exploration of oil and gas accumulations]. St. Petersburg: Nedra, 2005. 384 p. (In Russian).
9. Zhemchugova V.A., Makarova E.Yu., Naumchev Yu.V., Makarov N.D., Pankov V.V. Karbonatnyye rezervuary podsolevykh otlozheniy Prikaspiyskoy sineklizy [Carbonate reservoirs of subsalt deposits of the Caspian syncline]. Georesursy. 2017, Special issue. Part 2. P. 194—207. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.20>
10. Zonenshayn L.P., Korinevsky V.G., Kazmin V.G. Stroyeniye i razvitiye Yuzhnogo Urals s tochki zreniya tektoniki litosferykh плит [The structure and development of the Southern Urals from the point of view of tectonics of lithospheric plates]. *Istoriya razvitiya*

- Ural'skogo paleookeana. Institut okeanologii AN SSSR.* [The history of the development of the Ural paleo-ocean Institute of Oceanology, Academy of Sciences of the USSR]. Moscow, 1985 (In Russian).
11. Kucheruk E.V., Alieva E.R. Sovremennoye sostoyaniye klassifikatsii osadochnykh neftegazonosnykh basseynov [Current status of classification of sedimentary oil and gas basins]. Moscow: VNIIOENG, 1983. 89 p. (In Russian).
 12. Kucheruk E.V., Ushakov S.A. Tektonika plit i neftegazonosnost' [Plate tectonics and oil and gas]. Moscow: VINITI, 1985. 200 p. (In Russian).
 13. Murzagaliev D.M. Atyrauskiy filial AO "Geoteks" [Atyrau branch of Geotex JSC]. Geology of oil and gas, 1998. No. 2. P. 10—15 (In Russian).
 14. Sokolov B.A. Evolyutsionno-dinamicheskiye kriterii otsenki neftegazonosnosti nedr [Evolutionary-dynamic criteria for assessing the oil and gas potential of the subsoil]. Moscow: Nedra, 1985. 168 p. (In Russian).
 15. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. Global'naya evolyutsiya Zemli [Global evolution of the Earth]. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1991. 445 p. (In Russian).
 16. Sorokhtin O.G. Razvitiye Zemli. Razvitiye Zemli [Development of the Earth]. Moscow: Moscow State University, 2002. 506 p. (In Russian).
 17. Stoupakova A.V., Pashali A.A., Volyanskaya V.V., Suslova A.A., Zavyalova A.P. Paleobasseyny — novaya kontseptsiya modelirovaniya istorii geologicheskogo razvitiya i neftegazonosnosti regionov [Paleobasins — a new concept of modeling the history of geological development and oil and gas bearing of regions]. Georesursy. 2019. No. 21(2). P. 4—12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18599/grs>
 18. Tulegenova G., Seitov N.S. Tektonicheskoye rayonirovaniye i geodinamicheskiye usloviya formirovaniya struktur Severokaspiyskogo neftegazonosnogo regiona [Tectonic zoning and geodynamic conditions of formation of structures in the north-Caspian oil and gas region]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk.* [News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences]. 2016. Vol. 2. P. 5—16 (In Russian).
 19. Khalilov E.A., Averbukh B.M., Mamedova V.A., Huseynov H.M. Geodinamicheskiye i paleogeograficheskiye usloviya formirovaniya regional'no-neftegazonosnykh formatsiy paleozoya Severnogo Kaspiya [Geodynamic and paleogeographic conditions for the formation of regional oil and gas bearing formations of the Paleozoic of the North Caspian]. *Geologo-geokhimicheskiye issledovaniya pri poiskakh, razvedke i razrabotke mestorozhdeniy UV/ Tematicheskiy sbornik nauchnykh trudov AzIU* [Thematic collection of scientific works of AzIU: "Geological and geochemical research in the search, exploration and development of hydrocarbon deposits"]. Baku, 1991 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Алиева С.А. — внесла вклад в геологический анализ региона и изучаемых отложений, разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Sudaba A. Aliyeva — contributed to the geological analysis of the region and the studied deposits, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Алиева Судаба Аждар — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая геология» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности 34, проспект Азадлыг, г. Баку AZ1010, Азербайджан e-mail: suaza@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2099-2903>
Scopus Author ID: 57208565579

Sudaba A. Aliyeva — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., Azerbaijan State of Oil and Industry University 34, Azadliq ave., Baku AZ1010, Azerbaijan e-mail: suaza@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2099-2903>
Scopus Author ID: 57208565579



ОСНОВЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГИС ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОМАНИКОВОГО ТИПА ФРАНКО-ФАМЕНСКОГО ВОЗРАСТА

Д.Е. ЗАГРАНОВСКАЯ*, С.И. ИСАЕВА, О.А. ЗАХАРОВА

ООО «Газпромнефть НТЦ»

75—79, лит. Д, наб. реки Мойки, г. Санкт-Петербург 190000, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В процессе изучения доманиковых продуктивных отложений франско-фаменского возраста возникает много неопределенностей при выделении эффективных толщин в разрезе. Несмотря на то что при разработке методических рекомендаций к выделению перспективных интервалов в отложениях доманикового типа на сегодня уже существуют некоторые подходы, например определение эффективной толщины по газовому каротажу при геолого-технических исследованиях, представленная методика интерпретации в публикации и другие методы решения проблемы продолжают развиваться, а повышение их эффективности не теряет своей актуальности.

Цель — разработать основные методические подходы для интерпретации ГИС с целью выделения перспективных отложений доманикового типа с наличием подвижных углеводородов (УВ).

Материалы и методы. В работе отображены результаты исследований, проведенных по опубликованным данным геолого-геофизических исследований скважин ранее пробуренных в Бузулукской впадине, на основании которых построены основные зависимости ГИС, а также материалы керновых и геофизических исследований скважин ПАО «Газпром нефть» на территории Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. В рассматриваемых скважинах выполнен расширенный комплекс ГИС, проведены испытания и керновые исследования, включая геохимические, которые выполнялись в отложениях франского возраста, плотность исследований по 5—10 образцов на 1 пог. метр керна.

Результаты. В представленной работе впервые показаны основные методические подходы для выделения эффективных нефтенасыщенных толщин в отложениях доманикового типа по данным ГИС на основе комплексирования геолого-геофизических и геохимических данных, характеризующих вещественный и минералогический состав пород, содержание органического вещества, групповой состав углеводородов, генезис коллекторов. В разрезе идентифицированы породы с различными насыщающими их углеводородами по групповому составу, определяющими их подвижность. Получены граничные значения при интерпретации методов ГИС для пород доманикового типа, содержащих подвижные и неподвижные УВ. Предложенные методические подходы были опробованы на других скважинах участка в отложениях доманикового типа и площадях распространения доманиковой формации в Оренбургской области. В результате многократного практического применения и тестирования разработанной методики подтверждена ее эффективность.

Заключение. Основы интерпретации данных ГИС при выделении эффективных нефтенасыщенных толщин обоснованы геолого-геофизическими и геохимическими свойствами отложений доманикового типа.

Ключевые слова: отложения доманикового типа, интерпретация ГИС, нетрадиционный коллектор, битуминозность, смолисто-асфальтеновые вещества, подвижные углеводороды

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Для цитирования: Заграновская Д.Е., Исаева С.И., Захарова О.А. Основы интерпретации данных ГИС для выделения перспективных отложений доманикового типа франско-фаменского возраста. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):61—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-61-72>

Статья поступила в редакцию 01.07.2020

Принята к публикации 09.07.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

FUNDAMENTALS OF WELL LOGGING DATA INTERPRETATION FOR DETERMINING PROSPECTIVE FRASNIAN-FAMENNIAN DOMANIK DEPOSITS

DZHULIYA E. ZAGRANOVSKAYA*, SVETLANA I. ISAEVA, OKSANA A. ZAKHAROVA

*Gazprom Neft's Science and Technology Center
75—79 lit. D, Emb. river Moyka, Saint-Petersburg 190000, Russia*

ABSTRACT

Background. In the process of studying productive Domanik deposits of the Frasnian-Famennian, numerous uncertainties arise in identifying their effective thickness. Although several approaches have been recently proposed for identifying promising intervals in Domanik sediments, e.g. determination of the effective thickness using gas logging during geological and technical studies, the use of the interpretation method presented in the article and other methods continue to develop. Therefore, studies aimed at increasing their efficiency remain to be relevant.

Aim. To develop basic methodological approaches to interpretation of well logging data with the purpose of identifying promising Domanik deposits rich in mobile hydrocarbons.

Materials and methods. Geological and geophysical data obtained when investigating the wells of the according to published data of geological and geophysical resources of drilled wells in the Buzuluk depression were used to build the main well logging dependencies. In addition, the materials of core and geophysical studies of wells in the Volga-Ural oil and gas basin conducted by Gazprom Neft (PJSC) were used. Extended well logging data were collected for the wells under consideration. A number of tests and core studies, including geochemical experiments, which were carried out in deposits of Fran age, the density of resources of 5—10 samples per 1 meter of core.

Results. For the first time, basic methodological approaches for identifying effective oil-saturated strata in Domanik sediments according to well logging data were developed. The developed approaches are based on the integration of geological-geophysical and geochemical data characterizing the material and mineralogical composition of rocks, the content of organic matter, the group composition of hydrocarbons and the genesis of reservoirs. In the section under study, rocks saturated with hydrocarbons were identified. The hydrocarbons were different in terms of group composition, which determined their mobility. Boundary values were obtained when interpreting data obtained by well logging methods for Domanik rocks containing mobile and stationary hydrocarbons. The proposed methodological approaches were tested on other wells in the Domanik deposits in the Orenburg region. As a result of repeated practical application and testing of the developed methodology, its effectiveness was confirmed.

Conclusions. The proposed basic methodological approaches for interpretation of well logging data when identifying effective oil-saturated strata were substantiated by the geological-geophysical and geochemical properties of Domanik deposits.

Keywords: domanik rocks, geophysical research, unconventional reservoir, bituminous, resinous-asphaltene substances, mobile hydrocarbons

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

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

For citation: Zagranovskaya D.E., Isaeva S.I., Zakharova O.A. Fundamentals of well logging data interpretation for determining prospective Frasnian-Famennian Domanik deposits. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):61—72. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-61-72>

Manuscript received 01 July 2020

Accepted 09 July 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Отложения доманикового типа Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна давно привлекают своим нефтегазоносным потенциалом многие нефтяные компании. Рассматриваемый объект характеризуется сложным строением и до сих пор является предметом изучения, хотя вскрывается многими глубокими скважинами, пробуренными на нижележащие нефтегазоносные горизонты. Керновый материал из отложений доманикового типа лишь в последнее время начали целенаправленно отбирать и изучать в полном объеме, поэтому основная геолого-геофизическая информация об объекте заключена в данных выполненного комплекса ГИС (геофизические исследования скважин), методические приемы комплексной интерпретации которого показаны в представленной работе.

В публикации впервые показаны основы интерпретации ГИС для выделения эффективных нефтенасыщенных толщин в отложениях доманикового типа с учетом выявленных геолого-геофизических и геохимических особенностей отложений, определяемых с целью достоверной оценки запасов и ресурсного потенциала отложений.

В работе использованы опубликованные данные геолого-геофизических исследований скважин Бузулукской впадины, на основании которых построены основные зависимости ГИС (эти скважины участвовали в составлении временных методических рекомендаций), а также материалы керновых и геофизических исследований скважин ПАО «Газпром нефть» на территории Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. В рассматриваемых скважинах выполнен расширенный комплекс ГИС, проведены испытания и керновые исследования, включая геохимические.

Исследования проводились отдельно для каждого яруса фаменского и франского возраста и далее в целом для всего интервала отложений доманикового типа.

Концептуальное строение отложений доманикового типа

Отложения доманикового типа представляют собой кремниво-карбонатные и карбонатно-кремниевые породы со сланцевой текстурой, с прослоями карбонатных брекчий, известняков и вторичных доломитов, с повышенным содержанием органического вещества (ОВ). Отложения характеризуются тонким переслаиванием пропластков кремниевых и карбонатных пород с содержанием ОВ и углеводородов (УВ) различного группового состава. Основной особенностью отложений является повышенное содержание органического вещества [11], наличием битуминозности или смолисто-асфальтеновых веществ (САВ), а также подвижных углеводородов (УВ) — нефти. Битуминозность отложений обусловлена присутствием рассеянного органического вещества (ОВ) в матрице породы и наличием битуминозности в стилолитах, внутри раковин тентакулит, в межкристаллической пустотности, в отдельных прослоях и в прожилках [5].

Областью аккумуляции подвижных УВ являются кремнистые и доломитизированные карбонатные пропластки с наличием остатков и фрагментов характерной фауны, водорослей, образующие чередующиеся прослои по 0,2—0,5 м [8]. Пустотное пространство в отложениях доманикового типа формируется в результате метасоматических процессов и представлено трещинами, кавернами, межзернистой, межкристаллической пористостью и собственно органической пористостью (пористостью керогена). Для отложений доманикового типа, в основном в депрессионной части разреза, характерна «закрытая» система нефтегазоаккумуляции, где основные преобразования происходят за счет перераспределения вещества внутри комплекса в результате физико-химических свойств вещества, т.е. растворение,

кристаллизация, уплотнения и других процессов при катагенезе, т.е. без привноса и выноса вещества по системе разломов, секущих объект [8].

Таким образом, при выделении эффективных нефтенасыщенных толщин по данным ГИС в доманиковых продуктивных отложениях необходима информация о вещественном и минералогическом составе пород, вторичных процессах, изменивших матрикс породы и ОВ, представление о генезисе нетрадиционных коллекторов, содержании и типе органического вещества [8] и геохимические данные по групповому составу УВ и их свойствах.

Методические подходы к интерпретации

По данным кернового материала скважин в разрезе отложений франского и фаменского возраста среди плотных карбонатных пород выделяются пропластки, обогащенные органическим веществом, которые условно разделяются на нефтематеринские породы (НМП) с пористостью до 9% и более плотные пропластки, пустотное пространство которых заполнено неподвижными углеводородами (САВ). В отложениях доманикового типа также прослеживаются спорадически (нерегулярно) развитые коллекторы с пористостью выше 4%, так называемые естественные коллекторы (ЕК), характеризующиеся свойствами традиционных коллекторов.

Как отмечалось выше, характерной особенностью изучаемого разреза является высокая слоистость продуктивной части. По керновым данным в отложениях наблюдаются прослои, которые не превышают толщину 0,2 м. Этот факт значительно усложняет достижение цели создания методических подходов к интерпретации каротажа, пространственная разрешающая способность которого составляет не менее 0,4 м. Однако, несмотря на неоднозначность и недостаточную изученность рассматриваемых отложений, в отложениях доманикового типа франского и фаменского возраста удалось выделить эффективную часть разреза и рассмотреть возможные методические подходы к интерпретации ГИС.

На первом этапе при интерпретации данных ГИС важно разделить породы с повышенным содержанием органического вещества (НМП) от вмещающих карбонатов. Для этого по геохимическим определениям нефтематеринские породы были разграничены по содержанию органического углерода (Сорг) с отсечкой по значению более 1,5%. Необходимо отметить, что замеры органического вещества ТОС (содержание органического углерода)

получены с помощью пиролиза Rock Eval, далее по тексту — Сорг. При интерпретации ГИС выделили пропластки с граничным значением по урановой составляющей спектрального гамма-каротажа (ГК-С), которая имеет корреляционную связь [8] с выделенными прослоями по Сорг более 1,5%. Для расчета содержания органического вещества использовалась зависимость типа «кern — ГИС», которая показывает, как урановая составляющая спектрального гамма-каротажа (ГК-С) связана с Сорг [8]. Полученный коэффициент корреляции для этих характеристик составляет 0,56, его невысокое значение указывает на редкий отбор образцов керна на геохимические исследования, который частично охватывает рассматриваемый интервал и не отражает полного представления о содержании органического вещества в разрезе, а также невысокую разрешающую способность ГИС. При использовании теплофизического каротажа на керне [9] для скважин по результатам профилирования теплопроводности получают непрерывный профиль Сорг по всему разрезу [10], что позволяет получить данные о существенно более тесной связи урановой составляющей по данным ГК-С с величиной Сорг. Так как непрерывный теплофизический каротаж еще не выполнялся в рассматриваемых скважинах, в последующих работах при проведении полного комплекса геолого-геофизических исследований, включая теплофизический, будут использованы более точные корреляционные зависимости «кern — ГИС» «Сорг-теплопроводность — ГК».

Так как отложения франского и фаменского ярусов чуть отличаются литологическим составом пород и распределением УВ по разрезу, на начальном этапе исследований для выделения коллекторов с повышенным содержанием Сорг более 1,5% граничные значения урановой составляющей устанавливались для каждого стратиграфического интервала отдельно и составили 5,8% для франского и 5% для фаменского ярусов. Однако в процессе анализа данных для выделения пород с повышенным Сорг граничное значение приняли единым для всего интервала, так как разница в значениях при разделении на стратиграфические интервалы не существенна и логичнее рассматривать весь интервал в целом. В итоге граничное значение по урановой составляющей принято в 5,3% в целом для всего франско-фаменского интервала (рис. 1а).

Для выделения вмещающих пород и пород с повышенным Сорг были получены также граничные отсечки по данным акустического каротажа

и водородосодержанию. На рисунках 16 и 1в представлены гистограммы для интервала франско-фаменского возраста в целом. Принятая отсечка по данным акустического каротажа, характеризующая возможные зоны разуплотнения, для всего интервала составила 190 мкс/м (рис. 16).

Принятая отсечка по водородосодержанию, характеризующая пустотное пространство породы, для всего интервала с разделением пород с граничным значением по ТОС в 1,5% составила 6,3% (рис. 1в).

Как отмечалось ранее, породы с повышенным содержанием Сорг (НМП) можно разделить на породы с различными насыщающими их углеводородами по групповому составу, определяющему их подвижность. Так, нефтематеринские породы (НМП) подразделяются на пропластки с подвижными УВ [4] и битуминозными прослоями с содержанием смолисто-асфальтеновых веществ — с неподвижными УВ (САВ), которые из-за длины молекул не способны мигрировать через карбонатные толщи. По данным исследований керна и шлифов наблюдаются прослои, в которых коллекторские свойства занижены или вообще отсутствуют за счет заполнения пустотного пространства смолисто-асфальтеновыми веществами, т.е. неподвижными УВ, и также выделяются прослои с повышенной пористостью. Распределение битуминозности в породах доманикового типа показано на шлифах (рис. 1), где битуминозность развита в межкристаллическом пространстве и по стилолитам в интракластовом (обломки водорослевого известняка) полибиодетритово-микритовом доломитистом известняке. Также битуминозность наблюдается в межкристаллическом пространстве в известняках (рис. 2а, б). По данным ГИС для данного разделения использовалось граничное значение по боковому каротажу — 870 Ом. Отмечаются пропластки с наличием смолисто-асфальтеновых веществ в карбонатных породах, для которых характерны очень высокие сопротивления, до 10 000 Ом. Принятое граничное значение обосновывает выделение пропластков с САВ в толще породы с повышенным содержанием Сорг (НМП).

Для разделения высокопористых обогащенных Сорг пропластков от пропластков, содержащих САВ с низкими коллекторскими свойствами интервала франско-фаменского возраста, также получено граничное значение сопротивления по боковому каротажу, которое составляет 870 Ом (рис. 3). Стоит отметить, что данное значение для всего интервала аналогично и для франского яруса, если его рассматривать отдельно без фаменского яруса.

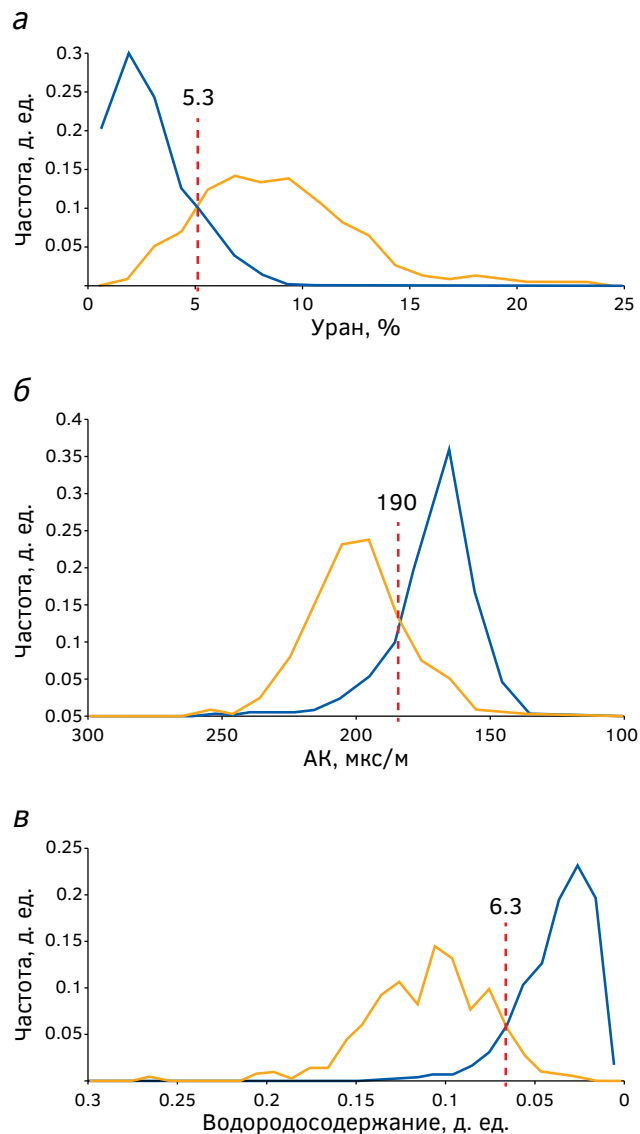


Рис. 1. Граничное значение разделения пород.

а) с повышенным содержанием Сорг, более 1,5% от вмещающих по урановой составляющей ГК-С (спектральный гамма-каротаж); б) по акустическому каротажу для всего интервала; в) по водородосодержанию для всего интервала. Оранжевым цветом на рисунке представлены НМП, синим — вмещающая порода

Fig. 1. Boundary value of rock separation. а) with an increased TOC more than 1.5% from those containing the uranium component of SGR (spectral gamma-ray logging); б) by acoustic logging for the entire interval; в) by hydrogen content for the entire interval. The orange color in the drawing represents the OPR (oil-producing rocks), and the blue color represents the host rock

Битуминозные прослои характеризуются отсутствием пористости, что косвенно подтверждает

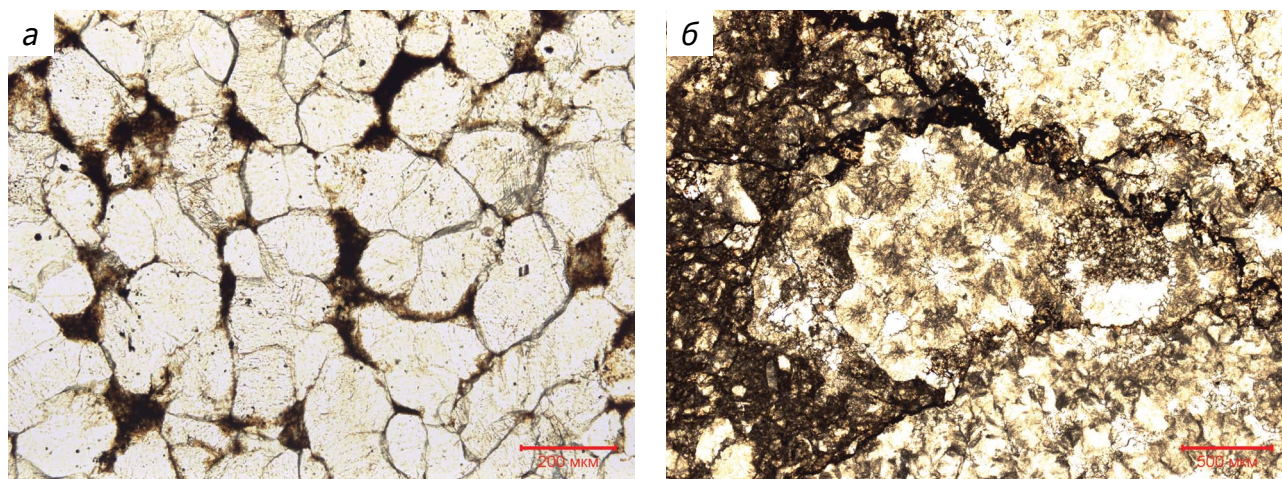


Рис. 2. Шлифы. Распределение битуминозности в породах доманикового типа. а — кристаллический известняк, битуминозность в межкристаллическом пространстве; б — интракластовый (обломки водорослевого известняка) полибиодетритово-микритовый доломитистый известняк. Коричневая битуминозность в межкристаллическом пространстве и по стилолитам. Описание шлифов — Газпромнефть НТЦ

Fig. 2. Thin sections. The distribution of bituminosity in the rocks of the domanik type. а — crystalline limestone bituminous in the inter-crystalline space; б — intraclastic (fragments of algal limestone) polybiodebritite-micrite dolomitic limestone. Brown bituminous content in the intergranular space and on stylolites. The description of thin sections — Gazpromneft NTC

их причастность к плотным породам, содержащим смолисто-асфальтеновые вещества, которые относятся к неподвижным УВ.

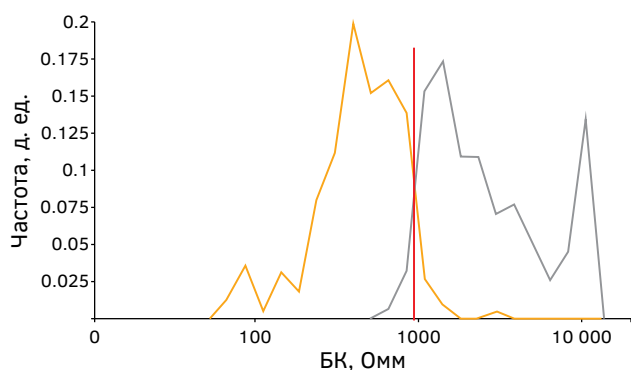


Рис. 3. Граничное значение сопротивления для выделения пористых пород, содержащих *Sorg* (НМП), и битуминозных пород с неподвижными УВ (СAB) для интервала франско-фаменского возраста по боковому каротажу. Оранжевым цветом на рисунке представлены НМП, серым — битуминозные пропластки (СAB)

Fig. 3. The boundary value of the resistance for the selection of porous rocks containing TOC (OPR) and bituminous rocks with fixed RAS (resinous-asphaltene substances) for the Franco-famen age interval by lateral logging. The orange color in the drawing represents the OPR, and the gray color represents the bituminous patches (RAS)

Ранее, при исследовании Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ), была разработана методика выделения эффективных толщин в битуминозных пермских отложениях (г. Тверь) [2]. В результате битуминозные участки разреза и пласты, выявляемые по данным БК и ГК, исключаются из разряда возможных коллекторов независимо от величины пористости. Это связано с тем, что авторы методики рассматривали отложения с наличием только битуминозных пропластков (СAB) с неподвижным флюидом. Хотя в разрезе кроме СAB отмечаются пропластки карбонатных пород с высоким содержанием *Sorg* и наличием подвижных углеводородов (аналогичных породам доманикового типа), в результате интерпретации по методике [2] большая часть коллекторов с органической пористостью остается не учтенной, что сильно занижает нефтегазоносный потенциал рассматриваемых «сланцевых» отложений.

Нами предлагается рассматривать свойства пород с учетом группового состава углеводородов, которые рекомендуется разделить по физическим свойствам на подвижные и неподвижные.

Объемная минералогическая модель

В целом, отложения доманикового типа характеризуются низкими коллекторскими свойствами. Но следует отметить, что наблюдается преимущественная обогащенность органическим

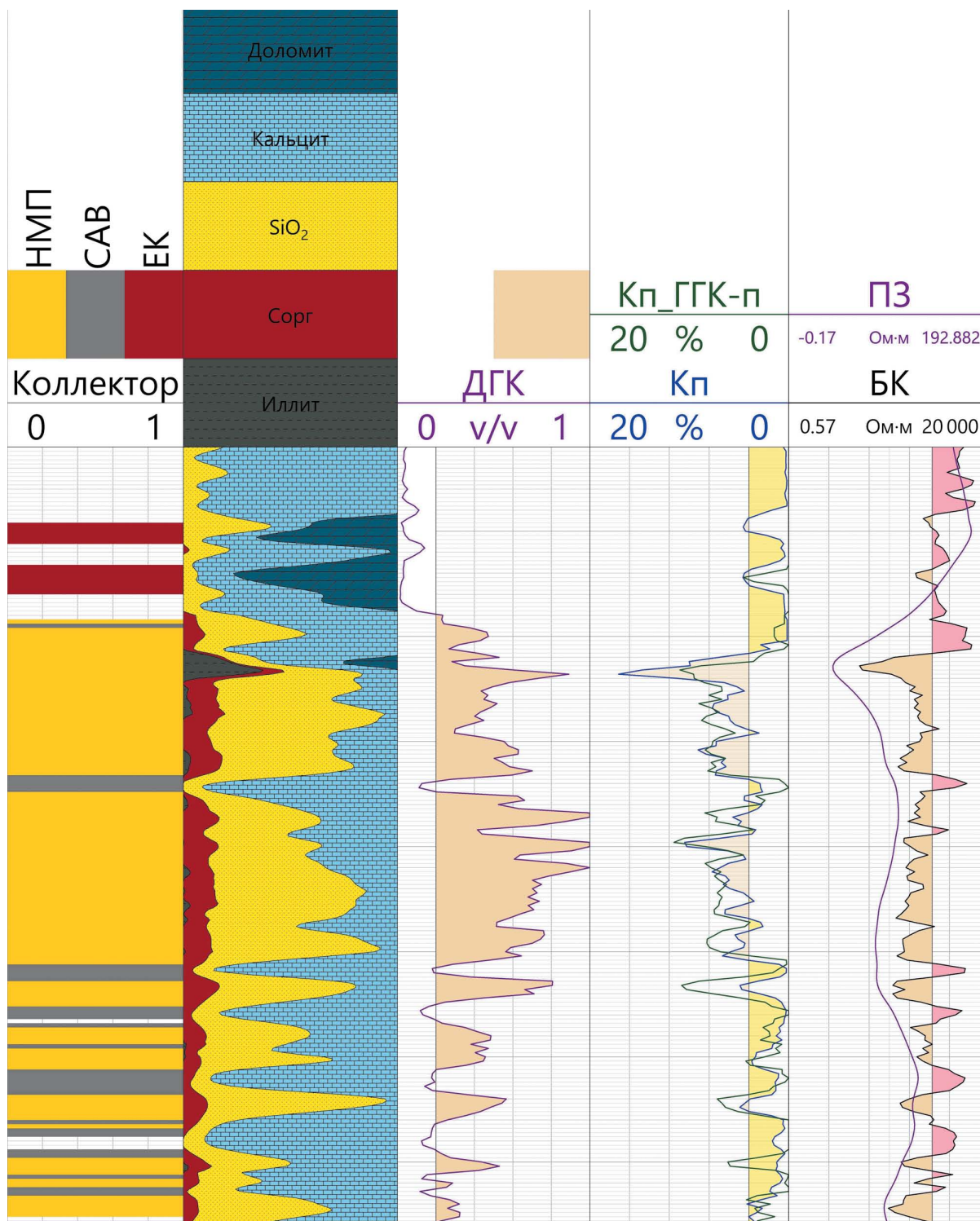


Рис. 4. Объемная минералогическая модель для отложений доманикового типа фаменского яруса. ДГК — двойной разностный параметр по гамма-каротажу; Kp — коэффициент пористости по комплексу методов ГИС; Kп_ГГК-п — коэффициент пористости по плотностному каротажу; ПЗ — каротаж сопротивления, потенциал-зонд; БК — боковой каротаж

Figure 4. Volume mineralogical model for domanic type deposits of the famen tier. DGR — gamma ray delta; Kp — porosity coefficient for a complex of well-logging; Kp_ggk-p — porosity coefficient for density logging; PZ — resistance logging; BK — lateral log resistivity

веществом (Сорг) отдельных литологических разностей пород. Более высокие значения Сорг находятся в поле пород с высокой кремнистостью и повышенной пористостью. Развитие естественных коллекторов с более низким содержанием Сорг характеризуется вторичной доломитизацией (рис. 4) [3, 7]. На рисунке 4 данные интервалы выделены голубым цветом.

Вероятно, что наличие высоких показаний гамма-каротажа связано с присутствием глинистости в этих отложениях, однако отложения доманикового типа состоят в основном из карбонатных и кремнистых пород и содержат менее 3—5% глинистого вещества в разрезе. Для удобства использования гамма-каротажа при интерпретации использовался двойной разностный параметр (ΔJ_v). Максимальные значения ГК принимались в выдержанных радиоактивных интервалах, а наименьшие показания ГК — против чистых неглинистых карбонатных пород. При сопоставлении минерального состава с данными ГИС в отложениях доманикового типа наличие пористости наблюдается как в кремниевых [12], так и в доломитизированных породах [7]. Анализируя вещественный и минералогический состав породы, можно сделать выводы, что пористость в кремниевых и доломитизированных породах доманикового типа является органической [3], однако для более однозначного вывода требуется дополнительное изучение шлифов. Для определения пористости по данным ГИС в доманиковых продуктивных отложениях построена объемная минералогическая модель на основании системы линейных петрофизических уравнений [6]. Оценка пористости проводилась путем комплексирования акустического, плотностного и нейтронного методов.

Входными параметрами являлись данные метода ECS (литосканер), акустического и плотностного каротажа и оценки водородосодержания по нейтронному каротажу. Данные взаимосвязи описываются системой линейных петрофизических уравнений:

$$\Delta T = (1 - K_p) \times \Delta T_{\text{СК}} + K_p \times \Delta T_{\text{Ж}}, \quad (1)$$

$$\rho = (1 - K_p) \times \rho_{\text{СК}} + K_p \times \rho_{\text{Ж}}, \quad (2)$$

$$W = (1 - K_p) \times W_{\text{СК}} + K_p \times W_{\text{Ж}}, \quad (3)$$

где ΔT — интервальное время, мкс/м; $\Delta T_{\text{СК}}$ и $\Delta T_{\text{Ж}}$ — интервальное время в твердой и жидкой фазе для основных пород, мкс/м; ρ — плотность пород по данным плотностного каротажа; $\rho_{\text{СК}}$, $\rho_{\text{Ж}}$ — плотность в твердой и жидкой фазе для основных пород; W — водородосодержание.

Рассчитанная по каротажу пористость (K_p по ГИС) имеет тесную корреляционную связь с пористостью, определенной по керну.

Следующим этапом интерпретации отложений доманикового типа являлось выделение естественного коллектора.

ЕК называется порода, способная вмещать флюид и отдавать его в любых, даже незначительных количествах без стимуляции коллектора [8]. Обычно ЕК характеризуется наличием прямых признаков по каротажу (радиальный градиент сопротивлений, измеренных зондами с разной глубиной исследований и сужение диаметра скважин, зафиксированное на кривой кавернометрии), однако в разрезе фаменского и франского возраста зачастую отсутствуют прямые признаки, что значительно усложняет выделение коллектора. В таких случаях ЕК выделяется по следующим геофизическим характеристикам:

- наличие разуплотнения по методам акустики и плотности,
- содержание органического вещества (Сорг) ниже 1,5%,
- пониженные показания гамма-каротажа и нейтронных методов,
- пористость выше 4%,
- повышенные газопоказания (данный метод носит ориентировочный характер и требует уточнения границ выделяемого коллектора) [1].

На рисунке 5 представлен пример выделения ЕК. По данным ГИС видно, что наличие ЕК подтверждено испытаниями, однако интервалы естественных коллекторов имеют высокие значения электрического сопротивления, что, вероятно, связано с тонкослоистостью разреза. Также на планшете видно, что аномалия, выделенная по газовому каротажу носит косвенный характер и, однозначно, требует уточнения границ выделяемых коллекторов [12].

Предложенные методические подходы были опробованы на других скважинах участка в отложениях доманикового типа и площадях распространения доманиковой формации в Оренбургской области. В результате многократного практического применения и тестирования разработанной методики подтверждена ее эффективность.

Выводы

1. Впервые охарактеризованы методические подходы выделения эффективных толщин для отложений доманикового типа по данным ГИС с целью достоверной оценки запасов и ресурсного потенциала.

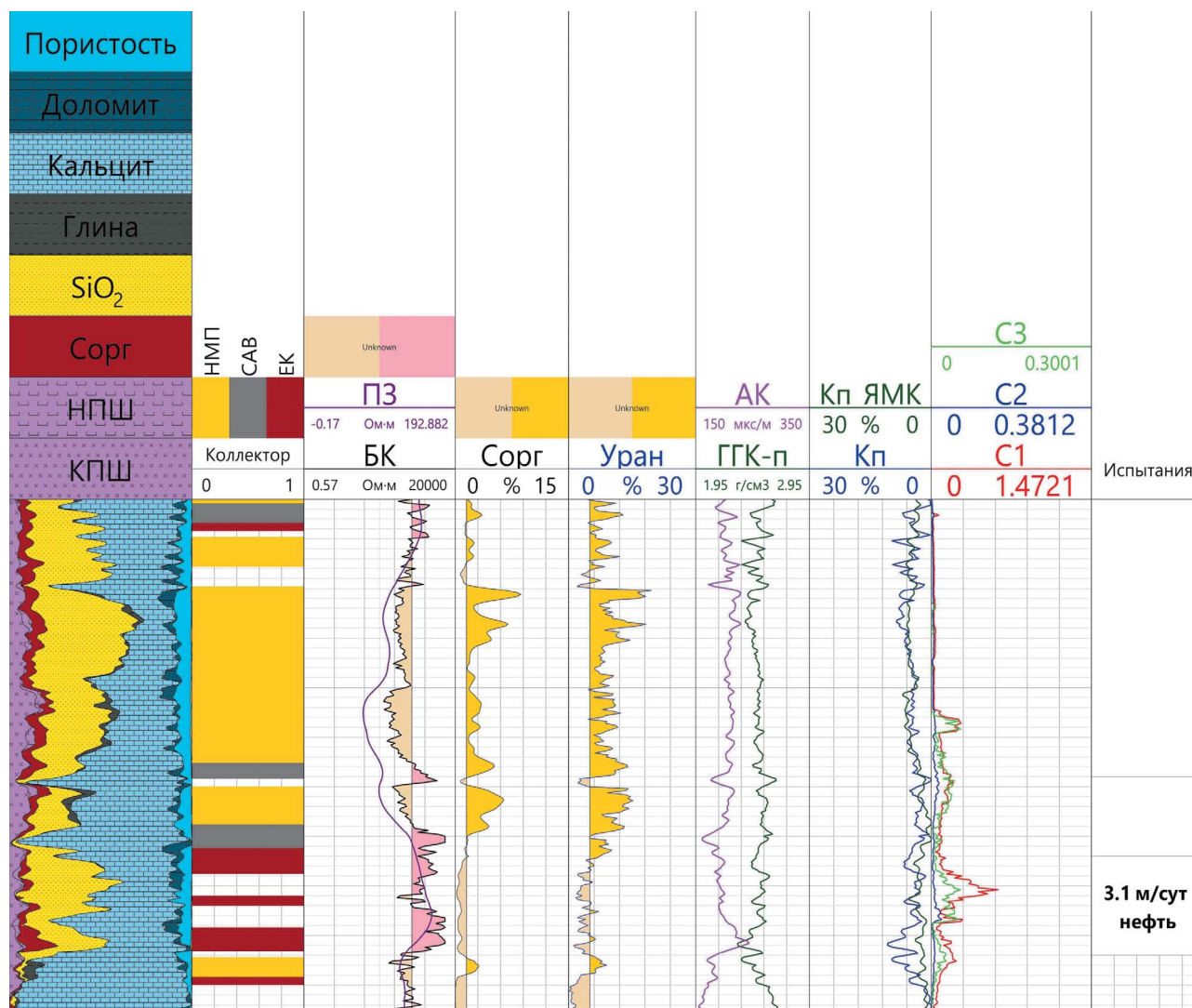


Рис. 5. Пример выделения естественных коллекторов для отложений доманикового типа франского яруса. ПЗ — каротаж сопротивления, потенциал-зонд; БК — боковой каротаж; Сорг — содержание органического углерода; Уран (ГК-С) — урановая составляющая по ГК-С; АК — акустический каротаж; ГГК-п — плотностной каротаж; Кп — коэффициент пористости по комплексу методов ГИС; Кп_ЯМК — коэффициент пористости по ядерно-магнитному каротажу; C1, C2, C3 — содержание углеводородных газов по газовому каротажу. Красной пунктирной линией на рисунке обозначена область ЕК

Fig. 5. Example of allocation of natural reservoirs for deposits of the domanic type of the Fran tier. PZ — resistance logging, potential-probe; BK — lateral log resistivity; TOC — organic carbon content; Uranium (SGR) — the uranium component of SGR; AK — compressional slowness; GKG-p — bulk density; KP — porosity coefficient for a complex of well-logging methods; KP_NMR — porosity coefficient for nuclear magnetic logging; C1, C2, C3 — the content of hydrocarbon gases for gas logging. The red dotted line in the drawing indicates the NR (natural reservoir) area

2. Основы интерпретации данных ГИС при выделении эффективных нефтенасыщенных толщин обоснованы на выявленных геолого-геофизических и геохимических особенностях отложений.

3. В разрезе выделены из вмещающих кремнисто-карбонатных пород — собственно нефтематеринские породы (НМП), в которых выделяются

пропластки, содержащие смолисто-асфальтеновые вещества (САВ).

4. Естественные коллекторы (ЕК), спорадически развитые по всему разрезу.

5. Впервые показаны граничные значения по комплексу ГИС для разделения отложений, обогащенных органическим углеродом франско-

фаменского возраста на пропластки с содержанием углеводородов различной подвижности.

6. Выявленные граничные значения по методам ГИС для франского и фаменского ярусов различаются, однако в целом это не приводит к существенной разнице по эффективным нефтенасыщенным толщинам.

7. Более точные корреляционные зависимости по содержанию органического вещества «керна-ГИС» будут получены только при применении непрерывного теплофизического профилирования на керне.

8. Выделение эффективной части разреза для отложений доманикового типа исследуемых площадей определено следующими граничными критериями по данным геофизических исследований скважин:

- урановая составляющая (по ГК-С) $\geq 5,3\%$,

- акустическая плотность (по акустическому каротажу) $\geq 190 \text{ US/M}$,

- водородосодержание (по нейтронному каротажу) $\geq 6,3\%$.

9. Граничное значение сопротивления для разделения пропластков с учетом группового состава УВ и их подвижности (САВ и нефть) по БК составляет 870 Ом.

10. Выделение спорадически развитого естественного коллектора характеризуется:

- минимальными показаниями плотностного каротажа,
- максимальными показаниями акустического каротажа,
- граничным коэффициентом пористости, равным 4%,
- подтверждением по результатам испытаний и аномальных значений по газовому каротажу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданович Н.Н., Десяткин А.С., Добрынин В.М. Геофизические исследования скважин. М.: Инфра-Инженерия, 2009. 960 с.
2. Боярчук А.Ф. Разработка методики определения параметров продуктивных пластов с учетом их битуминозности в сакмаро-артинских отложениях Восточного участка Оренбургского месторождения по данным ГИС и петрофизических исследований // Научно-исследовательская работа. ОАО НПЦ. Тверьгеофизика, 2006. 84 с.
3. Вашкевич А.А., Стрижнев К.В., Шашель В.А., Захарова О.А., Заграновская Д.Е., Морозов Н.В. Геолого-геофизические особенности строения отложений доманикового типа, влияющие на оценку запасов и ресурсного потенциала УВ // Нефтяное хозяйство. 2019. № 12. С. 16—20.
4. Вашкевич А.А., Стрижнев К.В., Шашель В.А., Захарова О.А., Касьяненко А.А., Заграновская Д.Е., Гребенкина Н.Ю. Прогноз перспективных зон для отложений доманикового типа на территории Волго-Уральской НГП // Нефтяное хозяйство. 2018. № 12. С. 14—17.
5. Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Артюшкова О.В., Заграновская Д.Е., Захарова О.А. Вторичное минералообразование в породах доманикового горизонта // Фациальный анализ в литологии: теория и практика. М.: МАКС Пресс, 2019. С. 38—40.
6. Джеббар Туаб. Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов. Кидлингтон: Эльзевир, 2016. 894 с.
7. Заграновская Д.Е., Коробов А.Д., Стрижнев К.В., Жуков В.В. Определение генезиса нетрадиционных коллекторов с целью картирования перспективных площадей свободной нефти в отложениях баженовского горизонта на примере Пальяновской площади Красноленинского месторождения // Недропользование XXI век. 2017. № 1. С. 24—35.
8. Петерсилье В.И., Пороскун В.И., Яценко Г.Г. Методические Рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. М.: ВНИГНИ, НПЦ Тверьгеофизика, 2003. 258 с.
9. Попов Ю.А., Попов Е.Ю., Чехонин Е.М., Габова А.В., Ромушкевич Р.А., Спасенных М.Ю., Заграновская Д.Е. Исследование баженовской свиты с применением непрерывного профилирования тепловых свойств на керне // Нефтяное хозяйство. 2017. № 3. С. 22—27.
10. Попов Е.Ю., Габова А.В., Карпов И.А., Заграновская Д.Е., Ромушкевич Р.А., Спасенных М.Ю., Чехонин Е.М., Попов Ю.А. Связь теплопроводности и естественной радиоактивности пород баженовской свиты по данным гамма-каротажа, гамма-спектрометрии и теплофизического каротажа на керне EAGE «Геомодель-2016». Геленджик, РФ, 12—16 сентября, 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602271>
11. Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Коробова Н.И., Фадеева Н.П., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Сауткин Р.С., Пронина Н.В., Большакова М.А., Завьялова А.П., Чупахина В.В., Петракова Н.Н., Мифтахова А.А. Доманиковые отложения Волго-Уральского бассейна — типы разреза, условия формирования и перспективы нефтегазоносности // Георесурсы, Спецвыпуск. 2017. Ч. 1. С. 112—124.
12. Ульмишек Г.Ф., Шаломеев А.В., Холтон Д.Ю. и др. Нетрадиционные резервуары нефти в доманиковой толще Оренбургской области // Геология нефти и газа. 2017. № 5. С. 67—77.

REFERENCES

1. Bogdanovich N.N., Desyatkin A.S., Dobrynin V.M. Geophysical studies of wells. Moscow: Infra-Engineering, 2009. 960 p. (In Russian).
2. Boyarchuk A.F. Development of a method for determining the parameters of productive layers with their bituminous content in the sakmar-Artin deposits of the Eastern section of the Orenburg field according to GIS and petrophysical research // Research work. JSC NPC Tergeofizika, 2006. 84 p. (In Russian).
3. Vashkevich A.A., Strizhnev K.V., Shashel V.A., Zakharova O.A., Zagranovskaya D.E., Morozov N.V. Geological and geophysical features of the structure of domanic deposits that affect the assessment of reserves and resource potential of hydrocarbons // Oil economy. 2019. No. 12. P. 16—20 (In Russian).
4. Vashkevich A.A., Strizhnev K.V., Shashel V.A., Zakharova O.A., Kasyanenko A.A., Zagranovskaya D.E., Grebenkina N.Y. Forecast of perspective zones for domanic type deposits on the territory of the Volga-Ural NGP // Oil economy. 2018. No. 12. P. 14—17 (In Russian).
5. Gorozhanin V.M., Gorozhanina E.N., Artyushkova O.V., Zagranovskaya D.E., Zakharova O.A. Secondary mineral formation in rocks of the Domanic horizon // Facial analysis in lithology: theory and practice. Moscow: MAKSPress, 2019. P. 38—40 (In Russian).
6. Djebbar Tiab. Petrophysics. Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties. Kidlington: Elsevier, 2016. 894 p. (In Russian).
7. Zagranovskaya D.E., Korobov A.D., Strizhnev K.V., Zhukov V.V. Determining the Genesis of unconventional reservoirs for the purpose of mapping promising areas of free oil in the deposits of the Bazhenov horizon on the example of the Palyanovskaya area of the Krasnoleninsky field // Subsoil Use of the XXI century. 2017. No. 1. P. 24—35 (In Russian).
8. Petersilye V.I., Poroskun V.I., Yatsenko G.G. Methodological Recommendations for calculating the geological reserves of oil and gas by volumetric method. Moscow: VNIGNI, NPTS Tergeofizika, 2003. 258 p. (In Russian).
9. Popov Y.A., Popov E.Y., Chehonin E.M., Gabova A.V., Romushkevich R.A., Spasennykh M.Y., Zagranovskaya D.E. Research of the Bazhenov formation using continuous profiling of thermal properties on the core // Oil economy. 2017. No. 3. P. 22—27 (In Russian).
10. Popov E.Y., Gabova A.V., Karpov I.A., Zagranovskaya D.E., Romushkevich R.A., Spasennykh M.Yu., Chehonin E.M., Popov Y.A. Connection of thermal conductivity and natural radioactivity of rocks of the Bazhenov formation according to gamma-ray logging, gamma-spectrometry and thermophysical logging on the core EAGE “Geomodel-2016”, Gelendzhik, Russia, September 12—16, 2016. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602271> (In Russian).
11. Stupakova A.V., Kalmykov G.A., Korobova N.I., Fadeeva N.P., Gatovsky Yu.a., Suslova A.A., Sautkin R.S., Pronina N.V., Bolshakova M.A., Zavyalova A.P., Chupakhina V.V., Petrakova N.N., Miftakhova A.A. Domanic deposits of the Volga-Ural basin-types of section, conditions of formation and prospects of oil and gas potential // Geo Resources, Special Issue. 2017. Part 1. P. 112—124 (In Russian).
12. Ulmishak G.F., Shalomeenko A.V., Holton D.Y., et al. Unconventional oil reservoirs in the domanic thickness of the Orenburg region // Geology of oil and gas. 2017. No. 5. P. 67—77 (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Заграновская Д.Е. — внесла вклад в геологический анализ региона и изучаемых отложений, разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Исаева С.И. — внесла вклад в геофизический анализ и интерпретацию скважин, выполнила перевод на английский язык, подготовила иллюстрации к статье, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Захарова О.А. — инициировала работы по разработке методики интерпретации отложений доманикового типа, согласовала публикуемую версию и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dzhuliia E. Zagranovskaya — contributed to the geological analysis of the region and the studied deposits, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Svetlana I. Isaeva — contributed to the geophysical analysis and interpretation of wells, translated into English, prepared illustrations for the article, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Oksana A. Zakharova — initiated work on the development of methods for interpretation of domanic rocks, agreed on the published version and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Заграновская Джулия Егоровна* — эксперт по оценке запасов нетрадиционных коллекторов департамента региональной геологии ООО «Газпромнефть НТЦ»

75—79, лит. Д, наб. реки Мойки, г. Санкт-Петербург 190000, Россия

e-mail: Zagranovskaya.DE@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 35390675500

SPIN-код: 7975-3633

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9288-8021>

Dzhuliia E. Zagranovskaya* — expert on estimation of unconventional reservoir reserves in the Department of regional Geology of “Gazprom Neft's Science and Technology Center”

75—79 lit. D, Emb. river Moyka, Saint-Petersburg 190000, Russia

e-mail: Zagranovskaya.DE@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 35390675500

SPIN: 7975-3633

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9288-8021>

Исаева Светлана Игоревна — главный специалист геофизик департамента геологической поддержки проектов ООО «Газпромнефть НТЦ»

75—79, лит. Д, наб. реки Мойки, г. Санкт-Петербург 190000, Россия

e-mail: Isaeva.SI@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 57205613181 (Chizhova, S.)

SPIN-код: 7127-5940

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-5625>

Svetlana I. Isaeva — main specialist of geophysical Department of geological support of projects of “Gazprom Neft's Science and Technology Center”

75—79 lit. D, Emb. river Moyka, Saint-Petersburg 190000, Russia

e-mail: Isaeva.SI@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 57205613181 (Chizhova, S.)

SPIN: 7127-5940

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8033-5625>

Захарова Оксана Александровна — начальник департамента региональной геологии ООО «Газпромнефть НТЦ»

75—79, лит. Д, наб. реки Мойки, г. Санкт-Петербург 190000, Россия

e-mail: Zaharova.OA@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 57194049790

SPIN-код: 5949-5111

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0992-8660>

Oksana A. Zakharova — head of the regional Geology Department of “Gazprom Neft's Science and Technology Center”

75—79 lit. D, Emb. river Moyka, Saint-Petersburg 190000, Russia

E-mail: Zaharova.OA@gazpromneft-ntc.ru

Scopus Author ID: 57194049790

SPIN: 5949-5111

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0992-8660>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>
УДК 552.12.550.04.08



МИНЕРАЛОГООГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Cu-U-Au-ПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ КОН РА ПРОВИНЦИИ КОНТУМ, ВЬЕТНАМ

М.Ф. ДО^{1,2,*}, П.А. ИГНАТОВ¹, Т.Х. ФАН¹, З.Х. НГУЕН¹, Д. ЧАН²

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

² Геофизическое отделение Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама
1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой 100000, Вьетнам

АННОТАЦИЯ

Введение. В метаморфических породах Центрального Вьетнама в зонах их контакта с триасовыми интрузиями гранитов обнаружено комплексное Au-Cu-U-оруденение. Оно локализовано в тектонических брекчиях и катаклазитах, затронувших гранитоиды триаса и метаскарновые породы докембрия. Наибольшая дифференциация отмечается для тектонически нарушенных гранитов комплекса Хайван и метасоматически переработанных зон контактов этого комплекса с метакarbonатными и метакальтрамафическими породами комплекса Хамдык.

Цель — определение минерального и элементного состава комплексных проявлений Cu, U и Au в протерозойских породах провинции Контум Центрального Вьетнама.

Материалы и методы. Работа основана на данных, собранных во время работы в полевых условиях, аналитических лабораторных исследований, собранных авторами в период 2016—2019 гг. Диагностика минерального состава руд выполнена по 60 аншлифам. Химический состав руд определен по 214 пробам методами ICP MS и по 374 пробам атомной адсорбции во Вьетнамском центре геологического и экспериментального анализа, г. Ханой. Геохимические связи компонентов руд установлены методом многомерных статистических корреляций.

Результаты. Диагностирован минеральный состав, включающий пирротин, пирит, халькопирит, молибденит, магнетит, мартит, гематит, кубанит, марказит, золото, ксенотим, сфалерит, уранинит, халькозин, ковеллин, гетит, малахит и лимонит. Петрографический и петрохимический состав, геологическое положение метаморфических образований комплекса Хамдык и данные по изотопному возрасту позволяют считать их неопротерозойско-кембрийскими образованиями, испытавшими метаморфизм в ордовике.

Заключение. Намечена схема последовательности минералообразования. Результаты ICP MS первичных руд показали, что помимо Cu имеются концентрации Co, Mo, U, Au, Zn, Ni, V, Y, La и As. Установлена положительная корреляция между Cu, U и Au. Предложена модель гидротермального формирования руд.

Ключевые слова: Cu, U, Au, гидротермальная минерализация, корреляция, последовательность минералообразования, Контум

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: До М.Ф., Игнатов П.А., Фан Т.Х., Нгуен З.Х., Чан Д. Минералого-геохимические характеристики Cu-U-Au-проявлений в районе Кон Ра провинции Контум, Вьетнам. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):73—85.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>

Статья поступила в редакцию 18.03.2020

Принята к публикации 08.06.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

MINERAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS Cu-U-Au-MANIFESTATIONS IN THE KON RA REGION OF THE KON TUM PROVINCE, VIETNAM

MINH PHUONG DO^{1,2,*}, PETR A. IGNATOV¹, THI HONG PHAN¹, DUY HUNG NGUYEN¹, DUAN TRAN²

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

² *Geophysical Division, General Department of Geology and Minerals of Vietnam
1, Chien Thang street, Van Quan, Ha Dong, Hanoi 100000, Vietnam*

ABSTRACT

Background. Complex Au-Cu-U mineralization is found in the metamorphic rocks of central Vietnam in the zones of their contact with Triassic granite intrusions. It is localized in tectonic breccias and cataclasites, which affected Triassic granitoids and Precambrian metaskarn rocks. The greatest differentiation is observed for tectonically disturbed granites of the Hai Van complex and the metasomatically reworked zones of contacts of this complex with metacarbonate and metaultramafic rocks of the Kham Duc complex.

Aim. To determine the mineral and elemental composition of complex occurrences of Cu, U and Au in Proterozoic rocks of the Kon Tum province of central Vietnam.

Materials and methods. The work was based on the authors' data obtained during fieldwork and analytical laboratory studies in the 2016–2019 period. The diagnostics of ore mineral composition was carried out using 60 polished sections. The chemical composition of ores was determined for 214 samples by ICP MS and for 374 samples by atomic absorption spectrometry at the Vietnamese Centre for Geological and Experimental Analysis in the city of Hanoi. The geochemical relationships of ore components were established by the method of multivariate statistical correlations.

Results. The mineral composition includes pyrrhotite, pyrite, chalcopryite, molybdenite, magnetite, martite, hematite, cubanite, marcasite, gold, xenotime, sphalerite, uraninite, chalcocite, covellite, goethite, malachite and limonite. According to the petrographic and petrochemical composition, the geological position and the data on isotopic age, the metamorphic formations of the Kham Duc complex can be considered as Neoproterozoic-Cambrian formations having experienced metamorphism in the Ordovician.

Conclusion. A scheme of the sequence of mineral formation was outlined. ICP MS results of primary ores showed that, in addition to Cu, the formations under study contain concentrations of Co, Mo, U, Au, Zn, Ni, V, Y, La, and As. A positive correlation was found between Cu, U and Au. A model of hydrothermal ore formation was proposed.

Keywords: Cu, U, Au, hydrothermal mineralization, correlation, sequence of mineral formation, Kon Tum

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

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

For citation: Do Minh Phuong, Ignatov P.A., Phan Thi Hong, Nguyen Duy Hung, Tran Duan. Mineral-geochemical characteristics Cu-U-Au-manifestations in the Kon Ra region of the Kon Tum province, Vietnam. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):73–85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-73-85>

Manuscript received 18 March 2020

Accepted 08 June 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Cu-U-Au-минерализация Кон Ра находится в провинции Контум в Центральном Вьетнаме. Она недавно обнаружена на поверхности, вскрыта мелкими скважинами и локализована в протерозойских метаморфических породах [2, 5, 8]. Целью работы является изучение геологической позиции рудопроявлений, минералогических и геохимических характеристик руд, что важно для определения рудно-формационного типа объекта и оценки перспектив района.

Фактические данные и методы исследования

Работа основана на данных, собранных во время работы в полевых условиях, аналитических лабораторных исследованиях, собранных авторами в период 2016—2019 гг. Диагностика минерального состава руд выполнена по 60 аншлифам. Химический состав руд определен по 214 пробам методами ICP MS и по 374 пробам атомной адсорбции во Вьетнамском центре геологического и экспериментального анализа г. Ханой. Геохимические связи компонентов руд установлены методом многомерных статистических корреляций.

Геологическое строение района Кон Ра

В районе Кон Ра распространены протерозойские метаморфические породы комплекса Хамдык (PR-Є kđ), кембрийские базальтоиды комплекса Кумонг (bЄcm) и триасовые граниты комплекса Хайван (γT_{1-2} hv). Известны жильные проявления Cu, U и Au минерализации [5, 7—10].

Породы комплекса Хамдык неопротерозоя-кембрия слагают большие массивы и появляются в виде небольших реликтов в раннетриасовых гранитоидах комплекса Хайван (рис. 1, 2). В комплексе Хамдык выделяются 9 групп: метаультрамафический (uPRkd); метагаббро (grPRkd); амфиболиты (aPRkd); метаплагиограниты (pPRkd); метакарбонатные породы и метаскарны (caPRkd); амфиболовые гнейсы (gaPRkd); антофиллит-кордиеритовые породы (acPRkd); биотитовые гнейсы (gbPRkd); кристаллические сланцы (f PRkd) [3—5, 8].

Породы комплекса Хамдык распространены по всей исследуемой территории. Они интродуцированы кембрийскими диабазами комплекса Кумонг (bЄcm), триасовыми гранитоидами комплекса Хайван (γT_{1-2} hv), 235 млн лет, и юрскими риолитовыми и порфирами (образец KR.LK2/33), датированный U-Pb методом ($163,981 \pm 1,9$ млн лет) [6, 8]. Изотопный возраст циркона из амфиболового гнейса (образец KR.880) по U-Pb методу оказался 848 ± 16 млн лет с ордовикским возрастом метаморфизма $458,5 \pm 8,8$ млн лет [6, 8].

Петрографический и петрохимический состав, геологическое положение метаморфических образований комплекса Хамдык и данные по изотопному возрасту позволяют считать их мезопротерозойско-кембрийскими образованиями, испытавшими метаморфизм в ордовике.

Породы триасового комплекса Хайван (γT_{1-2} hv) интродуцируют и обрамляют метаморфические породы комплекса Хамдык (PR-Є kđ). На площади, включающей рудопроявления Кон Ра, породы комплекса Хайван обнажаются небольшими блоками и вскрыты скважинами до глубины 300 м. Они пересекают зону дробления и катаклаза, которая находится в протерозойских метаморфических породах комплекса Хамдык. Местами граниты комплекса также интенсивно подроблены, отмечается хлоритизация.

Комплекс Хайван пересекается дайками базальтов комплекса Кумонг (bЄcm); граниты второй фазы пересекают ранние граниты в блоке Дакне.

По U-Pb методу по циркону из двуслюдяных среднезернистых гранитов по образцам, отобранным с площади рудопроявлений Кон Ра KR.719 из обнажения и KR.LK4/59 керна, взятого с глубины 204—205 м, определен изотопный возраст соответственно $253,1 \pm 2,9$ и $235 \pm 3,1$ млн лет.

Данные по составу пород, изотопному возрасту и геологической позиции комплекса Хайван относят его к раннему-среднему триасу.

Медная минерализация в большинстве случаев встречается в зонах катаклаза, затрагивающих диопсидовые мраморы, кварц-диопсидовые породы, диопсидовые скарны и кальцифиры, которые отнесены к метакарбонатным и метаскарновым образованиям. Они встречаются в тремолитовых и кристаллических сланцах комплекса Хамдык.

Золото-медная минерализация локализована в тектонических брекчиях, которые осложнены перпендикулярными кварцевыми жилами. Она представлена азуридом и малахитом.

Разности метаморфических пород комплекса Хамдык и гранитоидов различных фаз комплекса Хайван заметно отличаются по радиогеохимическим параметрам (табл. 1).

Наибольшая дифференциация отмечается для тектонически нарушенных гранитов комплекса Хайван и метасоматически переработанных зон контактов этого комплекса с метакарбонатными и метаультрамафическими породами комплекса Хамдык. В них мощность экспозиционной дозы радиоактивности колеблется от низких фоновых значений (40—59 мкР/час) до 80—4166 мкР/час. Здесь в катаклазах имеют место рудные концентрации урана с U/Th отношениями, близкими к единице (табл. 5).

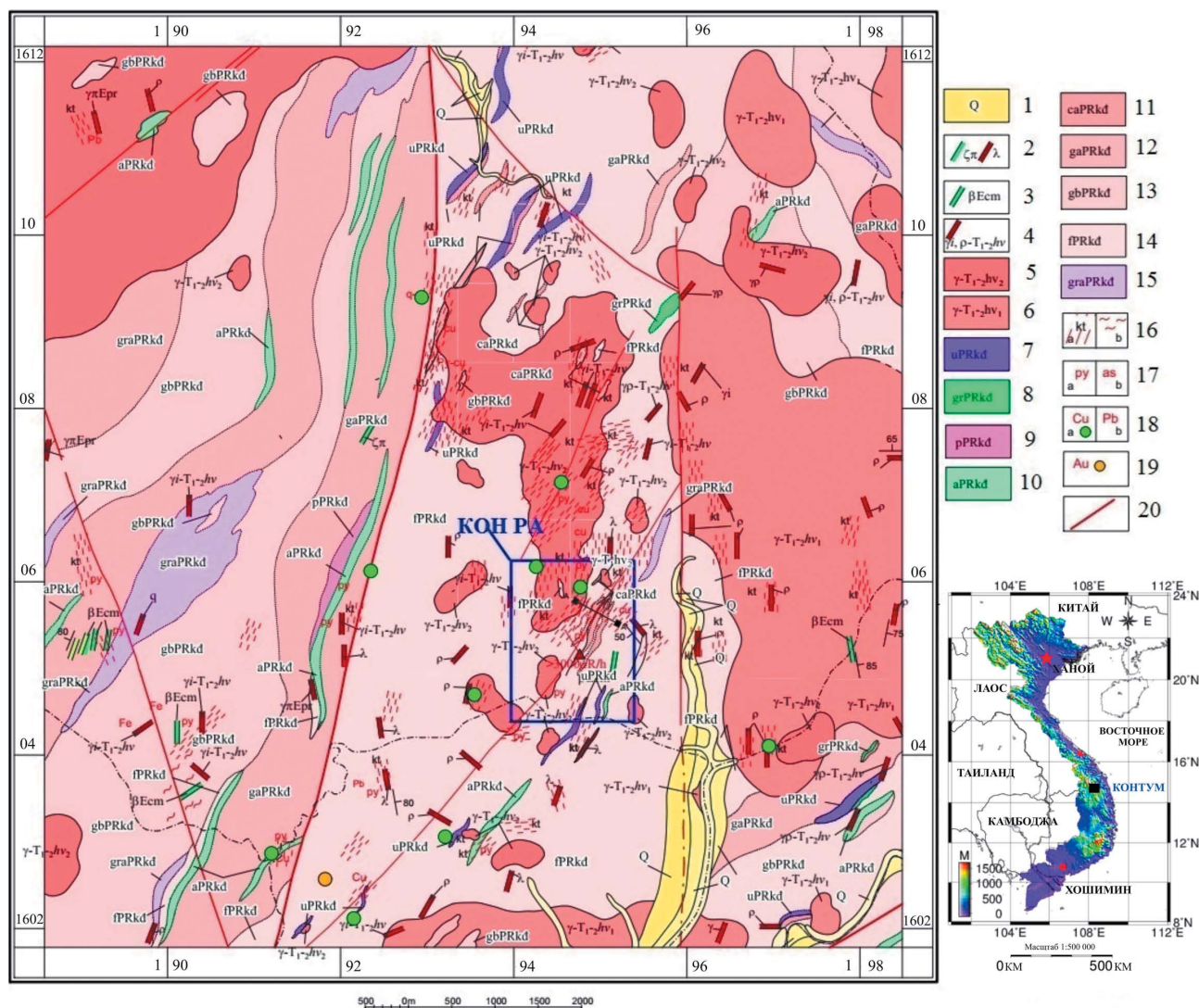


Рис. 1. Геологическая карта района Кон Ра масштаба 1:50.000 (по Чан Д, 2019). 1 — голоцен-плейстоцен (Q): речные отложения; 2 — гидротермальные жилы разного состава; 3 — кембрийские диабазы комплекса Кумонг (bEcm); 4—6 — комплекс Хайван: 4 — гранит-аплиты и пегматиты ранней фазы (g^i - pT_{1-2} , hv); 5 — биотитовые и двуслюдяные граниты второй фазы (gT_{1-2} , hv₂); 6 — биотитовые граниты первой фазы (gT_{1-2} , hv₁); 7—15 — протерозойский комплекс Хамдык (PR-E kd): 7 — метамультрамафиты (uPRkd): дуниты, перидотиты, пироксениты; 8 — метагаббро (grPRkd); 9 — амфиболиты (aPRkd); 10 — метаплагиограниты — плагиогранитогнейсы, гранодиоритогнейсы и диоритогнейсы (pPRkd); 11 — метакарбонатные и метаскарновые породы (caPRkd): мраморы, оливиновые и диопсидовые кальцифиры, диопсидиты, диопсидовые гнейсы, сланцевые кварц-диопсидовые породы, пироксеновые скарны; 12 — амфибол-гнейсовая ассоциация (gaPRkd): амфиболовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые и пироксеновые гнейсы; 13 — антофиллит-кордиеритовые породы (acPRkd); 14 — биотитовые гнейсы, биотит-плагиогнейсы, биотит-гранит-плагиогнейсы (gbPRkd); 15 — кварцево-слюдяные, кварцевые, мусковитовые и биотитовые сланцы, слюдисто-гранат-силлиманит-андалузит-кордиеритовые породы (fPRkd); 16 — зоны дробления (kt); 17 — рудная минерализация: a — пирит, b — арсенопирит; 18 — рудопроявления: a — Cu, b — Pb; 19 — рудопроявления: Au; 20 — разломы.

Fig 1. Geological map of the Kon Ra area at a scale of 1: 50.000 (according to Tran D, 2019). 1 — Holocene-Pleistocene (Q): river sediments; 2 — hydrothermal veins of different composition; 3 — Cambrian diabbases of the Kumong complex (bEcm); 4—6 — Haivan complex: 4 — early phase granite-aplites and pegmatites (g^i - pT_{1-2} , hv); 5 — biotite and two-mica granites of the second phase (gT_{1-2} , hv₂); 6 — biotite granites of the first phase (gT_{1-2} , hv₁); 7—15 — Proterozoic complex Khamduc (PR-E kd): 7 — metaultramaphites (uPRkd): dunites, peridotites, pyroxenites; 8 — metagabbro (grPRkd); 9 — amphibolites (aPRkd); 10 — metaplagiograni-tes — plagiogranite gneisses, granodiorite

gneisses and diorite gneisses (pPRkd); 11 — metacarbonate and metaskarn rocks (caPRkd): marbles, olivine and diopside calciphyres, diopsideites, diopside gneisses, shale quartz-diopside rocks, pyroxene skarns; 12 — amphibole-gneiss association (gaPRkd): amphibole, amphibole-biotite, amphibole-pyroxene and pyroxene gneisses; 13 — anthophyllite-cordierite rocks (acPRkd); 14 — biotite gneisses, biotite-plagiogneisses, biotite-granite-plagiogneisses (gbPRkd); 15 — quartz-mica, quartz, muscovite and biotite schists, mica-garnet-sillimanite-andalusite-cordierite rocks (fPRkd); 16 — crushing zones (kt); 17 — ore mineralization: a — pyrite, b — arsenopyrite; 18 — ore occurrences: a — Cu, b — Pb; 19 — ore occurrence: Au; 20 — faults

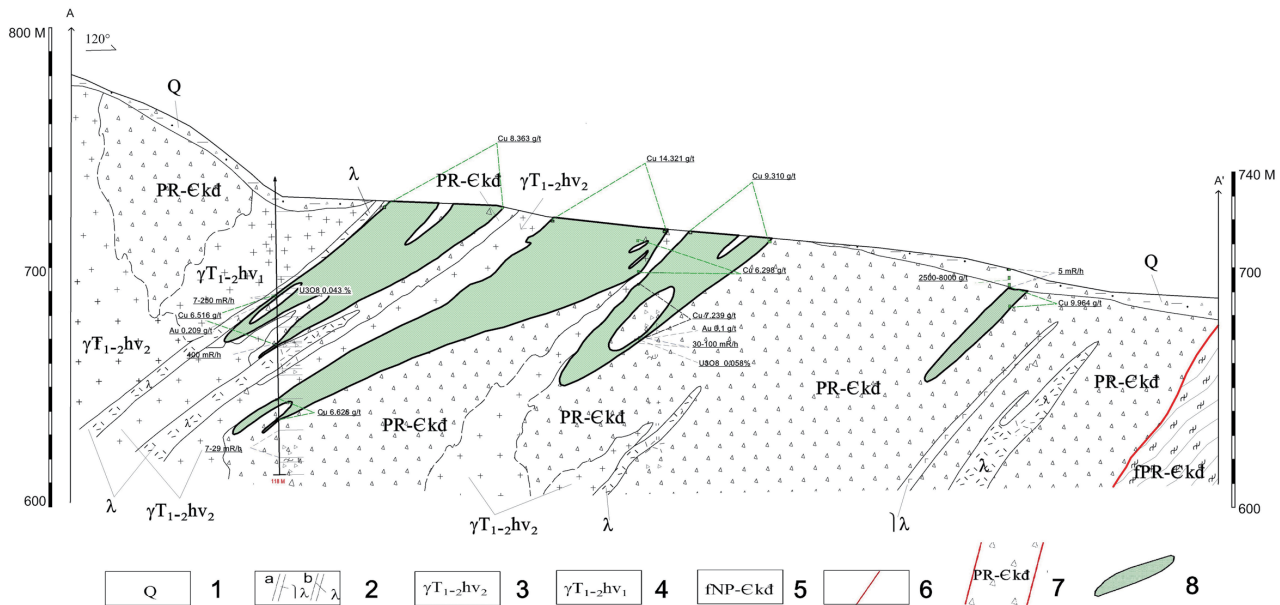


Рис. 2. Геологический разрез по линии А—А'. Масштаб 1:1000 (по Чан Д., 2019). 1 — голоцен-плейстоцен (Q); 2 — а — жилы минетт, b — порфировый риолит; 3—4 — комплекс Хайван: 3 — биотитовые и двуслюдяные граниты второй фазы ($\gamma T_{1-2}hv_2$); 4 — биотитовые граниты первой фазы ($\gamma T_{1-2}hv_1$); 5 — кристаллические сланцы (fPRkd); 6 — разломы; 7 — зоны дробления, содержащие медные, золотые и урановые руды: диопсид, мрамор, диопсидовый мрамор, мраморный диопсид-тремолит, кварцевая плита — диопсид, тремолитовый сланец, кварцевый сланец — двуслюдяной кварцевый сланец — полевошпатовые двуслюдяные сланцы, гнейс, биотит, амфиболит; 8 — рудоносные зоны

Fig. 2. Geological section along the line A—A'. Scale 1:1000 (after Tran D., 2019). 1 — Holocene-Pleistocene (Q); 2 — a — minette veins, b — porphyry rhyolite; 3—4 complex Haivan: 3 — biotite and two-mica granites of the second phase ($\gamma T_{1-2}hv_2$); 4 — biotite granites of the first phase ($\gamma T_{1-2}hv_1$); 5 — crystalline schists (fPRkd); 6 — faults; 7 — crushing zones containing copper, gold and uranium ores: diopside, marble, diopside marble, marble diopside-tremolite, quartz slab — diopside, tremolite schist, quartz schist — two-mica quartz schist — feldspar two-mica amphibolit, biotite, gneiss; 8 — ore-bearing zones

Минеральный состав руд

В результате изучения 60 рудных аншлифов выявлены распространенные рудные минералы халькопирит, пирит и пирротин с частотой встречаемости 65—83% и содержаниями от долей процента до 82% (табл. 2). Меньше распространены марказит, ковеллин и молибденит, которые встречаются с частотой от 12 до 23% и с содержаниями от очень малых до 2—10%. Не часто встречаются магнетит, арсенопирит, халькозин, гематит, гетит и лимонит с частотой < 7%, и содержаниями от малого до 1—60%; редким рудным минералом является уранинит.

Таким образом, в рудах преобладают пирит, пирротин и халькопирит, в подчиненном количестве

присутствуют молибденит, магнетит, мартит, гематит, кубанит, марказит, встречаются борнит, сфалерит, ксенотим, золото, уранинит и экзогенные: халькозин, ковеллин, гетит, малахит и лимонит.

Все рудные минералы диагностированы по оптическим свойствам и подтверждены рентгеноструктурными анализами. Особенности некоторых рудных минералов приведены ниже.

Халькопирит широко распространен (в среднем 10—15%), размеры аллотриморфных зерен составляют в среднем от 0,5×1 мм. Встречается в виде вкраплений отдельных частиц, скоплений мелких частиц и коротких прерывистых прожилков, неравномерно распределенных

Таблица 1. Радиогеохимические параметры пород комплексов Хамдык и Хайван
Table 1. Radiogeochemical parameters of rocks from the Khamduc and Haivan complexes

Комплексы	Породы		Радиогеохимические параметры (мкр/ч)			
			мин	макс	средний	точки замеров
Хайван	Дайки	Гранит-аплит	37	62	52,8	6
		Пегматит	32	65	47,6	5
	Второй фазы	Гранит, двуслюдяной гранит	30	57	42,4	310
Хамдык	Метаультрамафиты	Пироксенит	17	25	22	21
	Амфиболиты комплекса	Амфиболит	17	21	19,5	4
	Метаскарны	Мрамор, диопсидовый мрамор	6	21	15,2	14
	Амфибол-гнейсовый комплекс	Амфиболовый гнейс			17	1
	Бiotитовые гнейсы	Бiotитовый гнейс	31	44	33,7	15
	Кристаллические сланцы	Кварц-двуслюдяной, кварц-серицитовый сланец	23	51	38	308
		Двуслюдяной гнейс	30	50	40	123
		Кварцит	14	27	19	7

Таблица 2. Содержания и частота встречаемости рудных минералов, диагностированных в 60 аншлифах
Table 2. Content and frequency of occurrence of ore minerals diagnosed in 60 polished sections

Минералы	Содержания (%)		Количество наблюдений	Частота встречи (%)
	Низкие	Большие		
Халькопирит	Очень мало	18	50	83
Пирит	Мало	28	41	68
Пирротин	Мало	82	39	65
Марказит	Мало	10	14	23
Ковеллин	Очень мало	8	7	12
Молибденит	Мало	6	7	12
Арсенопирит	Очень мало		1	2
Магнетит	12	60	2	3
Уранинит	Очень мало		2	3
Гематит	Мало	18	1	2
Гётит	Очень мало		1	2
Лимонит	Мало	2	4	7
Халькозин	-	1	1	2

в нерудных минералах (рис. 3И, 3К). Образует парагенезис с пиритом и пирротинном (рис. 3Л). Халькопирит представлен двумя генерациями: халькопирит I в виде неправильных зерен или мелких скоплений неравномерно распределен в нерудных минералах или прожилках в них и магнетите (рис. 3А); халькопирит II в виде коллоидных выделений выполняет прожилки в других минералах (рис. 3Б). В каймах некоторых зерен халькопирит замещается халькозином и ковеллином (рис. 3В).

Пирит в виде неправильных и гипидиоморфных выделений и преобладающими размерами 1,6—1,8 мм равномерно распределен, концентрируется в гнездах, окружающих нерудные минералы, или слагает в них прожилки в сростании с халькопиритом (рис. 3Л, Д, Е).

Пирротин в зернах неправильной формы с преобладающими размерами 0,1×2,5 мм и наибольшим 2,4×4,4 мм встречается в виде вкраплений и пылевидных выделений в нерудных минералах.

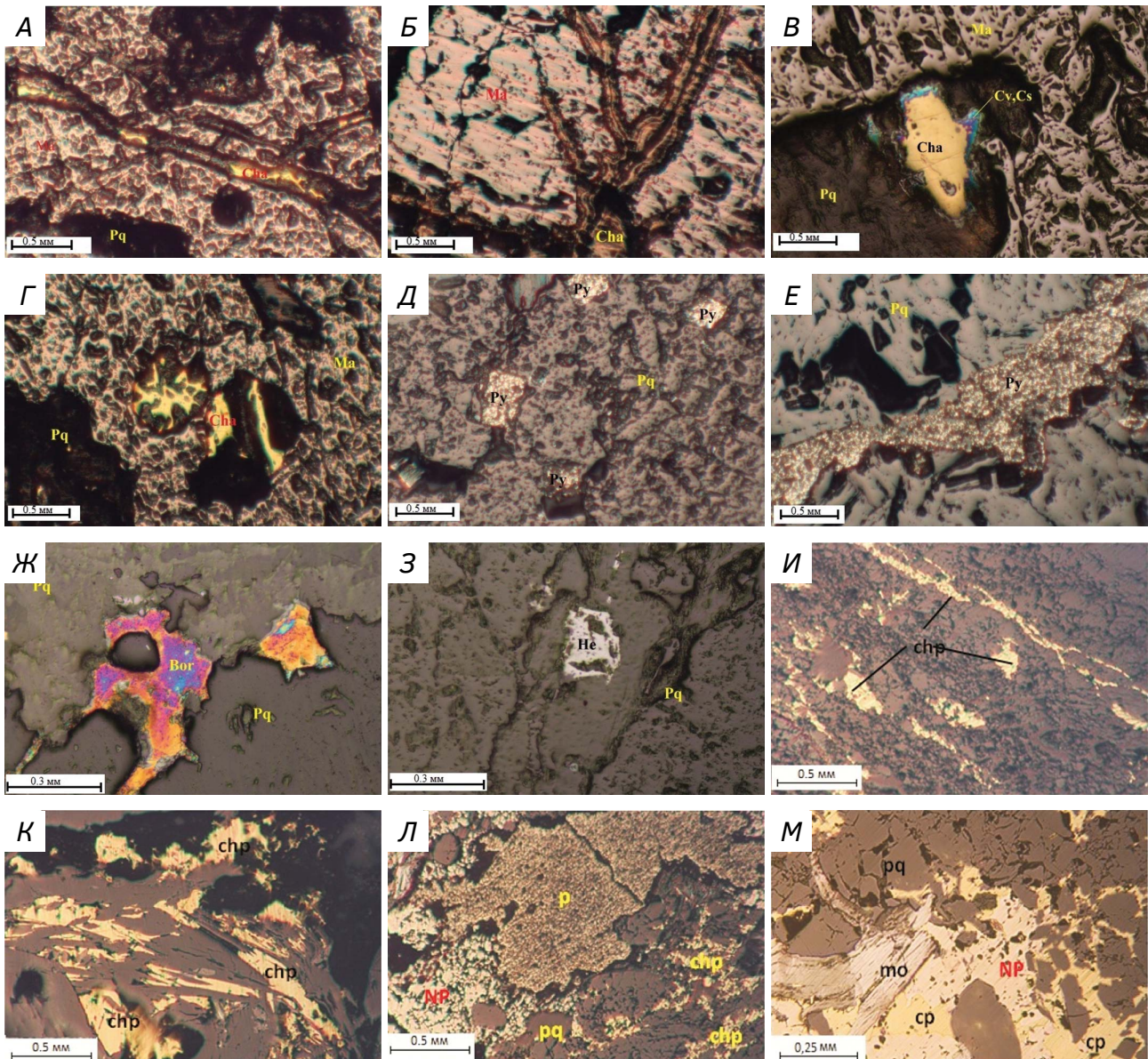


Рис. 3. Структуры и микротекстуры руд. 3.А — халькопирит (Cha) заполняет трещины магнетита (Ma), образец KR.9/1; 3.Б — коллоидальный халькопирит (Cha) распределяется по трещинам магнетита (Ma), образец KR.VL3/1; 3.В — халькопирит (Cha) превращается в ковеллит (Cv) на его гранях и в халькоцит (Cs), образец KR.9/1; 3.Г — халькопирит (Cha) заполняет трещины магнетита (Ma), образец KR.9/1; 3.Д — автоморфный пирит (Py) вкрапляется в нерудном минерале (Pq), образец KR.2; 3.Е — аллотриоморфный пирит вида жилы (Py) прорезает нерудный минерал (Pq), образец KR.VL 1; 3.Ж — аллотриоморфный борнит (Bor) в нерудном минерале (Pq), образец KR.VL4/1; 3.З — аллотриоморфный гематит (He) вкрапляется в нерудном минерале (Pq), образец KR.2; 3.И — халькопирит (chr) аллотриоморфный, образующийся полосами и жилами в нерудных минералах (pq) раздробленной зоны, образец KR.LK1/35; 3.К — халькопирит (chr) аллотриоморфный, образующийся полосами и жилами в нерудных минералах (pq) раздробленной зоны, образец KR.LK1/39; 3.Л — пирит (py), симбиотичный с пирротином (NP) и с халькопиритом (chr), вкрапляющийся в нерудных минералах раздробленной зоны (pq), образец KR.LK1/35; 3.М — молибденит (mo) в чешуйчатой форме, симбиотичный с халькопиритом (chr) и с пирротином (NP), вкрапляющийся в нерудных минералах (pq), образец KR.LK1/35 [5]

Fig. 3. Structures and microtextures of ores. 3.A — chalcopyrite (Cha) fills in magnetite cracks (Ma), sample KR.9/1; 3.B — colloidal chalcopyrite (Cha) is distributed along magnetite (Ma) fractures, sample KR.VL3/1; 3.B — chalcopyrite (Cha) is converted to covellite (Cv) on the facets and to chalcocite (Cs) within the nonmetallic mineral, sample KR.9/1; 3.Г — chalcopyrite (Cha) fills in magnetite cracks (Ma), sample KR.9/1; 3.Д — automorphic pyrite (Py) interspersed

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ / MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

with nonmetallic mineral (Pq), sample KR.2; 3.E — vein-type allotriomorphic pyrite (Py) cuts through the non-metallic mineral (Pq), sample KR.VL 1; 3.Ж — allotriomorphic bornite (Bor) in nonmetallic mineral (Pq), sample KR.VL4/1; Fig. 3.3 — allotriomorphic Hematite (He) interspersed with non-metallic mineral (Pq), sample KR.2; 3.И — chalcopyrite (chp) allotriomorphic, formed by stripes and veins in non-metallic minerals (pq) of the fractured zone, sample KR.LK1/35; 3.К — chalcopyrite (chp) allotriomorphic, formed by stripes and veins in non-metallic minerals (pq) of the fractured zone, sample KR.LK1/39; 3.Л — pyrite (py), symbiotic with pyrrhotite (NP) and chalcopyrite (chp), impregnated in nonmetallic minerals of the fractured zone (pq), sample KR.LK1/35; 3.М — molybdenite (mo) in flaky form, symbiotic with chalcopyrite (chp) and pyrrhotite (NP), impregnated in non-metallic minerals (pq), sample KR.LK1/35 [5]

Минералы	Стадии гидротермально-метасоматического этапа		Экзогенный этап
	высокотемпературная	среднетемпературная	
Магнетит	—————		
Пирротин		—————	
Гематит	—————		
Халькопирит	—————	—————	
Пирит	—————	—————	
Борнит		—————	
Молибденит			- - - - -
Марказит			- - - - -
Халькозин			- - - - -
Ковеллин			- - - - -
Метасоматические изменения	хлоритизация, серицитизация, оталькование, серпентинизация		
Концентрации	Fe, Cu, O, S	Cu, Fe, S	Cu, S
Структуры руд	автоморфная, панидиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая	автоаллотриоморфная структура, клеевой	аллотриоморфнозернистая
Текстуры руд	жильная, прожилковая, гнездовидная, вкрапленная	вкрапленная, гнездовидная	
Парагенетические ассоциации	магнетит + халькопирит I + гематит + пирит	пирротин + халькопирит II + пирит + борнит	марказит + халькозин + ковеллин + молибденит

————— главные ————— второстепенные - - - - - редкие

Рис. 4. Схема последовательности формирования руд
Fig. 4. Diagram of the sequence of ore formation

Он также слагает блоки в парагенезисе с пиритом и халькопиритом (рис. 3Л, М).

Магнетит наиболее распространен в рудах (до 83%). Часто слагает зерна средними размерами 1,8×3,2 мм. Формы выделений — гнезда, сгустки, окружающие нерудные минералы. Иногда замещается халькопиритом I (рис. 3Г). В одном случае отмечена мартитизация по краям и в трещине магнетита.

Гематит мало распространен в виде неправильных зерен менее 0,1 мм и пылевидных выделений в нерудных минералах (рис. 3З).

Молибденит — в мелких чешуйчатых зернах с максимумом в 1,5×3 мм; редко встречается в виде самостоятельных вкраплений в нерудных минералах в катаклазитах (рис. 3М). Предполагается его парагенезис с пиритом и халькопиритом.

Борнит очень редок и встречен в неправильных, преимущественно мелких (0,4×0,3 мм) выделениях в нерудных минералах (рис. 3Ж) и в тонких каймах вокруг магнетита и халькопирита.

Ковеллин и халькозин в очень низких содержаниях образуют тонкие каемки размером менее 0,1 мм вокруг халькопирита I (рис. 3В).

Таблица 3. Содержание элементов в Cu-U-Au-рудопоявлении Кон Ра (ICP MS, г/т)
Table 3. Element contents in Cu-U-Au ore occurrence Kon Ra (ICP MS, g/t)

Элемент	Число проб	Содержание (г/т)			Кларк концентрации (кларки по А.П. Виноградову, 1962) [1]	Коэффициент вариации V, %
		мин	макс	среднее		
Cu	214	275	36362	7373,96	47	88,32
Pb	168	5	1558	38,21	16	339,77
Zn	209	5	1077	70,25	83	129,90
Ni	199	5	403	31,69	58	127,68
Sr	209	5	570	79,00	340	108,72
V	213	5	1437,8	89,80	90	157,30
Cr	162	5	950	35,86	83	238,95
Ce	201	5	1352	47,76	70	214,65
La	160	5	981	30,56	29	265,65
Y	189	5	407	30,57	29	129,45
Li	198	5	100	18,75	32	87,49
Nb	123	5	126	22,59	20	101,69
Ga	122	10	97	23,28	19	57,87
Sc	75	5	59	12,19	10	78,10
B	206	10	298	47,82	12	122,78
Be	214	5	37	7,94	3,8	79,42
As	40	20	1377	79,60	1,7	273,01
Mo	183	5	5247	135,03	1,1	407,28

Схема последовательности рудообразования

Процесс минерализации включал гидротермально-метасоматический, состоящий из двух стадий, и экзогенный этапы (рис. 4), что обосновано по смене текстур и структур руд и минеральных парагенезисов.

В гидротермально-метасоматический этап, вероятно, при высоких температурах формировались магнетит, гематит и халькопирит I, при средней температуре — халькопирит II, пирит и борнит. В этот время образовались метасоматические ореолы серпентина, талька, серицита и хлорита.

В экзогенном этапе халькопирит замещался ковеллином и халькозином.

Распределение основных и сопутствующих элементов в рудах

Результаты ICP MS 214 анализов проб сульфидных руд показали, что помимо основного элемента (Cu) в руде концентрируются As, B, Be, Ce, Cr, Cu, Ga, La, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Sc, Sr, V, Y, Zn (табл. 3).

Из таблицы 3 видно, что в рудах концентрируются халькофильные (Pb, Zn, Ni, Mo, As), сидеро-

фильные (V, Cr, B) и литофильные (Li, Sr, Be, Ce, La, Y, Nb) элементы, включая редкие и рассеянные (Sc, Ga). При этом кларки концентраций достигают одного-двух порядков при заметных вариациях содержаний. Содержание меди имеет неравномерное распределение в диапазоне от 275 до 36 362 г/т, в среднем 7373,96 г/т, коэффициент вариации 88,32%.

Выполнен корреляционный анализ полученных данных (табл. 6), который показал положительные связи пар элементов: As-B, As-Ga, As-Nb, As-V, B-V, Be-Ga, Be-Li, Be-Pb, Be-Sc, Be-Y, Ce-La, Ce-Ni, Ce-Sr, Ce-Y, Cr-Li, Cr-Nb, Cu-La, Cu-Zn, Cu-Co, Cu-Ni, Ga-Li, Ga-Nb, Ga-Pb, Ga-V, Ga-Y, La-Ni, La-Y, Li-Nb, Li-Ni, Li-Sr, Li-Y, Mo-Pb, Mo-Y, Nb-Sc, Nb-Sr, Nb-V, Nb-Y, Ni-Y, Pb-Sc, Pb-Zn, Pb-Y, Sc-V, Sc-Y, Sr-Zn, V-Y, Au-Ag, Ag-Cu, Zn-Co, Zn-Ni, Co-Ni.

Наиболее тесные связи с коэффициентом корреляции выше 0,5 выявлены между Ce-La (0,99), As-V (0,96), As-B (0,93), As-Ga (0,86), Ga-V (0,71), Pb-Sc (0,69), Pb-Y (0,67), La-Ni (0,57), Ce-Ni (0,56), Nb-V (0,52). Слабая положительная корреляция с коэффициентом корреляции 0,31 установлена между медью и цинком.

Таблица 4. Содержание элементов (г/т) в медной руде Кон Ра по данным атомной абсорбции
Table 4. Element content (g/t) in Copper ore Kon Ra according to atomic absorption data

Элемент	Число проб	Содержания (г/т)			Кларк концентрации	Коэффициент вариации V, %
		мин	макс	среднее	(Кларк по А.П. Виноградову, 1962) [1]	
Au	374	0,01	1,05	0,16	0,0043	75,80
Ag	374	0,1	1,69	0,17	0,07	110,03
Cu	374	88	60639	7398,87	47	84,45
Pb	374	10	211	20,97	16	89,44
Zn	374	7	234	35,98	83	105,34
Mo	240	3	2005	42,54	1,1	351,77
Co	257	3	226	37,37	18	106,29
Ni	257	3	179	15,84	58	127,42

Таблица 5. Результаты гамма-спектрометрии 42 образцов руды
Table 5. Results of gamma spectrometry of 42 ore samples

Параметры	U %	U ₃ O ₈ %	Th %	U/Th
Среднее	0,57	0,67	0,06	9,49
Стандартное отклонение	0,87	1,02	0,08	
Минимальное	0,007	0,008	0,001	
Максимальное	4,41	5,20	0,32	
Количество проб	42	42	42	
Коэффициент вариации V%	153,64	153,64	131,46	

Таблица 6. Матрица коэффициентов корреляции между элементами по результатам ICP MS рудопрооявления Кон Ра
Table 6. Matrix of correlation coefficients between elements according to ICP MS results of Kon Ra ore occurrence

	As	B	Be	Ce	Cr	Cu	Ga	La	Li	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
As	1																	
B	0.93	1																
Be	0.12	0.04	1															
Ce	-0.05	-0.07	0.07	1														
Cr	-0.1	-0.04	0.01	0.08	1													
Cu	-0.14	-0.18	0.05	0.12	0.03	1												
Ga	0.84	0.17	0.25	0.11	0.14	0.02	1											
La	-0.06	-0.11	0.03	0.99	0.05	0.2	0.08	1										
Li	-0.06	-0.09	0.35	0.17	0.26	-0.11	0.21	0.11	1									
Mo	-0.11	-0.01	0.17	0.01	-0.03	-0.11	-0.22	-0.02	-0.03	1								
Nb	0.68	0.08	0.17	0.06	0.34	-0.2	0.34	0.01	0.31	0.11	1							
Ni	-0.05	0.03	0.03	0.56	0.08	0.2	0.02	0.57	0.24	0.01	0.04	1						
Pb	0	0.1	0.25	0.1	0.01	-0.14	0.26	0.09	-0.01	0.28	0.13	-0.02	1					
Sc	-0.12	0.07	0.3	0.08	0.06	-0.16	0.13	0.09	0.21	-0.02	0.32	0.15	0.69	1				
Sr	-0.16	-0.02	0.18	0.19	0.18	-0.14	0.12	0.15	0.41	-0.07	0.39	0.12	-0.04	-0.03	1			
V	0.96	0.26	0.13	0.07	0.14	0.03	0.71	0.03	0.14	-0.03	0.52	0.14	0.13	0.27	0	1		
Y	-0.04	-0.07	0.29	0.34	0.02	-0.01	0.19	0.3	0.25	0.2	0.44	0.19	0.67	0.21	0.11	0.33	1	
Zn	-0.02	-0.07	0.09	0.1	-0.03	0.31	0.1	0.1	0.07	-0.09	0.1	0.12	-0.08	-0.09	0.22	0.07	0.07	1

Таблица 7. Коэффициенты корреляции между элементами по результатам атомно-абсорбционных анализов руд рудопроявления Кон Ра

Table 7. Coefficients of correlation between elements according to the results of atomic absorption analyzes of ores of ore occurrence Kon Ra

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Ni
Au	1							
Ag	0,33	1						
Cu	0,15	0,33	1					
Pb	-0,07	-0,02	-0,08	1				
Zn	0,08	0,15	0,28	0,22	1			
Mo	-0,07	0,00	0,03	0,1	-0,07	1		
Co	0,02	0,00	0,4	0,12	0,28	0,16	1	
Ni	0,07	0,00	0,35	0,14	0,33	0,09	0,46	1

Золото распределяется относительно стабильно. Его содержание варьирует от 0,01 до 1,05 г/т, в среднем 0,16 г/т, коэффициент вариации 75,80% (табл. 4).

Анализ корреляционных связей показывает положительную связь золота с серебром (коэффициент корреляции 0,33), серебра с медью (0,33) (табл. 7).

Надо отметить невысокие коэффициенты корреляции Cu-Co (0,40), Co-Ni (0,46) и Cu-Ni (0,35).

Таким образом, в поисках золотых руд прямыми признаками надо считать медь и цинк. Кроме того, могут быть использованы косвенные признаки в виде концентраций Ni, Co, Mo, Sn, As, Ag, Pb, La.

В рудах Кон Ра имеются концентрации урана и тория (табл. 5). Анализ 42 рудных образцов показал, что содержание U колеблется от 0,007 до 4,41%, в среднем 0,57% (коэффициент вариации 153,64%), достигая промышленных концентраций. Содержание Th варьирует от 0,001 до 0,32%, в среднем 0,06% (коэффициент вариации 131,46%). Среднее уран-ториевое отношение составило 9,49.

Имеет место высокая корреляция между Cu и U, следовательно, надо использовать и радиоактивные аномалии урановой специализации для поисков месторождений.

Выводы

1. В метаморфических породах центрального Вьетнама в зонах их контакта с триасовыми интрузиями гранитов обнаружено комплексное Au-Cu-U-оруденение. Оно локализовано в тектонических брекчиях и катаклазитах, затронувших гранитоиды триаса и метаскарновые породы докембрия.

2. Минеральный состав руд включает гидротермальную минерализацию халькопирита, борнита, золота, уранинита. На участке развита зона окисления с халькозином, ковеллином, азуритом, малахитом и лимонитом.

3. Рудная минерализация сопровождается хлоритизацией, серицитизацией, оталькованием, серпентинизацией.

4. В Cu-Au-U-рудах концентрируются рудные и редкие элементы Ni, Co, Mo, Sn, As, Ag, Pb, La, что повышает их промышленную оценку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 535—571.
2. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Дакто (D-48-XII). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 200 000). Ханой, 1998. С. 115.
3. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Кон-Тум (D-48-XVIII). В: Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1:200 000). Ханой, 1998. С. 73.
4. Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Геология и минеральные ресурсы листа Манг Ден-Бонг Сон (D-49-XIII, D49-XIV). В: Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1:200 000). Ханой, 1998. С. 92.
5. До М.Ф., Нгуен З.Х. Сборник тезисов докладов I Молодежной конференции ЦНИГРИ. М., 2020. С. 82—85.
6. Нгуен С.Б. Геология и минеральные ресурсы Вьетнама (южная широта 15°20'). Архив геологического отдела. Ханой, 1995. С. 125.
7. Клод Л, Нгуен Ван Вуонг, Малуски А., Фан Чыонг Тхи, Тич Ван Ву. Индозиная тектоника во

- Вьетнаме., Геонауки. 2008. № 340. С. 94—111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071307002969>
8. Чан Д. Отчет об оценке минеральных ресурсов меди в районе Кон Ра. Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. Ханой, 2019. С. 109.
9. Чан Т. Отчет о результатах геологического картирования и разведки полезных ископаемых в группе Кон Тум-Буон Мэ Туат в масштабе 1:200 000. Фонды Вьетнамского Министерства природных ресурсов и экологии. Ханой, 1994. С. 110.
10. 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.

REFERENCES

1. Vinogradov A.P. Srednee sodержanie khimicheskikh ehlementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gorny porod zemnoj kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust]. *Geochemical*. 1962. No 7. С. 535—571 (In Russian)
2. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of Dac To leaf (D-48-XII). Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 115.
3. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of the Kon Tum leaf (D-48-XVIII). In: Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 73 (In Vietnam).
4. The General Department of Geology and Minerals of Vietnam. Geology and mineral resources of the leaf Mang Den-Bong Son (D-49-XIII, D49-XIV). In: Map of the geology and mineral resources of Vietnam (1: 200 000). Hanoi, 1998. P. 92 (In Vietnam).
5. Do M.P., Nguyen D.H. Sbornik tezisev dokladov I Molo-dezhnoy konferentsii TSNIGRI [Collection of abstracts of reports of the I Youth Conference TSNIGRI]. Moscow, 2020. P. 82—85 (In Russian).
6. Nguyen Xuan Bao. Geology and mineral resources of Vietnam (south latitude 15°20'), Archive of the geological department. Hanoi, 1995. P. 125 (In Vietnam).
7. Lepvrier C., Nguyen Van Vuong, Maluski H., Phan Truong Thi, Tich Van Vu. Indosinian tectonics in Vietnam. *Geoscience*. 2008. No 340. P. 94—111. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071307002969>
8. Tran Duan. Assessment Report on Copper Mineral Resources in Kon Ra. Foundations of the Vietnam Ministry of Natural Resources and Ecology. Hanoi, 2019. P. 109 (In Vietnam).
9. Tran Tinh. Report on the results of geological mapping and mineral exploration in the Kon Tum-Buon Me Thuat group at a scale of 1: 200,000. Foundations of the Vietnam Ministry of Natural Resources and Ecology. Hanoi, 1994. P. 110 (In Vietnam).
10. 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. No 26. P. 44—164.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Игнатов П.А. — инициатор статьи, внес вклад в разработку концепции работы.

Фан Т.Х. — предоставил материалы для исследований, провел обзор геологической информации

Нгуен З.Х. — внесла вклад в геохимический региональный анализ.

Чан Д. — предоставил материалы для исследований, провел обзор геологической информации.

Minh Phuong Do — made the main contribution to the development of the concept of the article, conducted a granulometric analysis, 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.

Petr A. Ignatov— initiator of the article, contributed to the development of the concept of the article.

Thi Hong Phan— provided materials for research, reviewed geological information.

Duy Hung Nguyen— contributed to geochemical regional analysis.

Duan Tran— provided materials for research, reviewed geological information.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

До Минь Фьонг* — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: dominhphuong.dkt@gmail.com
тел.: +7 (905) 727-96-78
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Игнатов Петр Алексеевич — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-код: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Фан Тхи Хонг — аспирант факультета геологии и геофизики нефти и газа ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: phanthihong@humg.edu.vn
тел.: +7 (903) 719-77-60
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Нгуен Зуи Хынг — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: nguyenduyhung@humg.edu.vn
тел.: +7 (977) 957-29-68
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

Чан Дуан — руководитель группы по геологии 3 Южно-Вьетнамского геологического отделения 1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам
e-mail: tranduandc3@gmail.com
тел.: +84-918928047

Minh Phuong Do* — postgraduate student 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: dominhphuong.dkt@gmail.com
tel.: +7 (905) 727-96-78
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Petr A. Ignatov — Prof., Dr. of Sci. (Geol.-Min.), 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: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Thi Hong Phan — postgraduate student, Faculty of geology and geophysics of oil and gas, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: phanthihong@humg.edu.vn
tel.: +7 (903) 719-77-60
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Duy Hung Nguyen — postgraduate student 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: nguyenduyhung@humg.edu.vn
tel.: +7 (977) 957-29-68
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

Duan Tran — team leader for Geology 3, Geological Department of South Vietnam 1, Chien Thang street, Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam
e-mail: tranduandc3@gmail.com
tel.: +84-918928047

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ЗАБУРИВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СТВОЛОВ СКВАЖИН С ИСКУССТВЕННОГО ЗАБОЯ ОТКЛОНИТЕЛЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ В ТВЕРДЫХ И ОЧЕНЬ ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В.В. НЕСКОРОМНЫХ, Д.В. ЛЫСАКОВ*

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
79, Свободный проспект, г. Красноярск 660041, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время существуют различные технические средства для искусственного искривления скважин с целью решения различных технических и геолого-методических задач, из которых наиболее современными и точными являются отклонители непрерывного действия (ОНД). В тоже время в ряде сложных горно-геологических условий эффективность работы ОНД снижается. В связи с этим возникает необходимость поиска и устранения причин, которые негативно влияют на работу отклонителя в процессе искривления.

Цель — повышение результативности искривления скважин отклонителем непрерывного действия фрезерующего типа в твердых и очень твердых горных породах путем снижения скорости разбуривания искусственного забоя.

Материалы и методы. Изучен принцип работы различных типов отклонителей непрерывного действия. В основу написания статьи легли результаты анализа работы отклонителя непрерывного действия фрезерующего типа в сложных горных условиях и обзор материалов, используемых для изготовления искусственных забоев, а также результаты разработок, направленных на повышение эффективности забуривания нового направления скважины в твердых горных породах с искусственного забоя.

Результаты. Анализ позволил выявить, что основными причинами снижения эффективности работы отклонителя являются механизм набора кривизны и неравнопрочность горной породы и искусственного забоя. Особенностью работы ОНД фрезерующего типа является то, что закрепление и создание отклоняющего усилия осуществляется за счет постоянного воздействия осевой нагрузки, величина которой пропорционально влияет на скорость бурения.

Обзор материалов, используемых для создания искусственного забоя позволил сделать вывод, что в настоящее время не существует отверждаемых материалов, которые бы имели твердость выше 8 категории по буримости, а это значит, что при попытках забуривания нового направления скважины в горных породах больше 8 категории по буримости скорость бурения отклонителем непрерывного действия превысит оптимальную и снизит интенсивность набора кривизны отклонителя.

Заключение. В связи с тем, что скорость разбуривания искусственного забоя сложно регулировать параметрами режима бурения, возникла необходимость в создании технических средств, использование которых позволило бы ограничить скорость углубки на интервале забуривания нового направления ствола скважины.

Ключевые слова: искривление скважины, искусственный забой, ОНД, горная порода, забуривание

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Нескоромных В.В., Лысаков Д.В. Разработка технологий и средств забуривания дополнительных стволов скважин с искусственного забоя отклонителями непрерывного действия в твердых и очень твердых горных породах. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):86—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-86-94>

Статья поступила в редакцию 06.06.2020

Принята к публикации 15.06.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES AND TOOLS FOR DRILLING ADDITIONAL WELLS FROM ARTIFICIAL BOTTOM-HOLE WITH WHIPSTOCK OF CONTINUOUS ACTION IN HARD AND VERY HARD ROCKS

VYACHESLAV V. NESKOROMNYKH, DMITRY V. LYSACOV*

*Siberian Federal University
79, Svobodnyy ave., Krasnoyarsk 660041, Russia*

ABSTRACT

Background. Various approaches are currently used to create borehole curvature depending on associated methodological and practical geological problems. Continuous action whipstocks are considered to be the most modern and accurate among these approaches. The efficiency of such devices may decrease under difficult mining and geological conditions.

Aim. To increase the efficiency of drilling a curved borehole in hard and very hard rocks by reducing the speed of drilling out an artificial bottom.

Materials and methods. We studied the operating principles of various types of continuous action whipstocks. Empirical results were determined by studying the operation of continuous milling whipstocks in difficult rock conditions and by studying the materials used for manufacturing artificial bottom holes. The study included optimization of the efficiency of drilling a well in hard rocks from an artificial bottom hole in a new direction.

Results. The main factors decreasing the whipstock efficiency were found to be the mechanism of buildup rate, and the different strength of the rock and artificial bottom-hole. A feature of the work of a milling type whipstocks is that the creation of a deflecting force is carried out due to the constant influence of the axial load, the value of which proportionally affects the speed of drilling. A review of the materials used to create an artificial bottom led to the conclusion that at present there are no curable materials that would have a hardness higher than category 8 for drillability, which means that when trying to drill a new direction of a well in rocks more than 8 grade for drillability, the speed drilling with a continuous action whipstocks will exceed the optimum and reduce the intensity of the buildup rate whipstock.

Conclusion. Since the rate of drilling an artificial bottom hole is difficult to regulate using the drilling mode parameters, it is necessary to develop technical solutions that would limit the rate of deepening a new direction of the wellbore.

Keywords: well curvature, artificial bottom-hole, rock formation, drilling

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

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

For citation: Neskromnykh V.V., Lysacov D.V. Development of technologies and tools for drilling additional wells from artificial bottom-hole with whipstock of continuous action in hard and very hard rocks. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):86—94. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-86-94>

Manuscript received 06 June 2020

Accepted 15 June 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Забурирование дополнительных стволов скважин является одним из важных этапов при реализации технологий направленного бурения и может осуществляться с помощью:

- стационарных клиновых отклонителей;
- извлекаемых (съёмных) клиновых отклонителей;
- отклонителей непрерывного действия (ОНД).

Из перечисленных технических средств наиболее оперативным и высокотехнологичным средством для забурирования дополнительных стволов являются ОНД [1—4, 7, 10].

Применение ОНД для забурирования дополнительных стволов в твердых и очень твердых породах сдерживается тем, что при забурировании нового направления существует риск неудачных попыток, связанных с различной твердостью искусственного забоя и вмещающих забой горных пород.

Анализируя работу ОНД фрезерующего типа, можно опираться на зависимость интенсивности набора кривизны [4, 7, 8]:

$$i = \frac{V_{\phi}}{V_{\phi} L_{ж}}, \quad (1)$$

где V_{ϕ} — скорость фрезерования; V_{ϕ} — скорость бурения; $L_{ж}$ — длина жесткой части ОНД.

Как следует из зависимости (1), интенсивность набора кривизны прямо пропорциональна скорости фрезерования стенки скважины под действием отклоняющего усилия со стороны ОНД и обратно пропорциональна скорости бурения.

Исходя из этого соотношения можно сделать вывод о том, что при забурировании дополнительного ствола скважины с искусственного забоя, твердость которого существенно ниже твердости вмещающих забой пород, будет наблюдаться повышенная скорость бурения, больше рекомендуемой для забурирования (рекомендуемая скорость 0,8—1 м/ч), что делает невозможным применение ОНД механического фрезерующего типа. В таком случае скорость бурения сложно регулировать параметрами режимов бурения, поэтому данная пробле-

ма требует создания специальных технических средств, особых конструкций буровых долот и технологий выполнения данной операции при проектировании многоствольного бурения [1, 4, 7, 11].

В настоящее время наиболее распространенными материалами для создания искусственных забоев являются смеси на основе цемента. Прочность на сжатие затвердевших образцов составляет $(40—80) \times 10^2$ кПа, что по прочностным свойствам сопоставимо с породами V—VI категории по буримости. Это не позволяет использовать твердеющие цементные смеси в качестве материала для искусственного забоя в твердых горных породах более высоких категорий по буримости [5].

В связи с этим существует необходимость создания твердеющих или использования уже твердых материалов для изготовления искусственных забоев, которые по своим прочностным свойствам отвечали бы требованию равнопрочности с вмещающими горными породами.

Материал для создания искусственного забоя должен удовлетворять следующим требованиям [4]:

- экологичность;
- возможность контроля сроков затвердевания;
- минимальные сроки на установку и подготовку забоя к забурированию;
- буримость, сопоставимую с буримостью пород в интервале постановки забоя;
- адгезионные свойства материала.

Анализ материалов для создания искусственного забоя показал, что в настоящее время сложно подобрать отверждаемые материалы для создания искусственных забоев, твердость которых была бы выше VIII категории по буримости. Данная проблема усложняется также тем, что сроки отвердевания материала должны быть минимальными.

Процесс искривления скважины с искусственного забоя по своим условиям и признакам имеет существенные отличия от процесса искривления с естественного забоя. Можно считать,

что при забуривании ствола скважины с искусственного забоя отклонитель работает в условиях перемежающихся по твердости пород в экстремальных условиях при очень малом угле встречи долота с твердой породой (не более 1—2 град) [4, 6].

При забуривании дополнительного ствола скважины существует достаточно сложный этап формирования уступа в стенке скважины [4, 7]. После формирования уступа на определенную ширину процесс искривления мало отличается от простого искривления. Для обеспечения надежного формирования нового направления ствола скважины, ширина уступа должна составлять 0,25—0,5 диаметра торца долота. При этом процесс формирования уступа определяет результативность забуривания нового ствола скважины с искусственного забоя.

В связи с этим возникла техническая идея создания искусственного забоя из материала, который по своим физико-механическим свойствам кардинально отличается от свойств твердых упруго-хрупких горных пород. В этом случае при использовании буровых долот, предназначенных для бурения твердых и очень твердых горных пород — шарошечных и алмазных долот, удастся ограничить механическую скорость бурения и таким образом интенсифицировать интенсивность формирования кривизны (см. формулу (1)). Анализ показал, что таким материалом является древесина. Выбор древесины как материала искусственного забоя продиктован его невысокой стоимостью, экологичностью, легкостью в обработке и, что крайне важно, набухаемостью в водной среде. Способность к набуханию сухой древесины может в достаточно сжатые сроки обеспечить увеличение объема древесного образца до 20%.

При этом крайне важно то, что древесина имеет высокую степень сопротивляемости при забуривании вдоль волокон именно шарошечными и алмазными долотами при невысокой относительно горных пород твердости материала. В качестве такого инструмента могут выступать алмазные и шарошечные долота типа К и ОК, т. к. при бурении алмазным инструментом разрушение горной породы осуществляется в основном раздавливанием и скалыванием, а при бурении шарошечным инструментом типа К и ОК — дроблением и скалыванием. При воздействии этих видов породоразрушающего действия на волокнистый и пластичный материал, такой как древесина, ориентированная волокнами вдоль оси скважины, скорость разрушения будет незначительна, т.е. эффект оптимальной скорости углубления и фрезерования стенки скважины достигается за счет кардинального несоответствия

породоразрушающего действия со стороны вооружения долота и физико-механических свойств древесины [4, 7, 8]. Также при анализе нами учитывается и такой известный факт, что деревянная пробка при необходимости может разбуриваться твердосплавными коронками или долотами с резцовым вооружением, что позволит удалить искусственный забой в случае необходимости достаточно оперативно [9, 11].

Исследование скорости бурения деревянной пробки производилось на буровом стенде. Стенд включал буровой станок СКБ-4, установленный на эстакаде и оборудованный прибором ИСБ для измерения механической скорости бурения, буровой насос НБ-3, устройство фиксации блока буримой породы, зумпф, блок предварительно пробуренной породы с зафиксированной в скважине предварительно высушенной деревянной пробкой из лиственницы длиной 0,5 м.

Проведенные стендовые испытания бурения деревянной пробки из лиственницы, предварительно находившейся в воде несколько часов, показали, что при осевой нагрузке 1000 даН и частоте вращения 280 мин⁻¹ скорости бурения алмазным долотом АДН и трехшарошечным долотом типа К составили 0,9 и 1,1 м/ч соответственно, что близко к значениям, рекомендуемым для забуривания.

Усилие продавливания пробки длиной 0,5 м составило не менее 500 даН [5].

Таким образом, эксперимент показал, что по основным показателям — механической скорости бурения и усилию продавливания пробки — деревянный искусственный забой может рекомендоваться для практического использования.

На основе полученных данных была разработана конструкция устройства для доставки деревянного искусственного забоя (рис. 1), включающая переходник 1, связанный с колонной труб, контейнер 2, выполненный из колонковой трубы, в котором располагается продавочная пробка 3, щебень 4 и закреплена верхняя часть деревянной пробки 5 при помощи срезных штифтов 6. Сухая деревянная пробка 5 имеет длину L , обеспечивающую забуривание нового направления скважины и уход траектории нового ствола от старого направления на $\frac{1}{2}d_{\text{СКБ}}$.

Достоинством данной конструкции является то, что установка деревянного забоя не требует установки временного забоя, который абсолютно необходим при установке цементного искусственного забоя. Технология установки временной пробки-забоя с последующим сооружением цементного забоя изложена в работах [4, 7].

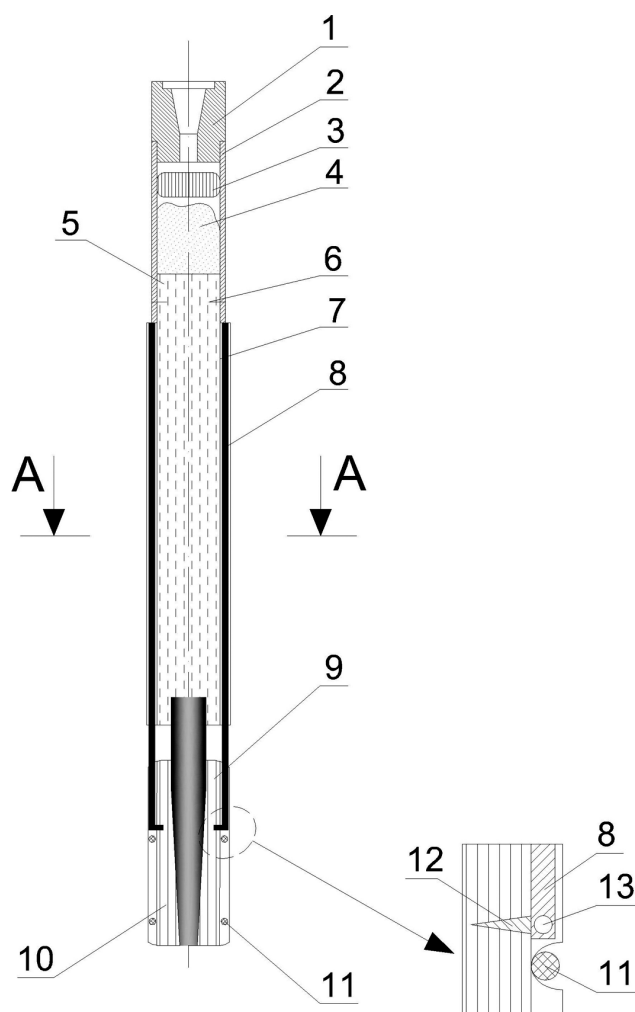


Рис. 1. Общий вид устройства для доставки деревянного забоя: 1 — переходник; 2 — контейнер; 3 — продавочная пробка; 4 — щебень; 5 — деревянная пробка; 6 — срезные штифты; 7 — продольные углубления; 8 — трос; 9 — распорные плашки; 10 — клин; 11 — проволока; 12 — штырь; 13 — палец
Fig. 1. General view of the device for the delivery of a wooden face: 1 — adapter; 2 — container; 3 — displacement plug; 4 — crushed stone; 5 — wooden cork; 6 — shear pins; 7 — longitudinal grooves; 8 — cable; 9 — spacer dies; 10 — wedge; 11 — wire; 12 — pin; 13 — finger

На наружной поверхности деревянной пробки выполнены продольные углубления 7 (рис. 2), в которых располагаются металлические тяги 8. Тяги 8 в верхней части крепятся к контейнеру, а в нижней части к распорным плашкам 9, при помощи шарнирного соединения. Распорные плашки 9 закреплены на клине 10 при помощи проволоки 11.

Шарнирное соединение состоит из штыря 12, который крепится к тросу при помощи пальца 13.

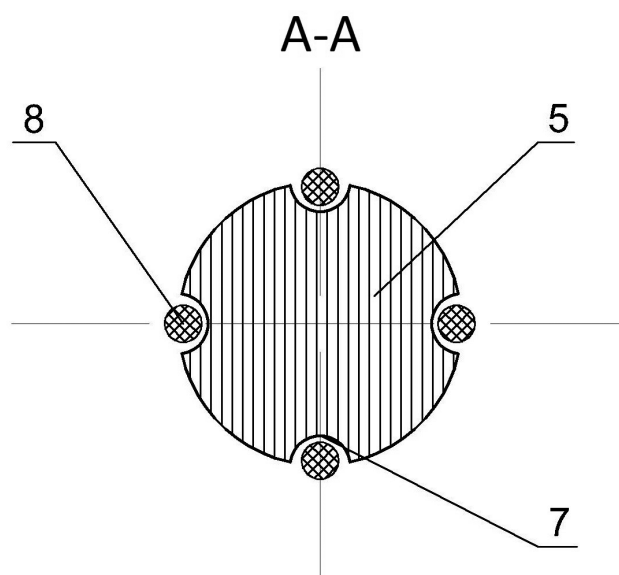


Рис. 2. Разрез А-А устройства: 5 — деревянная пробка; 7 — продольные углубления; 8 — трос
Fig. 2. Section A-A of the device: 5 — wooden cork; 7 — longitudinal grooves; 8 — cable

Штырь 12, в свою очередь, закреплен в распорные плашки 9.

Деревянную пробку 5 перед обработкой следует высушить и равномерно обточить на токарном станке до диаметра, который соответствует диаметру обсадной трубы (контейнера 2), для того чтобы обеспечить ее набухаемость после спуска в скважину.

После спуска устройства на необходимую глубину (рис. 3а) в бурильную трубу закачивается промывочная жидкость, которая, проходя через переходник 1, попадает в контейнер 2 (рис. 3б). Под давлением промывочной жидкости, продавочная пробка 3 начинает выдавливать из контейнера щебень 4. При этом штифты 6 срезаются, освобождая от закрепления деревянную пробку 5. Одновременно с этим устройство медленно приподнимается, тяги 8 начинают тянуть вверх распорные плашки, которые, наезжая на клин, начинают раздвигаться до упора в стенку скважины. Проволока 11, удерживающая распорные плашки 9, на клине, в процессе вдавливания клина в плашки 9 рвется и не препятствует закреплению пробки в скважине. После вдавливания клина в распорные плашки 9, штырь вырывается из распорных плашек 9 и тяги 8 освобождаются (рис. 3в). За счет наличия пальца штырь принимает вертикальное положение и не препятствует подъему тяг 8 по продольным углублениям 7 пробки. После извлечения контейнера с тягами 8 из сухой деревянной пробки 5 в освободившееся

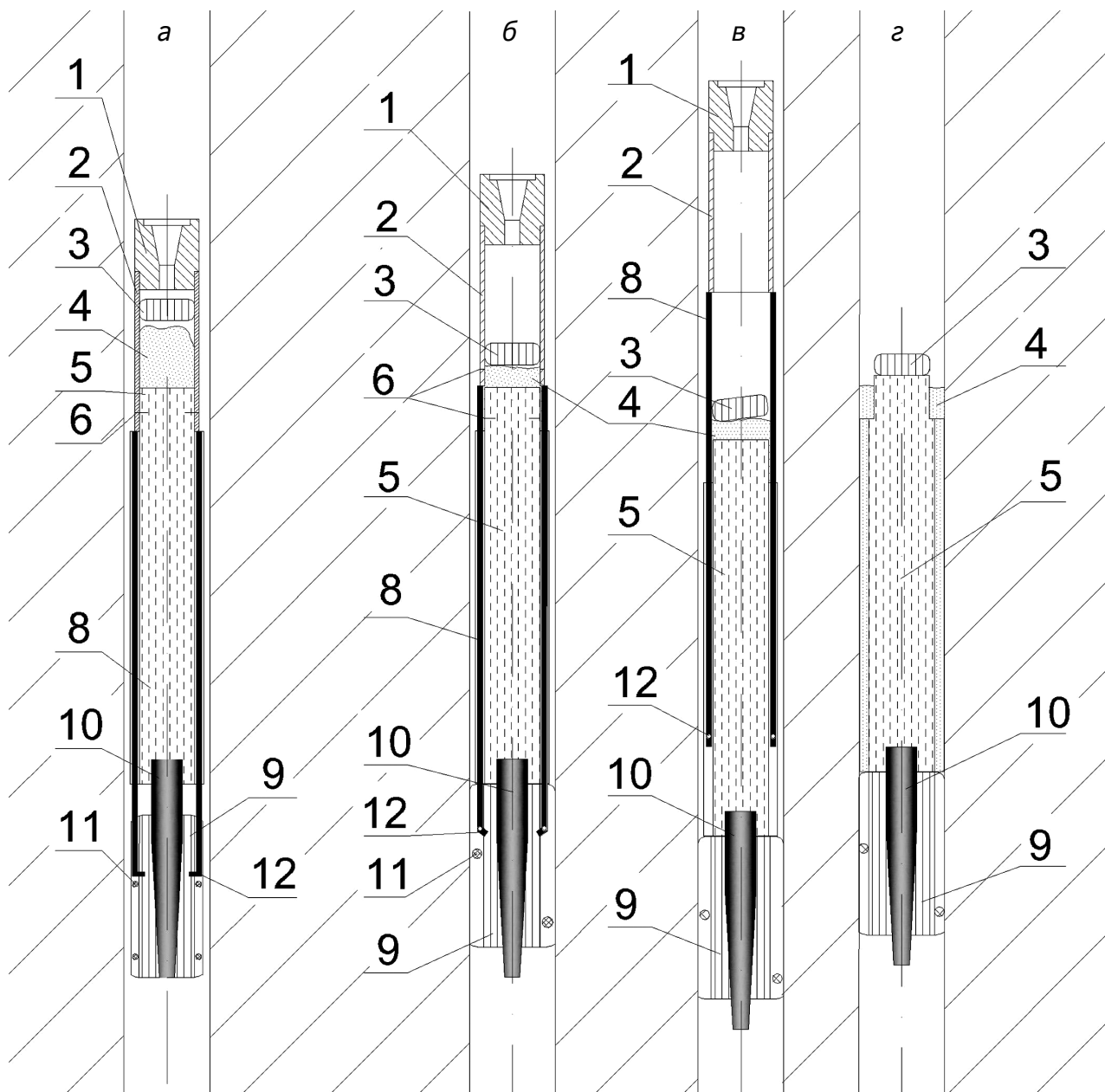


Рис. 3. Процесс раскрепления деревянной пробки в скважине: а — спуск устройства на необходимую глубину; б — процесс раскрепления пробки в скважине; в — освобождение и подъем тросов и переходника на поверхность; г — раскрепленная деревянная пробка: 1 — переходник; 2 — контейнер; 3 — продавочная пробка; 4 — щебень; 5 — деревянная пробка; 6 — срезные штифты; 7 — продольные углубления; 8 — тяги; 9 — распорные плашки; 10 — клин; 11 — проволока; 12 — штырь; 13 — палец

Fig. 3. The process of loosening a wooden plug in a well: а — lowering the device to the required depth; б — the process of loosening the plug in the well; в — release and lifting of the cables and adapter to the surface; г — unfas-tened wooden cork: 1 — adapter; 2 — container; 3 — displacement plug; 4 — crushed stone; 5 — wooden cork; 6 — shear pins; 7 — longitudinal grooves; 8 — traction; 9 — spacer dies; 10 — wedge; 11 — wire; 12 — pin; 13 — finger

продольные углубления 7 проникает промывочный раствор и щебень 4 (рис. 3г). Промывочный раствор обеспечивает набухание сухой пробки, а щебень 7 надежное закрепление, попадая

в зазоры между деревянной пробкой 5 и стенкой скважины.

Задавая интенсивность набора кривизны ОНД фрезерующего типа, можно определить длину

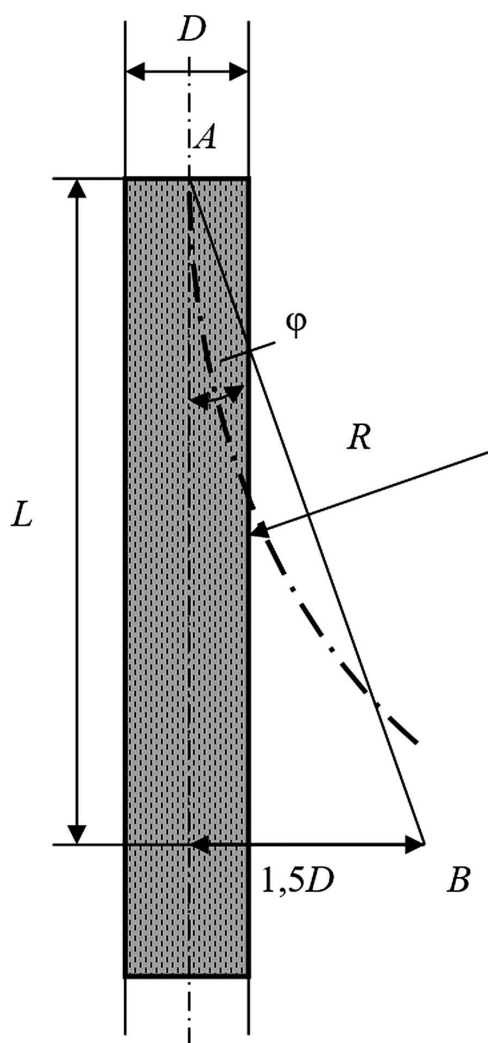


Рис. 4. Схема для определения требуемой длины деревянной пробки: φ — заданный угол отклонения; R — радиус искривления; D — диаметр скважины; L — длина деревянной пробки

Fig. 4. Scheme for determining the required length of a wooden plug: φ — a given deflection angle; R is the radius of curvature; D — borehole diameter; L is the length of the wooden plug

деревянной пробки из условия реализации отклонения и выхода забоя за пределы старого ствола на расстояние смещения забоя не менее $1,5 D_{\text{СКВ}}$.

Для начала следует рассчитать радиус искривления по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{57,3}{i}, \quad (2)$$

где i — интенсивность набора кривизны отклонителем, град/м.

В соответствии со схемой на рисунке 4 рассчитаем длину рейсовой проходки на заданный угол

отклонения φ и минимальную длину деревянной пробки, обеспечивающей отход нового ствола от старого:

$$l_p = \frac{\pi 57,3 \varphi}{90 i}. \quad (3)$$

Угол φ набора кривизны можно определить по зависимости:

$$\varphi = \arctg \frac{1,5 D_{\text{СКВ}}}{L}, \quad (4)$$

где $D_{\text{СКВ}}$ — диаметр скважины, м; L — минимальная длина пробки, позволяющая осуществить отход нового ствола от старого на $1,5 D_{\text{СКВ}}$.

Длину пробки L соответственно можно определить из формулы

$$L = \frac{1,5 D_{\text{СКВ}}}{\tg \varphi}. \quad (5)$$

С учетом всех выражений можно рассчитать длину рейса отклонителем для отхода на заданное расстояние от старого ствола при выбранных значениях интенсивности искривления и длины деревянной пробки:

$$l_p = \frac{\pi 57,3 \arctg \frac{1,5 D_{\text{СКВ}}}{L}}{90 i}. \quad (6)$$

В таблицу 1 приведены результаты расчетов длины рейсовой проходки для различных значений диаметра скважины и интенсивности искривления ОНД фрезерующего типа при длине пробки 2 м.

Как следует из данных проведенных расчетов по формуле 6, если за условие успешного исполнения работ принять отсутствие превышения длины рейса над длиной деревянной пробки, то приемлемы в данном случае высокие значения интенсивности искривления — 1,5 и 2,0 град/м при длине пробки не менее 3,0 м для скважин диаметром 93 мм, 2,5 м для скважин диаметром 76 мм и 2 м для скважин диаметром 59 мм.

Если за условие успешного забуривания принять отход нового ствола не $1,5 D_{\text{СКВ}}$, а $1,0 D_{\text{СКВ}}$, что может использоваться в очень твердых горных породах, отличающихся высокой прочностью, то для успешной реализации забуривания потребуются несколько меньшие значения длин пробки. Данные расчета приведены в таблице 2.

Таким образом, устройство деревянной пробки, устанавливаемой оперативно без создания временного искусственного забоя, позволит производить оперативный спуск пробки и ее надежное закрепление в скважине. Извлеченный контейнер с тягами можно использовать для дальнейших постановок искусственных забоев.

Таблица 1. Расчетные данные длины рейсовой проходки при заданных значениях длины деревянной пробки
Table 1. Calculated data of the length of the trip penetration at the given values of the length of the wooden plug

Интенсивность искривления, i , град/м	Длина рейсовой проходки, l_p , м при диаметре скважины $D_{\text{СКВ}}$, мм и длине пробки L , м					
	$D_{\text{СКВ}} = 93$		$D_{\text{СКВ}} = 76$		$D_{\text{СКВ}} = 59$	
	$L = 2$	$L = 3$	$L = 2$	$L = 3$	$L = 2$	$L = 3$
0,5	17,8	11,8	14,7	9,6	11,2	7,6
1,0	8,9	5,9	7,3	4,8	5,6	3,8
1,5	5,9	3,93	4,9	3,2	3,73	2,53
2,0	4,45	2,95	3,65	2,4	2,8	1,9

Таблица 2. Расчетные данные длины рейсовой проходки при заданных значениях длины деревянной пробки
Table 2. Calculated data of the length of the trip penetration at the given values of the length of the wooden plug

Интенсивность искривления, i , град/м	Длина рейсовой проходки, l_p , м при диаметре скважины $D_{\text{СКВ}}$, мм и длине пробки L , м					
	$D_{\text{СКВ}} = 93$		$D_{\text{СКВ}} = 76$		$D_{\text{СКВ}} = 59$	
	$L = 2$	$L = 3$	$L = 2$	$L = 3$	$L = 2$	$L = 3$
1,5	3,93	2,7	3,3	2,13	2,4	1,6
2,0	2,95	2,0	2,45	1,6	1,8	1,2

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев С.И., Милосердов Е.Е., Тряпичкин М.А. Технологические приемы забуривания дополнительных направлений с искусственных забоев в необсаженных стволах скважин // Горная промышленность. 2016. № 4 (128). С. 73—76.
2. Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М., Султанов Б.З. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник. Под ред. А.Г. Калинина. М.: Недра, 1997. 648 с.
3. Мельничук И.П., Данилин А.К., Минашкин В.Г. Способ создания направления в скважине. Авторское свидетельство; заявлено 28.10.1980; опубликовано 07.09.1982. 3 с.
4. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернометрии. М.: ИНФРА-М, 2015. 337 с.
5. Нескоромных В.В., Елисеев А.Д., Гринчук А.В., Наделяев А.А. Совершенствование технологии забуривания дополнительных стволов скважин в твердых и очень твердых горных породах отклонителями непрерывного действия // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2009. Т. 34, № 1. С. 154—159.
6. Нескоромных В.В. Методы и технические средства бесклинового забуривания дополнительных стволов скважин с искусственных забоев. М.: МГП «Геоинформмарк», 1993. 55 с.
7. Нескоромных В.В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. Красноярск: СФУ, 2016. 320 с.
8. Шраго Л.Г., Юдборовский И.М. Искривление скважин под действием постоянной по величине отклоняющей силы // Методика и техника разведки. Л., 1964. Вып. 48. С. 47—51.
9. Morenov V. Leusheva E. Development of drilling mud solution for drilling in hard rocks // International journal of engineering, transactions a: basics. Materials and Energy Research Center. 2017. Vol. 30, № 4. P. 620—626.
10. Tianshou Ma, Ping Chen, Jian Zhao. Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2016. Vol. 2, № 4. P. 365—395.
11. Weiliang Wang, Yanfeng Geng, Ning Wang, Xiaojiao Pu, Joice de Oliveira Fiaux. Toolface Control Method for a Dynamic Point-the-Bit Rotary Steerable Drilling System. *Energies*. 2019. № 12. 1831 p.

REFERENCES

1. Vasiliev S.I., Miloserdov E.E., Tryapichkin M.A. Technological Techniques for Drilling Additional Directions from Artificial Bottoms in Open Holes. *Mining*. 2016. No. 4 (128). P. 73—76.
2. Kalinin A.G., Nikitin B.A., Solodkiy K.M., Sultanov B.Z. Drilling of inclined and horizontal wells: Handbook. Ed. A.G. Kalinin. Moscow: Nedra, 1997. 648 p.
3. Melnichuk I.P., Danilin A.K., Minashkin V.G. Method for creating direction in the well. Author's certificate 956728; declared 10/28/1980; published 09/07/1982. 3 p.
4. Neskormnykh V.V. Directional drilling and core measurement. Moscow: INFRA-M, 2015. 337 p.
5. Neskormnykh V.V., Eliseev A.D., Grinchuk A.V., Nadelyaev A.A. Improving the technology for drilling additional wellbores in hard and very hard rocks with

- continuous rejects // Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits. 2009. Vol. 34, No. 1. P. 154—159.
6. Neskormnykh, V.V. Methods and technical means of wedge-free drilling of additional wellbores from artificial faces. Moscow: MGP Geoinformmark, 1993. 55 p.
 7. Neskormnykh V.V. Drilling of inclined, horizontal and multilateral wells. Krasnoyarsk: SFU, 2016. 320 p.
 8. Shrago L.G., Yudborovsky I.M. Curvature of wells under the action of a constant magnitude of the deflecting force // Technique and technique of exploration. Leningrad, 1964. Issue 48. P. 47—51.
 9. Morenov V., Leusheva E. Development of drilling mud solution for drilling in hard rocks // International journal of engineering, transactions a: basics. Materials and Energy Research Center. 2017. Vol. 30, No. 4. P. 620—626.
 10. Tianshou Ma, Ping Chen, Jian Zhao. Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2016. Vol. 2, No. 4. P. 365—395.
 11. Weiliang Wang, Yanfeng Geng, Ning Wang, Xiaojiao Pu. Joice de Oliveira Fiaux. Toolface Control Method for a Dynamic Point-the-Bit Rotary Steerable Drilling System. Energies. 2019. No 12. 1831 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Лысаков Д.В. — внес вклад в анализ работы отклонителя в сложных-горно-геологических условиях, участвовал в разработке конструкции деревянной пробки, выполнил перевод текста на английский язык, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vyacheslav V. Neskormnykh — 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 agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Dmitry V. Lysakov — contributed to the analysis of the diverter operation in difficult mining and geological conditions, participated in the development of the design of a wooden plug, translated the text into English, 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

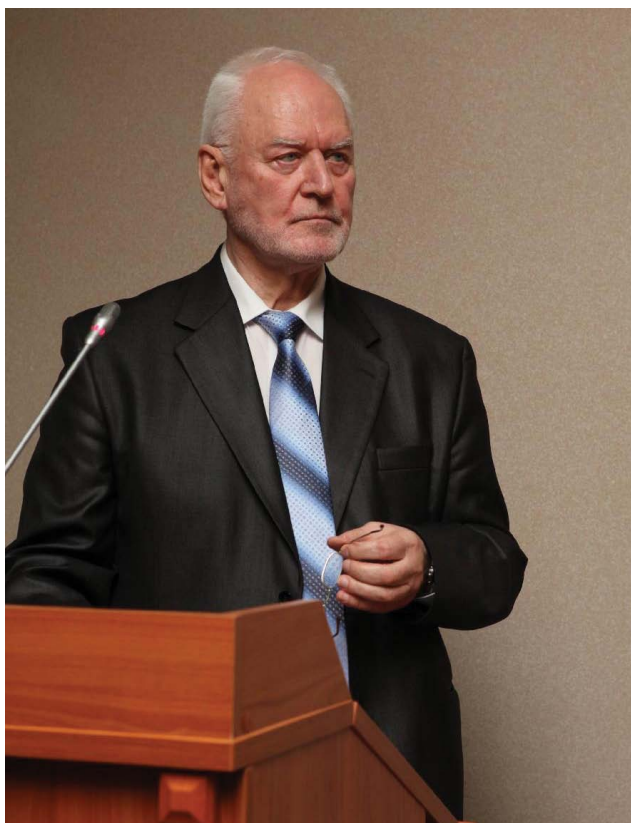
Нескоромных Вячеслав Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и техники разведки Института горного дела технологии и геотехнологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» 79, Свободный проспект, г. Красноярск 660041, Россия
e-mail: sovair@bk.ru
тел.: +7 (902) 976-2364, +7 (391) 206-37-72
SPIN-код: 1506-9273
Scopus ID: 57194141875

Vyacheslav V. Neskormnykh — Dr. of Sci. (Techn.), Prof., Head of the Department of exploration technologies and techniques, Institute of Mining Technology and Geotechnology, Siberian Federal University
e-mail: sovair@bk.ru
tel.: +7 (902) 976-2364, +7 (391) 206-37-72
SPIN: 1506-9273
Scopus ID: 57194141875

Лысаков Дмитрий Викторович* — аспирант, старший лаборант кафедры технологии и техники разведки Института горного дела технологии и геотехнологий ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» 79, Свободный проспект, г. Красноярск 660041, Россия
e-mail: lysackovd@yandex.ru
тел.: +7 (999) 443-02-96, +7 (391) 206-37-72
SPIN-код: 3676-4649
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-5906>

Dmitry V. Lysakov* — postgraduate student, Senior Laboratory Assistant, Department of exploration technologies and techniques, Institute of Mining Technology and Geotechnology, Siberian Federal University
e-mail: lysackovd@yandex.ru
tel.: +7 (999) 443-02-96, +7 (391) 206-37-72
SPIN: 3676-4649
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-5906>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ЮРИЮ ГЕРАСИМОВИЧУ
БОГОМОЛОВУ,
ПРЕДСЕДАТЕЛЮ ПРАВЛЕНИЯ
РОССИЙСКОГО СОЮЗА
ГИДРОГЕОЛОГОВ, ВЕДУЩЕМУ
СПЕЦИАЛИСТУ В ОБЛАСТИ
ГИДРОГЕОЛОГИИ,
ИСПОЛНИЛОСЬ 80 ЛЕТ.

Юрий Герасимович Богомолов родился 5 мая 1940 года в Москве в семье ученого. В 1957 году поступил на Гидрогеологический факультет Московского геологоразведочного института им. Серго Орджоникидзе, который окончил в 1962 году по специальности «Горный инженер, гидрогеолог».

В 1970 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова).

С 1972 по 1989 год работал на контракте Минводхоза СССР в Республике Замбия в качестве техника-гидрогеолога, был руководителем группы, главным специалистом,

начальником отдела института «Гипроводхоз» Минводхоза СССР, экспертом Организации Объединенных Наций (уровень Р-5) в Египте и в Йеменской Арабской Республике.

Ю.Г. Богомолов является одним из ведущих специалистов и аналитиков современного состояния гидрогеологической науки и практики, ее роли в различных отраслях народного хозяйства и в области безопасности водных ресурсов России и СНГ. В настоящее время — председатель Правления Общероссийской общественной организации «Российский союз гидрогеологов» (РосГидроГео) (с 2011 г.). Опубликовал более 100 научных и прикладных работ, включая 3 монографии. Книга Ю.Г. Богомолова, В.Ф. Жабина,

В.Х. Хачатурьяна «Изменение гидрогеологических условий под влиянием мелиорации» переведена на несколько языков, широко используется в аридных странах Ближнего Востока и Северной Африки. Проводил исследования в странах СНГ (Россия, Белоруссия, Казахстан, Таджикистан), Ближнего Востока и Африки (Йемен, ОАЭ, Бахрейн, Замбия, Египет, ЮАР и др.), читал лекции в Западной Европе и Китае; участник Международных геологических конгрессов и симпозиумов (СССР, Россия, СНГ, США, Канада, Франция). Получил Благодарность Председателя Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, награжден Почетной грамотой Министерства природных ресурсов и экологии РФ в связи с 75-летием со дня рождения, Почетной грамотой Комитета ГД РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии, лауреат «Национальной экологической премии им. В.И. Вернадского», премии «Имперская культура им. Э. Володина», награжден медалью РОСГЕО

им. А.Е. Ферсмана «За заслуги в геологии», ветеран труда. Ю.Г. Богомолов — действительный член Русского географического общества, член Союза писателей России. Автор идеи создания международного проекта «Старейшие гидрогеологи мира» и предисловия к первому тому такого сборника.

Юрию Герасимовичу Богомолову — председателю Правления Российского союза гидрогеологов, ведущему специалисту в области гидрогеологии — в 2020 году исполнилось 80 лет. А отцу Юрия Герасимовича Богомолова — академику Герасиму Васильевичу Богомолову, профессору Московского геологоразведочного института имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), в этом году исполнилось бы 115 лет.

Правление РосГидроГео и РОСГЕО высоко ценят идею Ю.Г. Богомолова вместе с ветеранами водного хозяйства о создании единого органа государственного управления водным хозяйством России.

Редакция журнала и трудовой коллектив Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) желают Юрию Герасимовичу крепкого здоровья и дальнейшей плодотворной деятельности.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ / BOOK REVIEW

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-97-100>

УДК 551.7

О КНИГЕ «ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ.
ОТ ЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ К ЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ»

В.Н. КОМАРОВ

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

В книге¹ дана обстоятельная картина истории Земли. Авторы рассказывают о последовательных изменениях палеогеографических обстановок и причинах, которые к ним привели, об изменении уровня Мирового океана и очертаний континентов, процессах вулканизма, основных закономерностях формирования полезных ископаемых. Особое внимание уделено важнейшим арогенезам эволюционного развития, создавшим возможности для выхода организмов за пределы привычной для них обстановки и открывшим перспективы широкой экологической экспансии. В качестве узловых точек в процессе эволюции отдельных групп органического мира и смены ландшафтов авторы знакомят читателей со скелетной революцией, возникновением органов зрения, появлением корней у растений, формированием первых почв, выходом позвоночных на сушу, расцветом насекомых, появлением млекопитающих и цветковых растений. Приведены подробные сведения о наиболее интересных вымерших организмах отдельных периодов геологической истории Земли. Рассмотрены их морфология, размеры, образ жизни, пищевые стратегии, причины вымирания. Особый интерес представляет материал, посвященный появлению и развитию человека, а также его масштабному всестороннему влиянию на природу. В заключительном разделе книги авторы размышляют о будущем нашей планеты.

Ключевые слова: историческая геология, палеонтология, эволюция

Для цитирования: Комаров В.Н. О книге «История Земли. От звездной пыли к звездной пыли». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(2):97—100.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-97-100>

Статья поступила в редакцию 29.01.2020

Принята к публикации 30.05.2020

Опубликована 10.08.2020

ABOUT THE BOOK "HISTORY OF THE EARTH.
FROM STARDUST TO STARDUST"

VLADIMIR N. KOMAROV

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

The book² gives a detailed picture of the Earth's history. The authors describe successive changes in paleogeographic settings and their underlying reasons, changes in ocean levels and continent outlines, the processes of volcanism and basic laws of mineral formation. Particular attention is paid to the most important arogeneses of evolutionary development, which created conditions for organisms to leave their habitual environment, thus opening up new prospects for a wide ecological expansion. As nodal points in the evolution of individual groups of the organic world and landscape changes, the authors acquaint readers with the skeletal revolution, the emergence of organs of

¹ Нелихов А.Е., Иванов А.В. История Земли. От звездной пыли к звездной пыли. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019. 128 с.

² Nelihev A.E., Ivanov A.V. History of the Earth. From Stardust to Stardust. Moscow: Mann, Ivanov & Ferber, 2019. 128 p.

vision, the appearance of roots in plants, the formation of first soils, the emergence of vertebrates on land, the flourishing of insects, the appearance of mammals and flowering plants. Detailed information on the most interesting extinct organisms of certain periods of the Earth's geological history is given. Their morphology, size, lifestyle, nutritional strategies and causes of extinction are considered. Of particular interest is the part devoted to the appearance and development of mankind, as well as its large-scale comprehensive impact on nature. In the final section of the book, the authors reflect on the future of our planet.

Keywords: historical geology, paleontology, evolution

For citation: Komarov V.N. About the book "History of the Earth. From Stardust to Stardust". *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):97—100. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-97-100>

Manuscript received 29 January 2020

Accepted 30 May 2020

Published 10 August 2020

Рецензируемая книга состоит из пяти основных разделов, в которых последовательно рассматривается развитие Земли. Необычайно широкая историческая панорама, открывающаяся читателю, начинается с описания хадейского зона. Примерно 4,56 млрд лет назад в пределах Млечного Пути взорвалась звезда. В результате возникла вращающаяся с большой скоростью новая «звездная колыбель», представляющая собой облако ледяной пыли, газа и каменных обломков. Это облако сжималось, его обороты нарастали, вещество раскалялось, и наконец в его центре вспыхнула звезда, которую мы называем Солнце. Постепенно материал из газа и камней, вращающийся вокруг Солнца, стал слипаться. За 2—3 млн лет образовались твердые планеты: Меркурий, Венера, Земля и Марс. Легкий газ вынесло на окраину вращающегося вихря, где он сформировал гигантские газовые планеты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Примерно через 100 млн лет после рождения Солнечной системы с Землей столкнулась протопланета Тея. Вещество Теи вошло в недра Земли, которая стала в полтора раза больше и тяжелее. Один крупный обломок Теи выбросило на орбиту, и он стал спутником нашей планеты — Луной. Другие обломки образовали горячее облако из камней, которое расположилось вокруг Земли в виде плоского кольца.

В некоторых местах на поверхности Земли скапливалась вода, перенасыщенная серой, железом и другими соединениями. Ее температура доходила до 200 °C, но вода не могла закипеть из-за высокого давления атмосферы. В этих условиях возникла жизнь. Вначале была «добиологическая жизнь», своего рода предшественница настоящей жизни: некоторые молекулы научились воспроизводить сами себя. Потом часть из них

обернулась в пленку-мембрану и появились первые клетки — уже настоящие живые организмы. Возникновение жизни было уникальным событием. Оно произошло однажды, о чем говорит сходство генетического кода всех живых существ. Первыми носителями этого кода, а возможно, и первыми живыми существами стали микроорганизмы, получившие название ЛУКА (LUCA, аббревиатура английских слов Last Universal Common Ancestor, то есть «последний универсальный общий предок организмов»). Эти одноклеточные существа без ядра были родоначальниками всего живого. На время существования ЛУКА пришелся глобальный космический катаклизм. По какой-то причине Юпитер придвинулся ближе к Солнцу, нарушив орбиты астероидов и приведя к массивной, продолжавшейся 400 млн лет, бомбардировке Земли. От ударов астероидов на нашей планете испарился почти весь газ неон. Атмосфера из неоновой стала азотно-углекисло-метановой. Астероиды вновь расплавили земную кору. От сильных ударов океан испарялся, превращаясь в водный пар с температурой в тысячи градусов. Во время тяжелой бомбардировки ЛУКА разделились на две группы микроорганизмов без ядра в клетке: бактерий и архей. Эти два царства микробов были единственными обитателями планеты. Только спустя 2 млрд лет к ним добавились эукариоты. Тяжелая бомбардировка уничтожила все следы первозданной Земли. Первые записи в геологической летописи планеты имеют возраст 4 млрд лет.

В архейском эоне, после окончания астероидной бомбардировки, на Земле вновь сформировалась твердая кора. Океан простирался почти по всей планете, температура воды доходила до 60 °C. Суша занимала 4% и по площади напо-

минала острова, похожие на Мадагаскар или Исландию. На поверхности температура составляла около 50 °С. Судя по отпечаткам капель архейских дождей (все они очень маленькие), плотность атмосферы была в два раза меньше, чем сейчас. Над планетой шел постоянный метеоритный дождь, ежедневно приносящий на ее поверхность массу космического материала. Микробы тонкими пленками покрывали дно неглубоких водоемов или качались на волнах, удерживаясь на плаву благодаря пузырькам газа. От смертоносного ультрафиолетового излучения они спасались с помощью слизи. Эволюция в мире бактерий шла совсем не так, как позднее у животных. Бактерии постоянно обменивались фрагментами генов: для передачи генетической информации они просто прикреплялись друг к другу и передавали частички ДНК. В результате деятельности микроорганизмов постепенно накапливались громадные залежи полезных ископаемых — марганца, урана, золота. Некоторые микробы оставили следы в виде строматолитов — окаменелых наслоений, состоящих из множества минеральных пленок. Они появились благодаря тому, что цианобактерии изменяли химические условия среды и ускоряли осаждение из воды различных минералов. Некоторые строматолиты вырастали до сотни метров в высоту и до нескольких километров в ширину. Используя солнечный свет, цианобактерии расщепляли молекулу воды и забирали себе атом водорода. Кислород шел на окисление железа, растворенного в воде океанов и морей. Так сформировались огромные месторождения железной руды.

Протерозойский эон, начавшийся 2,5 млрд лет назад, ознаменовался крупнейшей экологической перестройкой. Цианобактерии вырабатывали все больше кислорода. Поступление новых порций железа из недр планеты уже не успевало его нейтрализовать, и кислород стал накапливаться в атмосфере. Начал образовываться озон, создавший щит, который уменьшил жесткое ультрафиолетовое излучение Солнца. Микробам больше не надо было прятаться от него, и они смогли освоить новые места для обитания, в том числе сушу. Кислород взаимодействовал с метаном, превращая его в менее тепломкий углекислый газ. Температура быстро упала и Земля обледенела. Так началось первое в истории планеты грандиозное оледенение. Оно продолжалось 200 млн лет. В это время возникли первые эукариоты, обладающие важнейшей особенностью — у них появилось ядро. Эукариоты стали активно осваивать жизнь в кислородной среде. Использование этого газа в разы ускорило их

химические процессы. Кислород насыщал эукариот энергией в десятки раз большей, чем могли извлечь из окружающей среды археи и бактерии. Оледенение планеты, кислородная революция и появление эукариот совпали друг с другом. После столь сильных перемен наступила долгая, от 1,85 до 0,85 млрд лет пауза, которую ученые называли «скучным миллиардом лет». Кислород накапливался равномерно и медленно. Глобальное оледенение постепенно сошло на нет. Климат стал стабильным и в целом теплым. В океане сверху располагалась кислородная зона, а дно оставалось бескислородным. В толще воды расселились эукариоты, особенно одноклеточные водоросли акритархи, имевшие жесткие органические оболочки. В конце «скучного миллиарда» возникли многоклеточные организмы. Их появление привело к бурному росту эукариот, которые разделились на три царства: грибы, водоросли и животные. Строматолитовые бактериальные сообщества заселили теплые моря. В прохладных высоких широтах жили эукариоты. Холодная вода лучше насыщалась кислородом и больше подходила для них. Вскоре началось второе великое оледенение, продолжавшееся 200 млн лет и ставшее самым сильным в истории Земли. В это время эукариоты все больше вытесняли бактерий, плохо переносивших холод. Кроме того, они не переносили кислород, а из-за охлаждения воды два слоя в океане перемешивались и кислород проникал даже на большую глубину. Самый мощный эпизод великого оледенения закончился в вендском периоде 620 млн лет назад. Благодаря быстрому таянию снегов реки выносили в море огромное количество всевозможных химических веществ, которые создали очень питательную среду. Бурно распространились водоросли. Разнообразие животных в вендском периоде было небольшим. В конце вендского периода произошли резкие колебания температуры, которые привели к массовому вымиранию. Экзотические животные исчезли без следов и не оставили после себя потомков.

Далее в книге дана убедительная и обстоятельная картина фанерозойского эона, начавшегося 535 млн лет назад. Авторы анализируют последовательную смену палеогеографических обстановок и причины, которые к ней привели, рассказывают об изменениях уровня Мирового океана и очертаний континентов, процессах вулканизма, основных закономерностях формирования залежей полезных ископаемых. Особое внимание уделено важнейшим ароморфозам эволюционного развития, создавшим возможности для выхода организмов за пределы привычной для них обстановки

и открывшим перспективы масштабной экологической экспансии. В качестве ярких узловых точек в процессе эволюции отдельных ветвей органического мира и смены ландшафтов авторы знакомят читателей со скелетной революцией, возникновением у животных зрения, появлением корней у растений, формированием первых почв, выходом позвоночных на сушу, расцветом насекомых, появлением млекопитающих и цветковых растений, а также многим другим.

Авторы приводят подробные сведения о наиболее заметных действующих лицах отдельных периодов геологической истории Земли, останавливаясь на их морфологии, размерах, образе жизни, пищевых стратегиях, причинах вымирания. Особый интерес представляет материал, посвященный появлению и развитию человека, а также его масштабному всестороннему влиянию на природу.

В заключительном разделе книги авторы размышляют о будущем нашей планеты. По их мнению, через 500 млн лет внутренняя граница зоны возможной жизни Солнечной системы вплотную приблизится к Земле. Полюса станут тропиками. Экватор превратится в раскаленную пустыню. Жизнь пойдет обратным путем, только события станут развиваться быстрее. Вначале исчезнут животные на суше — они не смогут решить проблему перегрева. Из глубоководных впадин и горячих подводных гейзеров выйдут и распространятся археи и бактерии. Земля опять превратится в планету микробов. Наступит неоархей, но он будет недолгим. Через 600 млн лет произойдет дегазация ядра планеты. Кислород массово выйдет в атмосферу. Это событие будет сопровождаться чудовищными вулканическими извержениями и землетрясениями. Воздух перенасытится кислородом, резко возрастет атмосферное давление. Испарятся последние водоемы, оставшиеся от Мирового океана. Наступит биоло-

гическая смерть планеты. Через 1,5 млрд лет все тяжелое железо окончательно войдет в ядро планеты. Химические элементы займут свои места, четко распределившись по уровням плотности. Движение в недрах планеты остановится. Ослабленное магнитное поле уже не будет мешать солнечному ветру. Он сдует остатки атмосферы, и Земля станет подобием Марса. Через 5 млрд лет Солнце колоссально увеличится в размерах, превратится в красный гигант, который поглотит Меркурий и Венеру и приблизится к орбите Земли. Из подобия Марса Земля превратится в раскаленный аналог Меркурия. Наконец, Солнце сбросит внешние оболочки и превратится в белый карлик. Оно будет медленно остывать, пока не погаснет окончательно. Вокруг него будут летать ледяные планеты. Случайные столкновения с кометами и другие космические катаклизмы постепенно разрушат все остатки Солнечной системы. Она снова превратится в потенциальную звездную колыбель из пыли, газа и льда.

Для читателей рецензируемая книга представляет собой поистине огромное поле познания. В ходе своего повествования авторы, избегая расхожих, трафаретных представлений о мире вымерших существ, знакомят с самыми новыми открытиями палеонтологии. История нашей планеты показана в виде увлекательного, стремительно развивающегося действия с динамичными и эффектными сюжетными поворотами. Книга обладает той силой яркости и выразительности, которые, вне всякого сомнения, оставят в памяти читателя целостное впечатление о героях и событиях истории Земли, осмысленных и художественно запечатленных авторами. Рецензируемая книга будет полезна для всех, кого интересует история нашей планеты — от школьников среднего возраста до студентов, преподавателей и научных сотрудников.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Комаров Владимир Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры палеонтологии и региональной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

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

e-mail: komarovmgri@mail.ru

SPIN-код: 2739-5934

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

Vladimir N. Komarov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of paleontology and regional Geology, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: komarovmgri@mail.ru

SPIN: 2739-5934

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4719-1484>

