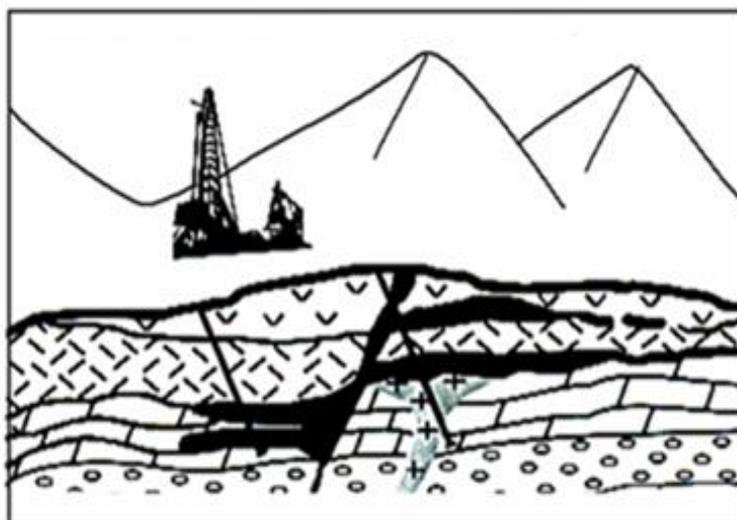


ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463



ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**ГЕОЛОГИЯ,
РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**



2018

Том 41, № 2

Министерство образования и науки РФ
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ГЕОЛОГИЯ, РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Том 41, № 2

Издательство
Иркутского национального исследовательского
технического университета

2018

Ministry of Education and Science of the Russian Federation

**IRKUTSK NATIONAL RESEARCH
TECHNICAL UNIVERSITY**

**ISSN print 2541-9455
ISSN online 2541-9463**

P R O C E E D I N G S
**OF THE SIBERIAN DEPARTMENT OF THE SECTION OF EARTH SCIENCES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL SCIENCES**

**GEOLOGY, EXPLORATION
AND DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS**

Vol. 41, No. 2

**Irkutsk National Research
Technical University
Publishers**

2018

УДК 550:553. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2018. – Т. 41. – № 2. – 132 с.

Журнал «Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых» **входит в действующий Перечень изданий ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук**, включен в Научную электронную библиотеку (eLIBRARY.RU) для создания Российского индекса научного цитирования, рассылается в Российскую книжную палату, ВНИИТИ РАН, имеет государственную регистрацию и распространяется по подписке в каталоге агентства «Почта России», подписной индекс № 38200. С 2013 г. журнал включен в международный каталог периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory, а с 2015 г. – в базу данных EBSCO. Статьи, опубликованные в журнале, реферируются и рецензируются. В журнал принимаются статьи по научному направлению «Науки о Земле».

В разделе журнала «Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» публикуются статьи, содержащие описание минерально-сырьевой базы крупных рудных районов Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока, месторождений Иркутской области, Якутии, Забайкалья, стран СНГ, Монголии, Китая, нефтегазоносных структур Сибирской и Китайской платформ, а также минералогии и тектоники рудных районов.

В раздел «Технологии разведки и разработки месторождений полезных ископаемых» включаются статьи по эффективности извлечения золота, технологии бурения скважин, интерпретации геофизических данных, геотехнологии (открытой и подземной), ГИС-технологиям, маркшейдерии, геометрии недр и проблемам геозкологии.

Статьи предназначены для научных сотрудников НИИ, преподавателей вузов, специалистов геологической отрасли и горного дела, а также могут быть полезны аспирантам, магистрантам и студентам.

Редакционная коллегия:

Главный редактор, ответственный редактор выпуска – В.И. Снетков, д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Члены редколлегии:

Ж.В. Семинский, д-р г.-м. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет, действительный член РАН (г. Иркутск, Россия), Д.П. Гладкочуб, член-корр. РАН, д-р г.-м. наук, Институт земной коры СО РАН (г. Иркутск, Россия), И.В. Гордиенко, член-корр. РАН, Геологический институт СО РАН (г. Улан-Удэ, Россия), В.А. Душин, д-р г.-м. наук, проф., Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, Россия), А.В. Козлов, д-р г.-м. наук, проф., Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (г. Санкт-Петербург, Россия), А.Т. Корольков, д-р г.-м. наук, проф., Иркутский государственный университет (г. Иркутск, Россия), В.А. Макаров, д-р г.-м. наук, проф., Сибирский федеральный университет (г. Красноярск, Россия), Ю.Б. Миронов, д-р г.-м. наук, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург, Россия), Очир Гэрэл, д-р г.-м. наук, проф., Монгольский университет науки и технологии (г. Улан-Батор, Монголия), Б.Л. Тальгамер, д-р техн. наук, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия), А.И. Трубачев, д-р г.-м. наук, проф., Забайкальский государственный университет (г. Чита, Россия)

Ответственный секретарь – В.А. Храмовских, к-т техн. наук, доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет (г. Иркутск, Россия)

Журнал создан в 2004 году на основе межвузовского сборника «Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых», который издавался с 1973 года

Периодичность выхода – 4 раза в год

Учредитель ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации журнала ПИ № ФС77-67479 от 18.10.2016 г.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом Иркутского национального исследовательского технического университета

Адрес редакции, учредителя и издателя: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

© ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», 2018

UDC 550:553. **Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits.** – Irkutsk: INRTU Publishers, 2018. – Vol. 41. – No. 2. – 132 p.

The journal “Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits” **is included in the current list of editions of the State Commission for Academic Degrees and Titles for the publication of the main results of dissertations for Candidate’s and Doctoral degrees**, in the Scientific Electronic Library (eLIBRARY.RU) in order to create the Russian Science Citation Index. It is sent to the Russian Book Chamber of All-Russia Institute of Scientific and Technical Information of the Russian Academy of Sciences. It has a state registration and is distributed by subscription in the catalog of the “Russian Post” agency, the subscription index is no. 38200. From 2013, the journal is included in the international catalog of Ulrich's Periodicals Directory and from 2015 it is included in EBSCO database. The articles published in the journal are abstracted and peer reviewed. The journal accepts articles in the scientific field of “Earth Sciences”.

The section of the journal *Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits* contains the articles that describe the mineral resource base of the major ore districts of Siberia, Trans-Baikal region, Far East, deal with the deposits of the Irkutsk region, Yakutia, Trans-Baikal region, CIS countries, Mongolia, China, oil and gas bearing structures of the Siberian and Chinese platforms, consider the mineralogy and tectonics of ore regions.

The section *Technologies of Exploration and Development of Mineral Deposits* presents the articles discussing the efficiency of gold extraction, the technology of drilling wells, interpretation of geophysical data, geotechnology (opencast and underground mining), GIS-technologies, mine surveying, subsurface geometry as well as the problem of geocology.

The articles are intended for research institute associates, university lecturers, specialists in the geological industry and mining. They also can be useful to postgraduate students, undergraduates and students.

Editorial Board:

Editor-in-Chief, Executive Editor – V.I. Snetkov, Doctor of technical sciences, Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

Members of the editorial board:

Zh.V. Seminsky, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Irkutsk National Research Technical University, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences (Irkutsk, Russia), D.P. Gladkochub, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Institute of the Earth's Crust SB RAS (Irkutsk, Russia), I.V. Gordienko, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Geological Institute of SB RAS (Ulan-Ude, Russia), V.A. Dushin, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Ural State Mining University (Ekaterinburg, Russia), A.V. Kozlov, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, National Mineral Resources University “Mining University” (St. Petersburg, Russia), A.T. Korolkov Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Irkutsk State University (Irkutsk, Russia), V.A. Makarov, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia), Yu.B. Mironov, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (St. Petersburg, Russia), Ochir Gerel, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Mongolian university of science and technology (Ulan Bator, Mongolia), B.L. Talgamer, Doctor of technical sciences, Professor, Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia), A.I. Trubachev, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Trans-Baikal State University (Chita, Russia)

Executive secretary – V.A. Khramovskikh, Candidate of technical sciences, Associate Professor of Irkutsk National Research Technical University (Irkutsk, Russia)

The journal was founded in 2004 on the basis of the interacademic Collection of research papers “Geology, prospecting and exploration of ore minerals”, which had been published since 1973

Periodicity – 4 times a year

Founder – Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
“Irkutsk National Research Technical University”

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications,
Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor).

Journal Registration Certificate PI no. ФC77-67479 of October 18, 2016

Recommended for publication by the Editorial Committee of the Irkutsk National Research Technical University

Editorial Office Address: Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
“Irkutsk National Research Technical University”,
83 Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russia.

© Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
“Irkutsk National Research Technical University”, 2018

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ГЕОЛОГИЯ, РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Том 41, № 2 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Геология, поиски и разведка
месторождений полезных ископаемых

Семинский Ж.В. Рудные пояса Байкало-Забайкальского региона. Часть II.....	9
Татаринов А.В., Яловик Л.И., Яловик Г.А. Прогнозная оценка на алмазы и золото Олондинского зеленокаменного пояса (Забайкальский край).....	29
Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Цыденова Д.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Результаты изотопного изучения эпитермальных флюоритовых месторождений Западного Забайкалья (источники вещества и флюидов).....	41
Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А. Геохимия редкоземельных элементов в известняках торгашинской свиты и содержащихся в них флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых ониксах (Восточный Саян).....	54

Технологии разведки и разработки
месторождений полезных ископаемых

Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Компаниец С.В., Смирнов А.С., Горлов И.В., Мартынов Н.Н. Применение градиента геоэлектрических параметров горных пород по данным метода зондирования становлением поля в ближней зоне для прогноза рапонасыщенных зон с аномально высоким пластовым давлением в карбонатных межсолевых коллекторах в разрезе нижнего кембрия юга Сибирской платформы.....	65
---	----

Поспеев А.В., Мурзина Е.В., Компаниец С.В., Емельянов В.С. Возможности электромагнитных установок при изучении полей вызванной поляризации.....	80
Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Изучение элементов морфологии Могодского разлома в Монголии по данным электро-разведки.....	91
Тальгамер Б.Л., Рославцева Ю.Г., Мурзин Н.В. Обоснование объемов подготовленных и вскрытых запасов полезных ископаемых сложноструктурных рудных месторождений.....	102
Ламбин А.И. Составляющие процесса выноса разрушенной породы из скважины.....	111

Память о них сохраним

Кочнев А.П., Лобацкая Р.М. Виктор Давыдович Мац – к 91-летию со дня рождения.....	118
К сведению авторов.....	126

PROCEEDINGS
OF THE SIBERIAN DEPARTMENT OF THE SECTION OF EARTH SCIENCES
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL SCIENCES

GEOLOGY, EXPLORATION AND DEVELOPMENT
OF MINERAL DEPOSITS

Vol. 41, No. 2 2018

CONTENTS

Pp.

Geology, Prospecting and Exploration
of Mineral Deposits

Seminsky Zh.V. Ore belts of the Baikal-Transbaikal region. Part II.....	9
Tatarinov A.V., Yalovik L.I., Yalovik G.A. Prediction estimate of Olondo Greenstone belt diamonds and gold (Trans-Baikal territory).....	29
Lastochkin E.I., Ripp G.S., Tsydenova D.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E. Results of isotopic study of epithermal fluorite deposits of Western Transbaikalia (sources of matter and fluids).....	41
Bondina S.S., Ananiev S.A., Ananieva T.A. Geochemistry of rare-earth elements in Torgashino suite limestones and fluidolites, argillisites and calcite onyxes contained in them (Eastern Sayans).....	54

Technologies of Exploration and Development
of Mineral Deposits

Ilyin A.I., Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Buddo I.V., Agafonov Yu.A., Kompaniets S.V., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Martynov N.N. Application of rock geoelectric parameter gradient based on near-field transient electromagnetic sounding data to predict brine-saturated overpressured zones in carbonate intrasalt reservoirs in the section of lower Cambrian reservoirs of the south of the Siberian platform.....	65
--	----

Pospeev A.V, Murzina E.V., Kompanies S.V, Emelyanov V.S. Capabilities of electromagnetic installations when studying the fields of induced polarization.....	80
Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. Study of Mogod fault morphological elements (Mongolia) by electrical exploration data.....	91
Talgamer B.L., Roslavitseva Yu.G., Murzin N.V. Substantiation of the volumes of prepared and accessed reserves of minerals from complex structure ore deposits.....	102
Lambin A.I. Components of the process of broken rock removal from the well....	111

They will Never be Forgotten

Kochnev A.P., Lobatskaya R.M. Viktor Davydovich Matz – on the 91 th birth anniversary.....	118
Attention of authors	126

Оригинальная статья / Original article

УДК 553.078

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-9-28>

РУДНЫЕ ПОЯСА БАЙКАЛО-ЗАБАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА. ЧАСТЬ II

© Ж.В. Семинский^а

^аИркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. Цель. Выделение и описание рудных поясов внутриплитных тектонических обстановок на территории Центрального, Южного и Восточного Забайкалья. **Результаты.** Ранее были выделены и описаны металлогенические пояса внутриплитной природы, а в данной статье рассматриваются их составные части – рудные пояса. В пределах Чикой-Шилкинского пояса это Чикойский, Онон-Туринский, Агинский, Нерча-Тунгирский, Шилка-Амазарский рудные пояса. Керуленско-Аргунский металлогенический пояс включает Приаргунский и Газимуро-Урюмканский рудные пояса. Геодинамическая обстановка определяется формированием месторождений в поясах, фундамент которых составляют террейны кратонной, океанической и другой природы; сшивающие и перекрывающие комплексы имеют преимущественно каледонский, герцинский возраст, представлены вулканическими, плутоническими, терригенно-карбонатными формациями; внутриплитные, в основном киммерийские комплексы пород относятся к вулканоплутоническим и терригенным образованиям рифтогенных зон. Рудные пояса внутриплитных обстановок характеризуются широким спектром месторождений: олово, вольфрам, золото, молибден, уран, флюорит, полиметаллы. Господствовали гидротермальные процессы рудообразования мезозойской металлогенической эпохи. **Выводы.** Большинство рудных узлов и полей внутриплитных поясов входит в состав магматогенно-рудных систем плутонического или вулканоплутонического типов, тяготеющих к разломным узлам. В условиях сложного сочетания микротеррейнов и сшивающих комплексов благоприятные обстановки для гидротермального рудообразования большей частью имели место в древних жестких блоках, где образовались глубокие расколы, контролировавшие магматизм и рудоотложение (Муйский, Урулюнгуйский и другие микротеррейны).

Ключевые слова: металлогеническое районирование, рудные пояса, внутриплитные геодинамические обстановки, рудные узлы, месторождения редких, благородных, цветных металлов.

Информация о статье. Дата поступления 4 июня 2018 г.; дата принятия к печати 15 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Семинский Ж.В. Рудные пояса Байкало-Забайкальского региона. Часть II // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 9–28. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-9-28

ORE BELTS OF THE BAIKAL-TRANSBAIKAL REGION. PART II

© Zh.V. Seminsky

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664072, Russian Federation

ABSTRACT. The **Purpose** of the paper is to identify and describe the ore belts of intraplate tectonic environments on the territory of Central, Southern and Eastern Transbaikalia. **Results.** In earlier works we have identified and described metallogenic belts of intraplate nature. This article deals with the ore belts as their constituents. Within

^аСеминский Жан Вячеславович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем, тел.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@ex.istu.edu

Zhan V. Seminsky, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Applied Geology, Geophysics and Geoinformation systems, tel.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@ex.istu.edu

the Chikoy-Shilkinsky belt we distinguish Chikoy, Onon-Turinsky, Agin, Nercha-Tungir, Shilka-Amazar ore belts. The Kerulensko-Argunsky metallogenic belt includes the Priargunsky and Gazimur-Uryumkan ore belts. Geodynamic conditions are determined by the formation of deposits in the belts, the foundation of which is made up of terranes of craton, oceanic and other nature. The cross-linking and overlapping complexes that are predominantly of Caledonian, Hercynian age are represented by volcanic, plutonic, terrigenous-carbonate formations; intraplate basically Cimmerian rock complexes refer to volcanic-plutonic and terrigenous formations of riftogenic zones. Ore zones of intraplate environments feature a wide range of deposits: tin, tungsten, gold, molybdenum, uranium, fluorite, polymetals. The hydrothermal ore formation processes of the Mesozoic metallogenic epoch prevailed. **Conclusions.** Most of the ore clusters and fields of intraplate belts are included in magmatogene-ore systems of plutonic or volcanic-plutonic types associated with fault zones. Under complex combination of microterranes and cross-linking complexes favorable for hydrothermal ore formation conditions predominantly took place in ancient hard blocks where deep splits were formed. The latter controlled magmatism and ore deposition (Muya, Urulungui and other micro-terrains).

Keywords: *metallogenic zoning, ore belts, intraplate geodynamic conditions, ore clusters, deposits of rare, noble and non-ferrous metals*

Article info. Received 4 June 2018; accepted for publication 15 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Seminsky Zh.V. Ore belts of the Baikal-Transbaikal region. Part II. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 9–28. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-9-28. (In Russian).

Рудные пояса внутриплитных плюмтектонических (эпикратонных) орогенов

Рудные пояса внутриплитных орогенных обстановок, включающих значительные площади Забайкалья в период и после закрытия Монголо-Охотского океана, были связаны, очевидно, с развитием суперплюма, охватившего в позднем палеозое – мезозое практически весь Северо-Азиатский континент. Эти процессы происходили на площади, сложенной разными по природе и размерам аккретированными террейнами, входившими в состав нескольких супертеррейнов, что описано многими исследователями [1–4]. Большинство из них эта и прилегающие площади рассматриваются как коллаж трех супертеррейнов: Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского [5 и др.].

В пределах тектонических структур, расположенных к северу и северо-западу от зоны Монголо-Охотского разлома, тектонический режим, обусловивший сводово-блоковое строение и магматизм внутриплитного типа, установился, скорее всего, в послеордовикское время.

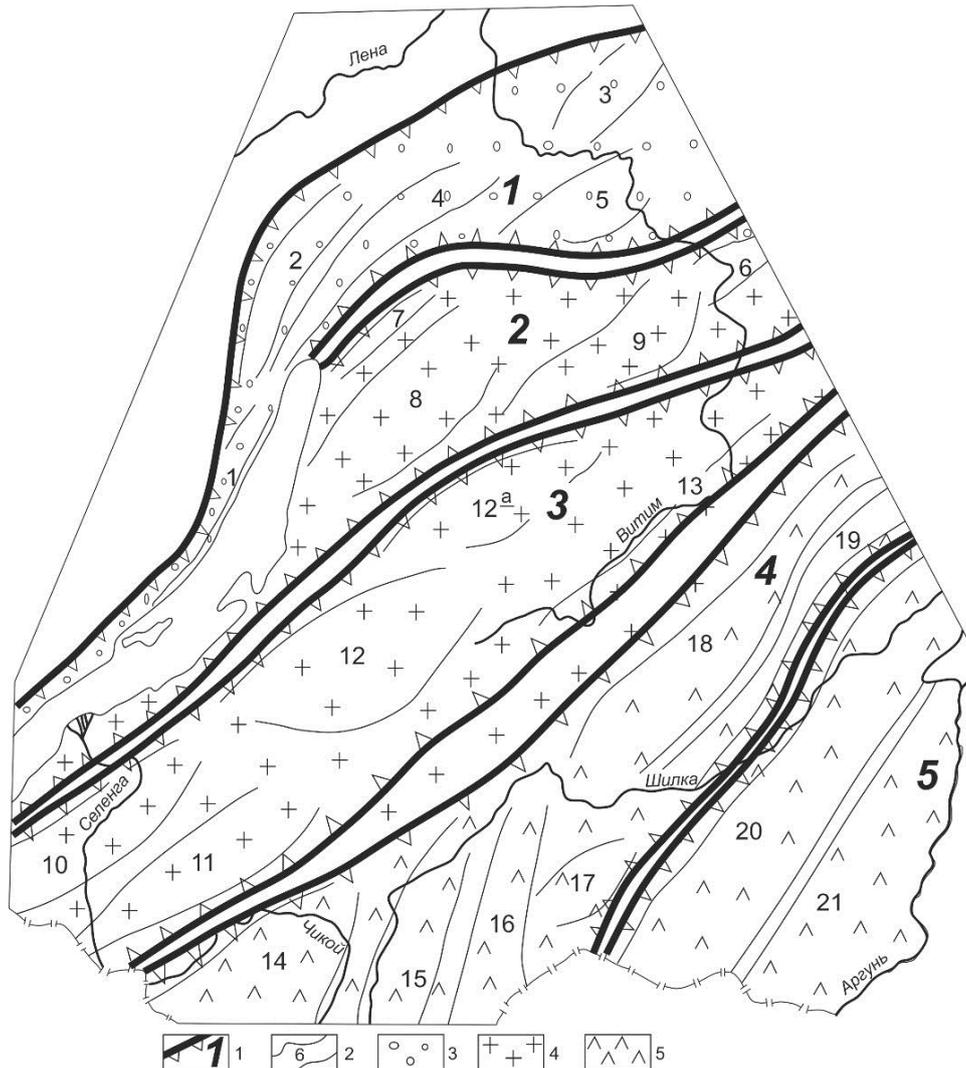
К юго-востоку от этой сутуры эпикратонные орогенные процессы становятся господствующими со средней юры. На внутриплитном этапе развития формировались крутопадающие разломы и надвиги, движения по которым предопределили образование систем сводовых и депрессивных зон. Эти структуры вытянуты в северо-восточном направлении. Вдоль крупных разломов концентрируются зоны рифтинга – системы грабенов, выполненных терригенными и вулканогенными породами, часто с угленосными толщами. Развитие разрывной тектоники тесно связано с горизонтальными движениями по тектоническим швам Монголо-Охотской системы разломов. Перемещение блоков, расположенных к югу от Монголо-Охотской сутуры, происходило в восточном направлении, однако на локальных участках земной коры движения были более сложными и определялись перемещениями по Онон-Туринскому, Восточно-Агинскому и другим разломам, которые отходят от главного шва сутуры в южных румбах или близпараллельно ему. Очевидно, с перемещениями по продольным разломам связано формирование серии

поперечных разрывных нарушений, имеющих в основном северо-западное и близширотное простирание. Наиболее проявлены такие разломы вблизи Монголо-Охотского разлома (Балейско-Дарасунский, Аникинский и др.). Системы продольных и поперечных разломов на внутриплитном плюмтектоническом этапе являлись главными магмо- и рудоконтролирующими элементами земной коры

Характерно, что субаэральные вулканические комплексы и комагматичные им малые интрузии имеют, как правило, прерывистое распределение в пространстве, обусловленное положением контролировавших их локальных поднятий плюма – струй тепломассопереноса, что было рассмотрено нами ранее [6]. Эти комплексы часто вмещают месторождения полезных ископаемых и являются определяющими геологическое строение рудных поясов. Как было показано в первой части статьи [7], металлогеническое районирование, проведенное нами в рассматриваемом регионе, выразилось в выделении двух таксонов – региональных металлогенических (минерагенических) поясов, а в их пределах – локальных рудных поясов [8]. Необходимо отметить, что в процессе изучения геолого-тектонических и металлогенических особенностей Байкало-Забайкальской области (с 70-х годов прошлого столетия) автор неоднократно рассматривал условия формирования и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых региона с позиций их связи с процессами тектоно-магматической активизации [9], то есть по современным представлениям – с внутриплитными процессами орогенеза [7]. Неоднократно также по мере эволюции взглядов на тектоническое строение корректировалось металлогеническое районирование [7, 8, 10, 11].

На основе анализа положения, состава, возраста магматических, осадочных комплексов, особенностей разрывной тектоники и локализации месторож-

дений полезных ископаемых нами выделялись три региональных внутриплитных металлогенических пояса: Джидда-Витимский к северо-востоку от Монголо-Охотской зоны разломов, а также Чикой-Шилкинский и Керуленско-Аргунский (Монголо-Приаргунский) к юго-востоку от этой зоны (рисунок). В пределах первого из них (в основном наследовавшего складчатую область палеозоид в рамках Байкало-Витимского структурно-формационного пояса) внутриплитные тектонические процессы начали проявляться во второй половине палеозоя, в двух других – с юрского времени, но здесь они были наиболее интенсивными и продуктивными в отношении рудоносности. Ниже описываются рудные пояса Чикой-Шилкинский и Керуленско-Аргунский металлогенических поясов. При этом контуры и положение металлогенических и рудных поясов уточнены по сравнению с ранее составленной схемой [7]. Для характеристики фундамента, на котором формировались рудные пояса, нами использовались схемы террейнов, предложенные А.Н. Булгатовым, И.В. Гордиенко, В.Г. Беличенко, В.Е. Хаиным, Г.С. Гусевым, Н.Л. Добрецовым, Н.А. Берзиным, Л.М. Парфеновым и другими исследователями [1–4]. Естественно, что учитывались и использовались материалы по рудоносности этой известной металлогенической провинции, в том числе полученные при выполнении ряда проектов в последнем десятилетии прошлого и первом десятилетии нынешнего столетия, о чем уже упоминалось в части I настоящей статьи [7]. Процессы магматизма и эндогенного рудообразования все чаще связывают с геологическим проявлением плюмов как колонн тепловых потоков и вещества. Поэтому при металлогеническом районировании рассматриваемой территории в дальнейшем необходимо учитывать структуру Монголо-Забайкальского суперплюма [12] и отдельных плюмов в его пределах.



**Схема расположения металлогенических и рудных поясов
 Юго-Восточной Сибири (по источнику [7] с изменениями):**

- 1 – границы металлогенических поясов и их номера: 1 – Байкало-Патомский, 2 – Байкало-Муйский, 3 – Байкало-Витимский (Трансбайкальский), 4 – Чикой-Шилкинский, 5 – Керуленско-Аргунский пояса; 2 – границы рудных поясов и их номера: 1 – Прибайкальский, 2 – Аkitканский, 3 – Тонодский, 4 – Олоkitский, 5 – Бодайбинский, 6 – Чаро-Токкинский, 7 – Верхне-Ангарский, 8 – Баргузинский, 9 – Муйский, 10 – Селенгинский, 11 – Хилокский, 12 – Озернинский (Еравнинский), 13 – Каренский, 14 – Чикойский, 15 – Верхне-Ингодинский, 16 – Онон-Туринский, 17 – Агинский, 18 – Нерча-Тунгирский, 19 – Шилка-Амазарский, 20 – Газимуро-Урюмканский, 21 – Приаргунский пояса; 3–5 – геологические комплексы: 3 – складчато-надвиговые окраинно-континентальные, 4 – аккреционно-коллизийные, 5 – внутриплитные плюмтeктонические

**Layout diagram of metallogenic and ore belts in South-Eastern Siberia
 (according to the source [7] with alteration):**

- 1 – boundaries of metallogenic belts and their numbers: 1 – Baikal-Patom, 2 – Baikal-Muya, 3 – Baikal-Vitim (Trans-Baikal), 4 – Chikoy-Shilkinsky, 5 – Kerulen-Argun belts; 2 – boundaries of ore belts and their numbers: 1 – Pribaikalsky, 2 – Akitkan, 3 – Tonod, 4 – Olokit, 5 – Bodaibo, 6 – Charo-Tokkinsky, 7 – Upper-Angara, 8 – Barguzin, 9 – Muya, 10 – Selenga, 11 – Khilok, 12 – Ozerninsky (Eravninsky), 13 – Karenga, 14 – Chikoy, 15 – Upper-Ingoda, 16 – Onon-Turinsky, 17 – Aginsky, 18 – Nercha-Tungir, 19 – Shilka-Amazarsky, 20 – Gazimur-Uryumkan, 21 – Priargun belts; 3–5 – geological complexes: 3 – fold-thrust marginal-continental, 4 – accretionary collision, 5 – intraplate plutonic

Рудные пояса Чикой-Шилкинского внутриплитного металлогенического пояса

Этот металлогенический пояс включает ряд богатых месторождениями рудных поясов: Чикойский, Верхне-Ингодинский, Агинский, Нерча-Тунгирский, Шилка-Амзарский. Они характеризуются высокой плотностью расположения рудных объектов.

Чикойский рудный пояс. Пояс протягивается на 400 км при ширине от 50 до 150 км; расположен в основном в пределах Куналейского турбидитового террейна, входящего в состав Монголо-Охотского супертеррейна. В геологическом строении территории выделяются три структурных этажа. Протерозойско-нижнепалеозойский фундамент сложен биотитовыми, биотит-амфиболовыми, амфиболовыми гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморами, кварцитами, амфиболитами и метаморфизованными терригенными породами с линзами известняков и эффузивов. Эти породы прорваны интрузиями известково-щелочных гранитоидов раннепалеозойского и карбонового возраста (даурский комплекс). Перекрывающие образования (второй структурный этаж) сложены субщелочными и щелочными вулканитами цаган-хунтейской и хапчерангинских свит позднего палеозоя – триаса, а также комагматичными и субщелочными и щелочными гранитоидными интрузиями. Позднемезозойские образования третьего структурного этажа (внутриплитный этап) включают вулканиты базальт-риолитовой, базальт-андезит-риолитовой формаций (джаргалантуйская (?), бырцинская и другие свиты), интрузии гранит-лейкогранитной, габбро-диоритовой формаций кыринского, асакан-шумиловского и харалгинского комплексов [9, 13].

В составе пояса наиболее широко распространены вольфрам-оловянная и вольфрам-молибденовая рудные

ассоциации: вольфрам-молибден-бериллевая (Куналейское месторождение); оловянно-вольфрамовая (Шумиловское месторождение); золото-кварцевая формация. Рудные тела локализуются в экзоконтактах штоков гранитов и гранит-порфиров (J₂) и в их надкупольной зоне. Кварц-вольфрамитовые и кварц-вольфрамит-касситеритовые жилы имеют пологие углы падения. Рудная минерализация: вольфрамит, шеелит, второстепенные – молибденит, касситерит, пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, галенит. Наиболее известное Шумиловское месторождение находится в апикальной части гранитного массива позднеюрского возраста [14] и содержит несколько десятков кварц-вольфрамитовых и кварц-вольфрамит-касситеритовых жил протяженностью до 700 м. В купольной зоне массива гранитов находится рудный штокверк вольфрамовых грейзенов (300×500 м). Также обнаружены повышенные содержания рубидия, тантала, никеля, молибдена, висмута и золота.

Часто встречается золоторудная минерализация, однако крупных промышленных скоплений не обнаружено. Обычно это золотосодержащие кварцевые жилы, минерализованные зоны и штокверки золото-кварцевой формации в толще осадочно-метаморфических пород среднего палеозоя вблизи контактов гранитов и гранодиоритов асакан-шумиловского юрского комплекса.

Верхне-Ингодинский рудный пояс. Пояс протягивается на 175 км при ширине от 25 до 50 км и ориентирован в северо-восточном направлении. Расположен в пределах турбидитового террейна. Геологическое строение территории во многом аналогично предыдущему поясу: фундамент сложен биотитовыми, биотит-амфиболовыми гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморами, кварцитами и амфиболитами, перекрытыми терригенными породами с линзами известняков, средних эффузивов, которые

прорваны гранитоидами даурского комплекса и перекрыты позднепалеозойскими субщелочными и щелочными вулканитами. Наиболее молодыми являются позднемезозойские известково-щелочные и субщелочные вулканиты и субщелочные гранитоиды – верхний структурный этаж.

Месторождения пояса – это преимущественно оловянные и оловянно-вольфрамовые рудные тела: касситерит-сульфидно-силикатные и вольфрамит-кварцевые жилы и штокверки (Ингодинское, Лево-Ингодинское, Новое, Сохондинское, Перевальное, Озерное, Букукунское и другие месторождения). Рудные тела контролируются региональным Ингодинским разломом, локализируются среди брекчированных роговиков и ороговикованных алевролитов. Характерна густая сеть рудных жил и прожилков, трубообразных тел оруденелых гранит-порфиров с кварц-касситеритовыми жилами и прожилками

Типичным является Букукунское месторождение, в котором более 60 кварц-вольфрамитовых жил двух групп: круто и пологопадающих. Кроме того, присутствуют два штокверка, которые формировались в участках повышенной трещиноватости вблизи контакта гранитов и сланцев. Площадь сложена гранитами и гранодиоритами, прорывающими юрские песчаники и сланцы. Широко распространены дайки кислого состава. Рудоконтролирующим является разлом близширотного простирания. Пологопадающие жилы небольшой мощности (до 40 см) слагают северо-западный и северо-восточный фланги рудного поля. Крутопадающие жилы различной мощности (иногда до 2 м) образуют несколько участков. Ранние по времени образования пологопадающие жилы более богаты вольфрамитом. Рудная минерализация месторождения представлена вольфрамитом, молибденитом, флюоритом, халькопититом, галенитом, сфалеритом.

Онон-Туринский рудный пояс. Пояс прослеживается в северо-восточном направлении на 310 км при ширине до 75 км и контролируется одноименным разломом, разделяющим Даурский и Агинский турбидитовые террейны.

Комплексы пород нижнего структурного этажа представлены метаморфизованными терригенными осадками (ононская свита), метабазитами, микрокварцитами (кулиндинская свита) с прослоями основных эффузивов и известняков. Распространены метаморфические толщи, сложенные биотитовыми, биотит-амфиболовыми, амфиболовыми гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморами, кварцитами и амфиболитами раннего палеозоя. Средний структурный этаж представлен неметаморфизованными терригенными флишоидными толщами, карбоновыми породами, субщелочными вулканитами пермского и триасового возраста. Указанные комплексы прорваны интрузиями известково-щелочных гранитоидов раннепалеозойского и карбонового возраста. Наиболее значительные площади занимают поля палеозойских гранитоидов даурского комплекса. Верхний структурный этаж представлен субщелочными и щелочными вулканитами (акуинская, бырцинская, букукунская свиты), а также комагматическими им субщелочными и щелочными гранитоидными интрузиями кыринского, асакан-шумиловского, харалгинского комплексов и гранит-лекогранитным кукульбейским комплексом, имеющими юрский или юрско-меловой возраст. Распространены лавовые, пирокластические, экструзивные и субвулканические разности, образующие вулcano-купольные, плутоно-купольные, депрессионные и другие постройки, сложенные породами дацит-гранодиоритовой, трахириолитовой, базальт-риолитовой формаций.

Рассматриваемый рудный пояс включает гидротермальные месторождения золота, олова, а также урана.

Месторождения олова представлены касситерит-сульфидно-силикатной формой (Тарбальджейское); месторождения золота связаны с гранитоидами и относятся к золото-порфировому типу (Ара-Илинское) и золото-малосульфидной формации (Любавинское); месторождения урана – в вулканических постройках (Акуинское рудное поле). Месторождения указанных типов имеют узловое распределение, сосредоточены в зонах разломов и локализируются на площадях проявления юрско-мелового магматизма и разрывной тектоники. Наиболее крупным является Любавинско-Тарбальджейский рудный узел [15] на юге пояса. Месторождения представлены простыми, седловидными жилами, штокверками золото-кварцевого, касситерит-сульфидно-силикатного состава. Ара-Илинское месторождение золото-порфирового типа локализуется в криповулканической диатреме и характеризуется вкрапленной золоторудной минерализацией штокверкового типа.

Наиболее известное Любавинское месторождение золота [14] находится на юго-западной оконечности Монголо-Охотской сутуры. Рудные тела расположены в слабо метаморфизованных песчано-сланцевых отложениях, прорванных штоками гранитоидов и дайками среднего и кислого состава. Наибольшая концентрация жил наблюдается вблизи мелких штоков гранитоидов. Это простые, иногда седловидные золото-кварцевые жилы близширотного простирания, минерализованные дайки, локальные участки штокверковой минерализации. Протяженные (сотни метров) крутопадающие брекчиевидные и короткометражные (десятки метров) пологопадающие жилы приурочены к трещинам скалывания параллельно слоистости или к трещинам отрыва. Распределение золота в жилах носит столбовой характер. Кварцевые жилы включают золото, арсенопирит и пирит; второстепенные –

галенит, сфалерит, халькопирит, блеклые руды, пирротин, висмутин, антимонит, иногда шеелит, касситерит, молибденит, киноварь и др. Золото свободное в кварце (до 70 %) крупное видимое, а также в сростаниях с сульфидами и в дисперсной форме. Спутники золота – серебро, мышьяк, свинец, медь, цинк, висмут; иногда встречаются аномальные содержания волфрама, молибдена, олова, марганца.

Тарбальджейское месторождение касситерит-сульфидно-силикатного типа состоит из трех штокверков и ряда жильных рудных тел, относится к комплексному касситерит-сульфидному оруденению, наложенному на оловорудные грейзены. Вмещающими являются метаморфизованные песчано-сланцевые отложения поздней перми-триаса (южное крыло) и силур-девонские (северное крыло), подверженные грейзенизации, калишпатизации, окварцеванию и сульфидизации. Жилы содержат касситерит, флюорит, галенит, сфалерит, самородное золото. Приурочены к надкупольной части скрытого штока мезозойских гранитоидов в зоне регионального разлома. Широко развиты дайки кварцевых порфиров, лампрофиров и порфириров (T₂-J₃). Месторождение относится к категории средних, частично отработано.

Месторождения урана Акухтинское, Восточное, Барун-Улача, сосредоточенные в пределах Акуинского рудного поля, относятся к мелким [16, 17]. Это вулканотектоническая постройка, сложенная нижней трахиандезит-риолитовой и верхней базальт-риолитовой толщами юрского возраста, которые прорваны гипабиссальными и субвулканическими гранит-порфирами, сиенит-порфирами, телами взрывных и эруптивных брекчий кислого состава. Постройка локализуется в узле пересечения разломов и относится к палеокальдерам. Крутопадающие жилы и линзы с настураном, титанами урана и незначительной примесью

сульфидов (пирит, галенит, молибденит, флюорит и др.) залегают среди гематитизированных, окварцованных, карбонатизированных, гидрослюдизированных вулканитов. Протяженность их – первые сотни метров, контролируются крутопадающими разрывами близмеридионального простирания при пересечении нарушениями других направлений.

Агинский рудный пояс. Пояс протягивается в северо-восточном направлении на 250 км при ширине 50–70 км. Находится в пределах сложного по внутреннему строению (составного) Агинского турбидитового террейна.

Нижний структурный этаж сложен метаморфизованными терригенными породами (ононская свита), кварцитами и базитами (кулиндинская свита) условно протерозойско-раннемезозойского возраста. Распространены терригенные отложения девонского возраста с прослоями основных эффузивов и известняков. Перекрывающими являются грубообломочные молассовые отложения средней юры. К сшивающим образованиям (средний и верхний структурные этажи) можно отнести интрузии вулканогенно-плутонического комплекса, представленные диоритами и гранодиоритами шахтаминского комплекса и редкометалльными гранитами кукульбейского комплекса. В центральной части общее северо-восточное простирание толщ осложняется сменой его на северо-западное (так называемый сигмоидный изгиб). Отличительной чертой пояса является наличие разобщенных в пространстве малых интрузий позднеюрского кукульбейского комплекса, имеющих формы штоков, лакколитов, осложненных часто купольными поднятиями кровли и являющихся многофазными образованиями. По составу это лейкократовые граниты, гранит-порфиры, граносиениты в гипабиссальной и дайковой фациях.

Агинский пояс включает ряд ценных месторождений полезных ископаемых:

оловянно-вольфрамовые грейзены, штокверки и кварцевые жилы (Спокойнинское, Дурулгуевское); редкометалльные и редкоземельные пегматиты (Мало-Кулиндинское); тантал, ниобий, редкоземельные элементы в щелочных метасоматитах (Орловское); ртуть-оловянно-вольфрамовые жилы и штокверки (Барун-Шивеинское). Узловое размещение рудных объектов (Уронайский, Спокойнинский, Таптанайский, Дурулгуевский и другие узлы) [15] контролируется разломными узлами и связано с массивами кукульбейских гранитов. Гидротермальное и альбитит-грейзеновое оруденение локализуется в пределах массивов или в зонах их экзоконтактов. В Спокойнинском рудном узле оруденение залегает в Хангилай-Шилинском массиве и образует зону метасоматоза в апикальной части одного из купольных выступов. Зона сложена лепидолит- и амазонит-альбитовыми гранитами, кварц-топазовыми грейзенами с колумбит-танталитовой и микролитовой минерализацией. Месторождения пояса формировались в связи с внутриплитным магматизмом в юрско-меловое время. Определяющей строение пояса и рудолокализацию является Центральная-Агинская зона разломов северо-восточного простирания.

Среди рудных месторождений особую ценность представляет Орловское месторождение тантала, ниобия, редкоземельных элементов в щелочных метасоматитах [14, 18]. Оно приурочено к апикальной части штока порфировидных гранитов, который представляет собой купол, имеющий изгибающиеся контакты с вмещающими породами. Промышленное танталовое оруденение локализуется в лепидолит-альбитовых и амазонит-альбитовых гранитах. Лепидолит-альбитовые граниты слагают самую внешнюю приконтактовую зону штока. Мощность этих образований достигает 40 м. Здесь же развиваются мало-мощные лепидолит-топаз-кварцевые

грейзены с обильными вкраплениями кристаллов колумбит-танталита и микролита, которые являются основными концентраторами тантала. Кроме этого, в рудах в меньших количествах установлены касситерит, гюбнерит, вольфрамит, монацит, топаз, рутил, флюорит.

Спокойнинское месторождение (оловянно-вольфрамовые грейзены, образующие штокверк и кварцевые жилы) находится на участке пересечения разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Гранитный шток месторождения сложен двуслюдяным амезонитовым гранитом, который интрузирует протерозойские серицит-хлорит-кварцевые и кварц-биотитовые сланцы и песчаники. Рудное тело полого погружается на глубину 200–320 м. Штокверк включает вольфрамсодержащий кварц-мусковитовый грейзен с блоками кварца и полевого шпата и около 20 жил (600×0,1–2 м) и прожилков с вольфрамитом в пологих трещинах скалывания.

Своеобразным является Барун-Шивеинское месторождение вольфрамитовых, стибнит-вольфрамитовых и ферберит-стибнит-киноварных руд, образующих штокверки, зоны брекчий и крутопадающие жильные тела в купольной структуре среди сланцев и кварцитов [14].

Нерча-Тунгирский рудный пояс. Пояс прослеживается в северо-восточном направлении примерно на 950 км при ширине около 80 км. Находится в пределах Яблонового кратонного террейна. Фундамент сложен архейскими и раннепротерозойскими интрузивными и метаморфическими образованиями гранулитовой фации метаморфизма. Средний структурный этаж включает позднерифейские и кембрийские мраморизованные известняки, филлиты, песчаники, кварциты, алевропелиты, метабазаальты, риолиты, дациты и андезиты. Интрузивная серия характеризуется расслоенными основными, ультраосновными породами кручининского

комплекса, а также гранитоидными интрузиями крестовского комплекса. Второй структурный этаж включает осадочно-вулканогенно-плутонические комплексы палеозоя. Распространены граниты олекминского комплекса (карбон). Внутриплитные породы позднего палеозоя – мезозоя (верхний структурный этаж) распространены повсеместно и имеют узловое размещение, слагая приразломные впадины, интрузивные тела и вулканоплутонические постройки. Это базальт-риолитовая, андезит-риолитовая формации (куйтунская, шадоронская серии), граниты, гранодиориты (амуджиканский, нерчуганский комплексы).

Рассматриваемый пояс богат промышленными месторождениями. Это месторождения: золота (Дарасунское, рудное поле); молибдена (Жирекенское); урана (Оловское, Зюльзинское); вольфрам-молибдена (Муоклаконское); флюорита (Усуглинское, Улунтуйское). Дарасунское рудное поле [10, 14, 18, 19] включает промышленные месторождения Дарасунское, Теремкинское и Талатуйское, локализующиеся в пределах очагово-купольной структуры, сложенной субвулканическими телами гранит-порфиоров, гранодиорит-порфиоров, гранитов, гранодиоритов юрского возраста [10]. Жильные тела кварцевого и кварц-карбонатного состава протяженностью до 2 км отчетливо контролируются элементами строения вулканотектонической постройки и разрывными нарушениями северо-западного и северо-восточного простирания. Это радиальные, концентрические по отношению к центру очагово-купольной постройки жилы. В составе руд – самородное золото, арсенопирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, пирит, висмутин, блеклые руды и другие минералы.

Жирекенское месторождение молибдена представляет собой штокверк размером 800×850 м в пределах штока брекчированных гранитов и содержит молибденит, халькопирит, пирит, а также

галенит, сфалерит и пирротин [14, 18, 20]. Это кварц-калишпат-молибденитовый агрегат, содержащий переменное количество халькопирита, реже молибдошеелита, магнетита, арсенопирита, флюорита и турмалина. Руды представлены тремя типами: вкрапленными, прожилковыми и в меньшей степени брекчиевыми.

Усуглинское флюоритовое месторождение [14, 18] контролируется разрывными нарушениями северо-западного простирания, оперяющими Нерча-Ульдургинскую зону разломов. Вмещающими являются нижнепротерозойские кристаллические сланцы, гранитоиды, известняки, образующие крупные поля среди позднепротерозойских гранитоидов. Рудные жилы локализируются в зонах дробления, брекчирования, серицитизации, аргиллизации и окварцевания. Протягиваются в виде плитообразных тел от 500 до 3000 м. Промышленное оруденение в них образует рудные столбы, имеющие большую мощность и высокие содержания флюорита. Главные минералы – флюорит и кварц; присутствуют каолинит, гидроокислы железа, пирит, кальцит и другие.

Урановые месторождения пояса локализируются в пределах Оловской и Зюльзинской впадин, выполненных осадочно-вулканогенными породами юрско-мелового возраста [18]. В Оловской впадине вулканические толщи характеризуются сменой снизу вверх пирокластических пород кислого состава лавовыми разностями основного состава. Вдоль юго-восточного борта и в центральной части впадины находятся зоны разломов восток-северо-восточного простирания, а также разрывы северо-западного простирания и межпластовые тектонические нарушения. Урановорудные тела концентрируются в полосе длиной 9 км, где установлено 24 горизонта, вмещающих около 90 рудных тел от типично пластовой до лентообразной морфологии. Пластообразные и лентообразные тела урановой минерали-

зации (настуран, урановые черни, гидро-настуран, коффинит) контролируются залеганием вмещающих толщ, зонами повышенной трещиноватости и метасоматитами глинисто-кремнисто-карбонатного состава. На отдельных участках оруденение по зонам разломов переходит в породы фундамента. Кроме урановых минералов встречаются самородный мышьяк, пирит, реальгар, аурипигмент, галенит, сфалерит, халькопирит.

Шилка-Амазарский рудный пояс. Протяженность пояса – около 750 км, ширина – от 50 до 100 км. Расположен в зоне Монголо-Охотской сутуры и занимает приграничную область Яблонового кратонного и Шилкинского океанического террейнов, перекрытых в разных участках образованиями мезозойских преддуговых бассейнов.

Фундамент сложен архейскими и раннепротерозойскими метаморфизованными гнейсовидными гранитами. Средний структурный этаж включает позднерифейские и кембрийские метаморфизованные базальты, известняки, терригенные толщи силура – карбона, а также расслоенные основные интрузии, гранитоиды раннего палеозоя, граниты и лейкограниты каменноугольного олекминского комплекса. К третьему структурному этажу относятся вулканические (шадоронская серия), вулканоплутонические и плутонические (кукульбейский, шахтаминский комплексы) образования, представленные риолитами, дацитами, андезитами, базальтами, гранитами, граносиенитами, сиенитами гранодиоритпорфирами, диоритовыми порфиридами, а также терригенными толщами и базальтами юры – раннего мела (тургинская свита). Расположение их контролируется разрывными нарушениями Монголо-Охотской зоны и оперяющими ее разломами.

Этот пояс является одним из наиболее насыщенных рудными месторождениями, разнообразными по минераль-

ному составу и структурам. Месторождения средне-позднеюрского и раннемелового возраста приурочены к разломам системы Монголо-Охотской сутуры и расположены в ареалах среднеюрско-раннемелового постколлизийного магматизма гранит-риолитового, гранит-базальт-риолитового составов. Среди месторождений выделяются: золото-серебряные эпитермальные жилы (Балейское рудное поле – Балейское, Тасеевское); золотоносные жилы в гранитоидах (Уконикское, Итакинское, Александровское, Ключевское, Карийское, Апрельковское, Средне-Голготайское, Фатимовское, Шундуинское); золото-порфиновый тип (Дельмачик); золото-скарновый тип (Андрюшкинское); молибден – кварц-молибденитовые жилы (Давенда); урановые месторождения (Часовое, Королевское, Сигерля); флюоритовые. Рудные поля локализованы, как правило, в купольных, купольно-кольцевых и депрессионных структурах и находятся в тесной пространственной и временной связи с малыми интрузиями (штоками, силлами) и дайками гранодиорит- и гранит-порфиров, диоритовых порфиринов. Превалируют месторождения жильного типа в гранитоидах.

Промышленные золоторудные месторождения Балейского и Карийского рудных узлов [14, 18] находятся на границе рассматриваемой рудной зоны. Это лито-халькофильный золото-редкометалльный тип, связанный с процессами вулканизма. Балейское месторождение образовалось в раннемеловую эпоху рифтогенеза в Балейском грабене вулканического происхождения. Вмещающие породы – конгломераты, песчаники, алевролиты, гранодиориты, вулканы дацит-андезитового состава. Это золото-серебряные эпитермальные кварцевые жилы и зоны мелкопрожилковой и вкрапленной минерализации в пологих разломах и в крутопадающих трещинах-перемычках. Первые представляют собой

линзообразные непротяженные и мало-мощные кварцевые жилы, вторые имеют сложную морфологию. В северной части месторождения разноориентированные жилы в гранитоидах образуют штокверк (около 1 км²), значительно вытянутый по вертикали. Отмечаются рудные столбы. В составе руд присутствуют адуляр, халцедон, кварц, каолинит, карбонат, пирит, халькопирит, арсенопирит, марказит. В участках, обогащенных золотом, появляются пираргирит и блеклая руда. Сульфиды составляют 0,5–1,5 %. Золото низкопробное (680–780) тонкодисперсное, высокосеребристое (до электрума), связано с кварцем. Околорудные изменения – пропицитизация, березитизация, аргиллизация. Тасеевское месторождение представлено серией рудных зон протяженностью до 2 км [14], состоящих из халцедоновых золото-серебряных жил.

Месторождение Уконик локализуется на контакте гранитного массива и архейских метаморфических пород [14, 18]. Минерализованные зоны имеют северо-восточное простирание и вмещают жилы, линзы в березитах и кварц-серицитовых метасоматитах. Руды содержат золото, а также серебро, свинец, цинк.

Месторождения урана Часовое, Королевское, Сигерля (северо-восточный фланг пояса) представлены мелкими жильными и линзообразными телами в трещинах среди гранитоидов [18]. Руды богатые по содержанию урана, но мелкие по запасам.

Давендинское месторождение молибдена и золота представлено более чем тремя десятками субпараллельных кварц-молибденитовых жил на площади до 7 км², сложенной в основном гранитоидами раннего протерозоя, прорванными позднеюрскими гипабиссальными интрузиями диоритовых порфиринов, гранит-порфиров и гранодиорит-порфиров. Жилы длиной до 1700 м имеют северо-восточное простирание и крутые углы падения.

Рудные пояса Керуленско-Аргунского внутриплитного металлогенического пояса

Рудные пояса, входящие в состав металлогенического пояса (Газимуро-Уровский, Приаргунский, Дорнотский и др.), также характеризуются обилием разнообразных месторождений полезных ископаемых (полиметаллы, уран, флюорит, редкие металлы и др.). В России находятся два первых пояса. Наиболее значимый из них – Приаргунский.

Газимуро-Урюмканский рудный пояс. Пояс протягивается почти на 500 км в северо-восточном направлении от бассейна р. Борзи на юго-западе, включая бассейны р. Газимур и Урюмкан на северо-востоке.

Занимает частично территории Аргунского и Шилкинского террейнов, которые перекрыты образованиями Нижнеборзинского и Верхнеборзинского преддуговых бассейнов, сложенных породами морской молассы.

Нижний структурный этаж включает фрагменты гнейсов и гранито-гнейсов позднего протерозоя – рифея (урулюнгуйская, надаровская, уровская и другие свиты). Здесь наиболее широкое распространение имеют палеозойские гранитоиды и раннепалеозойские терригенно-карбонатные толщи, образующие довольно крупные поля среди гранитоидов газимурского, ундинского, кутомаровского комплексов – средний структурный этаж. К третьему этажу относятся внутриплитные формации. Во-первых, это ранне-среднеюрские терригенные толщи мелководных морских фаций начала внутриплитного развития территории (борзинская, базановская и другие свиты). Во-вторых, это комплексы, относящиеся к базальт-андезит-дацитовой и базальт-риолитовой формациям (шадоронская и другие свиты), комплексы гипабиссальных и субвулканических интрузий гранитов, гранодиоритов, граносиенитов, сиенитов, их порфиоровые разности

(кукульбейский, абагайтуйский, нерчинскозаводской, шахтаминский и другие комплексы). Центры магматической деятельности (вулcano-плутонические) сосредоточены в зонах крупных разломов северо-восточного простирания (Газимурский, Быркинско-Уровский). Завершающим внутриплитный этап был процесс формирования приразломных впадин, выполненных терригенными отложениями и покровами базальтов раннего мела. Эти структуры образуют системы линейных депрессионных зон, разделенных купольными поднятиями протерозойско-палеозойского фундамента.

Газимуро-Урюмканский рудный пояс является одним из наиболее насыщенных месторождениями полезных ископаемых с полиформационной минерализацией, в том числе золото-редкометального, молибден-полиметаллического и золото-полиметаллического типов, встречающихся в единых рудных узлах [15, 18]. Его металлогенический фон составляют месторождения полиметаллов, золота, молибдена, флюорита, серебра, урана и других полезных ископаемых. Главными среди них являются следующие группы месторождений: золото-полиметаллические в вулканитах (Ново-Широкинское); свинец-цинк-, медь-, барий-, серебро-, золото-полиметаллические в карбонатных породах (Акатуевское, Северо-Акатуевское); свинец-цинк-, медь-, барий-, серебро-, золото-полиметаллические в вулканитах (Аленуйское); молибден(вольфрам, олово, висмут)-порфировый тип (Шахтаминское, Бугдаинское); вольфрам-, олово-, тантал-грейзены, штокверки и кварцевые жилы (Букуинское, Этыкинское, Будюмканское); флюоритовые (Солонечное, Калангуй, Шахматное).

Ново-Широкинское золото-полиметаллическое рудное поле [15, 18] локализуется в пределах вулcano-тектонической впадины, сложенной вулканитами преимущественно трахиандезит-латитового

состава, прорванными мелкими штоками и дайками диоритовых порфириров, гранодиорит-порфириров, гранит-порфириров, лампрофириров. Рудное поле – это серия минерализованных зон, пересекающих впадину в северо-западном направлении. В зонах среди пород листовенит-березитовой с сульфидами формации предполагаются ветвящиеся рудные тела. Протяженность зон – до 6 км, мощность – от 20 до 300 м. Минерализованные зоны включают трубо-, гнездо-, линзо-, жиллообразные рудные тела. Руды сплошные и прожилково-вкрапленные. Минеральные ассоциации: колчеданная, полиметаллическая, сульфосольная с золотом, реальгар-антимонитовая с золотом и ртуть-барит-антимонитовая. Минералы: пирит, галенит, сфалерит, кварц, карбонаты, блеклые руды и др. Золото тонкодисперсное, находится в сульфидах.

Шахтаминское месторождение (молибден-порфирировый; вольфрам-, олово-, висмут-порфирировый тип) включает кварц-молибденитовые жилы, локализуемые в юго-восточном обрамлении эродированной субвулканической постройки, изучавшейся автором в 1978 году. Главные рудные минералы – пирит, молибденит, галенит, сфалерит, халькопирит; второстепенные – шеелит, вольфрамит, тетрадимит, висмутин, гематит; редкие – висмут, станин, алтаит, касситерит, айкинит, антимонит.

Бугдаинское месторождение представляет собой золото-молибденовый штокверк (1,1×0,8 км) среди палеозойских гранитоидов, прорванных юрскими гранит-порфирами. Руды содержат золото, серебро, а также сфалерит и галенит [14].

Месторождение Букука находится в Букука-Белухинском рудном поле и состоит из 60 круто- и пологопадающих жил и штокверков кварц-вольфрамитового состава с шеелитом и висмутином. Наиболее богатыми были пологозалегающие жилы.

Одним из крупнейших в России является Этыкинское танталовое месторождение, приуроченное к одноименному массиву амазонит-альбитовых апогранитов [14, 18]. В восточной части массива локализуются вольфрамит-кварцевый штокверк и кварц-флюорит-циннвальдит-топазовые грейзены. Широко проявлены процессы метасоматоза и собирательной перекристаллизации. Рудные тела представляют собой пологие залежи, линзы, «струи», распространенные в восточной части массива. Тантал и ниобий находятся в составе групп колумбита-танталита и пирохлора-микролита. Кроме того, распространены касситерит, лепидолит, альбит и другие минералы.

Крупное эпитермальное сульфидно-кварц-флюоритовое Калангуйское месторождение [18] состоит из серии жил и минерализованных зон. Около 80 % запасов находится в одной жиле, содержащей три рудных столба с раздувами мощностью до 15–20 м. Жила находится в крупной крутопогружающейся зоне разломов субмеридионального простирания, залегает в раннеюрских песчаниках и сланцах. Главные минералы руд – флюорит, кварц и пирит; второстепенные минералы – каолинит, марказит; редкие – галенит, молибденит, арсенопирит, кальцит, галлуазит и сфалерит. С глубиной содержание сульфидов увеличивается.

На Солонечном месторождении флюорита среди окварцованных и хлоритизированных гранитов локализуется несколько рудных тел. Главное – это линейный штокверк, который содержит серию близко расположенных жил. Все жилы и прожилки обнаруживают симметричную зональность, состоят из кварца и флюорита (90 %), небольшого количества адуляра и гидрослюд.

Приаргунский рудный пояс. Пояс протягивается почти на 500 км и прослеживается в смежные районы Монголии и Китая. Расположен главным образом

в пределах шельфового Аргунского террейна. Этот пояс, как и предыдущий, является уникальным по разнообразию и насыщенности рудной минерализацией.

Фундамент пояса сложен гнейсовидными позднепротерозойскими – вендскими гранитами и гранито-гнейсами (урулюнгуйский комплекс), песчано-сланцевой, известково-доломитовой толщами (урулюнгуйская, надаровская, кличкинская и другие свиты). Девонские, пермские породы – переслаивание метапесчаников, алевролитов, мраморизованных известняков и доломитов, углеродистых сланцев (ильдиканская, соктуйская свиты), гранодиориты, монцодиориты (ундинский, кадаинский, кутомаровский комплексы) – составляют средний структурный этаж.

Рудоносность здесь определяют внутриплитные процессы магматизма и тектоники юрско-мелового возраста. В этот верхний структурный этаж входят трахиандезит-дацитовая, трахибазальт-андезит-дацитовая, базальтовая толщи среднеюрского и среднеюрско-раннемелового возраста (айрыкская, тулукуевская, приаргунская и другие свиты). Субвулканические и гипабиссальные комагматы представлены малыми интрузиями и дайками гранит-порфиоров, лейкогранитов, диоритовых порфиритов, сиенит-порфиоров, лампрофиоров и других разновидностей (акатуевский, шахтаминский, борщовочный, абагайтуйский, кукульбейский комплексы). Характерна гомодромная направленность развития крупных вулканических центров. Рудоносность мезозойских магматических комплексов Забайкалья доказана геохимическими исследованиями [21]. Значительные площади занимают приразломные впадины, выполненные раннемеловыми осадками и вулканитами (тургинская, кутинская и другие свиты). Особенности строения пояса в значительной степени связаны с региональными разрывными нарушениями северо-восточного простирания (Быркин-

ско-Уровский, Аргунский разломы), контролировавшими магматическую и гидротермальную деятельность.

По рудонасыщенности и разнообразию месторождений полезных ископаемых эта территория является уникальной. Здесь сосредоточены крупные, средние и мелкие эндогенные месторождения с преобладанием полиметаллов, флюорита, урана, золота. Главенствующими в рассматриваемом поясе являются месторождения: олова, цинка, серебра полиметаллические (Кличкинский рудный узел, Кадаинское, Екатерино-Благодатское и др. месторождения); урана (смолково-флюоритовая, смолково-молибденитовая формации – Стрельцовский узел); флюорита (кварц-флюоритовая формация – Абагайтуйское, Уртуйское, Гарсонуйское); золота (золото-полиметаллическая формация с ураном – Нойон-Тологой); молибдена (кварц-молибденитовая формация); железа экзогенного типа (Березовское). Наиболее широко развита полиметаллическая и флюоритовая минерализация различных рудных формаций. Весьма ценными являются урановорудные объекты. Гидротермальные и скарновые месторождения перечисленных видов в карбонатных и терригенных толщах, нарушенных разломами и смятых в складки, представлены пластообразными, жиллообразными и трубообразными рудными телами.

Уникальным рудным полем является Тулукуевская палеокальдера, сформировавшаяся в течение трех фаз вулканической деятельности в юрско-меловое время [18]. Это рудное поле вмещает девятнадцать месторождений, в том числе Стрельцовское уран-молибден-флюоритовое, Красный камень, Антей и другие. Рудные тела протяженностью до 1 км распространены по всему разрезу пород до глубины 1400 м. Формы рудных залежей – штокверки, жильные зоны, жилы, пластообразные тела. К зонам трещино-

ватости пород преимущественно среднего и кислого состава приурочены штокверкоподобные рудные залежи, в том числе линейные штокверки в благоприятных по физико-механическим свойствам горизонтах дацитов. В горизонтах осадочных пород встречаются пластообразные рудные тела. Гидротермальный процесс был многостадийным. Основным минералом является урановая смолка; распространены браннерит и коффинит; присутствуют молибденит, флюорит, галенит, клейофан, гематит, ильменит, а также халькопирит, блеклая руда, марказит, лейкоксен, гидрослюда, кварц, кальцит, хлориты, монтмориллонит; более редки шамозит, каолинит, железистые карбонаты.

Полиметаллические месторождения Кличкинского рудного узла (свинец-цинк, медь, барий, серебро, золото) – это оруденение метасоматическое в карбонатных породах (Кличкинское) и скарнового типа (Савинское-5). Локализацию пластообразных, жилообразных и трубообразных рудных тел определила их приуроченность к сложному флексуобразному изгибу доломитов, углисто-глинистых и других сланцев с прослоями известняков, песчаников, конгломератов, которые прорваны штоками и дайками диоритов, лейкократовых гранитов и гранит-порфиров позднего мезозоя. Кличкинское месторождение составляет серия прерывистых жил сфалерит-галенитового состава, вытянутых на протяжении 2 км. Главными минералами являются пирротин, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, аксинит, флюорит, цеолиты, кварц, карбонаты. Более редки борнит, кубанит, магнетит, касситерит, самородное серебро и золото. Всего в рудах определено более 60 минералов. Выделяются пирит-арсенопиритовый, сфалерит-галенитовый и смешанный пирит-арсенопирит-сфалерит-галенитовый типы руд. Сульфидные рудные тела пересекаются кварц-флюоритовыми (иногда с

баритом) жилами и прожилками.

Другие месторождения свинца-цинка, меди, бария, серебра, золота также локализируются в карбонатных и терригенных породах (Воздвиженское, Покровское, Кадаинское, Екатерино-Благодатское). Сфалерит-галенитовые руды содержат на ряде объектов значительное количество серебра, а также индия, кадмия, встречается золото. Наиболее типичное Кадаинское рудное поле находится в толще углисто-глинистых сланцев, доломитов, известняков и локализуется в узле сочленения разломов близ меридионального и северо-восточного направлений. Жильные рудные тела (Главное и Сланцевое) контролируются указанными разломами, штокверк приурочен к блоку трещиноватых пород между разломами. Контролирующую роль играет и протяженная дайка гранит-порфиров в разломе Главном. Минеральный состав типичен для полиметаллических месторождений: галенит, сфалерит, самородные серебро, золото, халькопирит, пирит, арсенопирит, сидерит, блеклые руды.

Золото-полиметаллические месторождения в вулканитах локализируются в вулканодепресссионных структурах, осложненных купольными поднятиями, в составе руд преобладает свинцовая и золотая минерализация. Нойон-Тологойское комплексное месторождение (полиметаллы, золото, уран) находится на границе с Газимуро-Уровской рудной зоной. Локализуется в узле пересечения Северо-Урулюнгуйского разлома северо-восточного простирания с Кличкинско-Дарасунской зоной разломов северо-западного простирания. Оруденение концентрируется в пределах Мулинской вулкано-тектонической структуры, сложной риолит-андезит-дацитовый формацией вулканитов, прорванной субвулканической интрузией сиенит-порфиров. Зоны минерализации, штокверковые, жильные и пластообразные рудные тела

локализуются в нескольких вулканических центрах и контролируются участками пересечения круто- и пологозалегающих разрывов. Золото-кварцевая минерализация тяготеет к периферии вулканической постройки. Рудные тела, залегающие в метасоматитах калишпат-альбит-кварцевого, березитового, аргиллитового, грейзенового состава, содержат пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, золото, серебро и другие минералы.

В пределах пояса находятся месторождения меди и железа. Так, Лугоканское месторождение меди [14] находится на северо-западной границе пояса, где оно приурочено к одноименному интрузивному штоку, сложено серией рудных тел, локализуемых в трех минерализованных зонах.

Характерной особенностью пояса является широкое развитие промышленной флюоритовой минерализации. Жильные кварц-флюоритовые месторождения концентрируются на юго-западном фланге пояса (Абагайтуйское, Уртуйское, Горсонуйское и др.). Весьма типичное из них Уртуйское месторождение, занимающее по запасам второе место в России, находится среди песчаников, алевролитов, сланцев протерозойского возраста, субвулканических, вулканических и интрузивных пород палеозойского возраста (кварцевые порфиры, гранит-порфиры, граниты). В зоне разлома Уртуйский-I, контролирующего также близлежащее месторождение Абагайтуй, рудные тела представлены жильобразными минерализованными зонами брекчий, состоящих из обломков вмещающих пород на кварц-флюоритовом, кварц-адуляр-флюоритовом, реже кварц-адуляр-каолинит-флюоритовом цементе, содержат халькопирит, галенит, сфалерит.

Выводы

1. Внутриплитные рудные пояса формировались на жестких блоках земной коры (террейнах), сложенных протер-

розойскими и раннепалеозойскими гнейсами и гранито-гнейсами (нижний структурный этаж). В целом структура региона представляет собой коллаж террейнов разных размеров и разнообразной природы. Эти образования перекрыты терригенно-карбонатными толщами палеозоя и прорваны гранитоидами этого возраста (средний структурный этаж). Комплексы пород внутриплитного этапа имеют преимущественно юрско-раннемеловой возраст и базальт-андезит-риолитовый, базальтовый, гранит-лейкогранитный, гранит-сиенитовый состав (верхний структурный этаж). Характерно их узловое распределение, обусловленное, очевидно, структурой Забайкальского плюма, что было показано ранее [6].

2. Внутриплитные рудные пояса характеризуются широким спектром рудных месторождений с ведущей ролью олова, вольфрама, золота, молибдена, урана, флюорита, полиметаллов. Преобладали гидротермальные процессы рудообразования мезозойской металлургической эпохи.

3. Большинство рудных узлов и полей внутриплитных поясов входят в состав магматогенно-рудных центров плутонического или вулкано-плутонического типов, тяготеющих к пересечениям, разветвлениям или изгибам разломов.

4. Во внутриплитных поясах определяющими локализацию рудных полей были также рифтообразные линейные зоны с тектопарой «свод – грабен» (Балейский узел) или вулкано-плутонические системы в различном сочетании магмопроявлений (Дарасунский, Этыкинский и другие узлы); зачастую рудовмещающими являются вулкано-тектонические структуры (Тулукуевская, Акуинская и др.) или плутонические гипабиссальные интрузивы (Хангилай-Шилинский, Сохондинский, Дульдургинский и др.).

Библиографический список

1. Булгатов А.Н., Гордиенко И.В. Террейны Байкальской горной области и размещение в их пределах месторождений золота // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 230–240.
2. Булгатов А.Н. Геодинамика Байкальской горной области в позднем рифее и венде – раннем палеозое. Новосибирск: Гео, 2015. 121 с.
3. Парфенов Л.М., Прокопьев А.В., Смелов А.П. [и др.]. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / под ред. Л.М. Парфенова. М.: Наука, 2001. 571 с.
4. Булгатов А.Н., Доронина Н.А., Ласточкин Н.И. Метабазиты метаморфических комплексов рифейского Верхневитимского турбидитового террейна (Западное Забайкалье) // Вулканизм и геодинамика: материалы III Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. Т. 1. С. 112–114.
5. Гусев Г.С., Хаин В.Е. О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг средней Сибири) // Геотектоника. 1995. № 5. С. 62–78.
6. Семинский Ж.В. Эндогенно-рудные системы Юго-Восточной Сибири в инверсионном слое земной коры // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2015. № 2 (51). С. 5–18.
7. Семинский Ж.В. Рудные пояса Байкало-Забайкальского региона. Часть I // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 3. С. 20–34.
8. Семинский Ж.В. Металлогенические пояса Юго-Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2006. № 3 (29). С. 5–15.
9. Семинский Ж.В. Вулканизм и гидротермальное оруденение в активизированных областях. М.: Недра, 1980. 139 с.
10. Семинский Ж.В., Филонюк В.А., Корж В.В. [и др.]. Модели рудных районов и месторождений Сибири. М.: Недра, 1994. 252 с.
11. Баженова Т.А., Басков Е.А., Дорожков А.И. [и др.]. Геология и полезные ископаемые России. Восточная Сибирь / под ред. Н.С. Малича. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. 396 с.
12. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Гео, 2001. 409 с.
13. Багдасаров Ю.А., Гусев Г.С., Межеловский Н.В. [и др.]. Металлогения магматических комплексов внутриплитных геодинамических обстановок / под ред. Н.В. Межеловского. М.: ГЕОС, 2001. 640 с.
14. Чечеткин В.С., Трубочев А.И. Минеральные ресурсы Забайкальского края. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2013. 231 с.
15. Плющев Е.В., Соловьев Н.С., Жданов А.В. [и др.]. Рудные узлы России / под ред. Е.В. Плющева. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. 416 с.
16. Вишняков В.Е. Урановые месторождения Даурского района // Месторождения Забайкалья / под ред. Н.П. Лаверова. Кн. 2. М.: Геоинформмаркет, 1995. С. 169–178.
17. Ситнин А.А., Гребенников А.М., Сункинзян В.В. Этыкинское танталовое месторождение // Месторождения Забайкалья / под ред. Н.П. Лаверова. М.: Геоинформмаркет, 1995. Кн. 2. С. 86–96.
18. Месторождения Забайкалья / под ред. Н.П. Лаверова. М.: Геоинформмаркет. 1995. Кн. 2. 244 с.

19. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М.: Геоинформмарк, 2002. 252 с.

20. Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О., Крымский Р.Ш., Ларионов А.Н., Николаева И.В., Серов П.А. Шахтаминская Мо-порфировая рудно-магматиче-

ская система (Восточное Забайкалье): возраст, источники, генетические особенности // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 6. С. 764–786.

21. Козлов В.Д., Свадковская Л.Н. Петрохимия, геохимия и рудоносность гранитоидов Центрального Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1977. 254 с.

References

1. Bulgatov A.N., Gordienko I.V. Terrains of the Baikal mountain area and location of gold deposits within their boundaries. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of ore deposits], 1999, vol. 41, no. 3, pp. 230–240. (In Russian).

2. Bulgatov A.N. *Geodinamika baikal'skoi gornoj oblasti v pozdnem rifee i vende – rannem paleozoe* [Geodynamics of the Baikal mountain region in the Late Riphean and Vendian - Early Paleozoic]. Novosibirsk: Geo Publ., 2015, 121 p. (In Russian).

3. Parfenov L.M., Prokop`ev A.V., Smelov A.P. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia) territory]. Moscow: Nauka Publ., 200, 571 p. (In Russian).

4. Bulgatov A.N., Doronina N.A., Lastochkin N.I. *Metabazity metamorficheskikh kompleksov rifeiskogo verkhnevitimskogo turbiditovogo terreina (Zapadnoe Zabaikal'e)* [Metabasites of metamorphic complexes of the Riphean Upper Vitim Turbidite Terrane (Western Transbaikalia)]. *Vulkanizm i geodinamika: materialy III Vseros. simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii* [Volcanism and geodynamics: materials of III All-Russia symposium on volcanology and paleovolcanology]. Ulan-Ude: Buryat Scientific Centre of the Siberian Department of Russian Academy of Sciences Publ., 2006, vol. 1, pp. 112–114. (In Russian).

5. Gusev G.S., Khain V.E. On correlation of the Baikal-Vitim, Aldan-Stanovoi and Mongol-Okhotsk terranes (south of Central Siberia). *Geotektonika* [Geotectonics], 1995, no. 5, pp. 62–78. (In Russian).

6. Seminskii Zh.V. Endogenous ore systems of South-Eastern Siberia in the earth crust inversion layer. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2015, no. 2 (51), pp. 5–18. (In Russian).

7. Seminskii Zh.V. Ore belts of the Baikal-Transbaikal region. Part I. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], 2017, vol. 40, no. 3 (60), pp. 20–34. (In Russian).

8. Seminskii Zh.V. Metallogenic belts of South-Eastern Siberia. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences.

Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2006, no. № 3 (29), pp. 5–15. (In Russian).

9. Seminskii Zh.V. *Vulkanizm i gidrotermal'noe orudnenie v aktivizirovannykh oblastiakh* [Volcanism and hydrothermal mineralization in activated regions]. Moscow: Nedra Publ., 1980, 139 p. (In Russian).

10. Seminskii Zh.V., Filonyuk V.A., Korzh V.V. *Modeli rudnykh raionov i mestorozhdenii Sibiri* [Models of Siberian ore districts and fields]. Moscow: Nedra Publ., 1994, 252 p. (In Russian).

11. Bazhenova T.A., Baskov E.A., Dorozhkov A.I. *Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. Vostochnaya Sibir'* [Geology and mineral resources of Russia. Eastern Siberia]. Saint Petersburg: A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute Publ., 2002, 396 p. (In Russian).

12. Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.G., Kirdyashkin A.A. *Glubinnaya geodinamika* [Deep geodynamics]. Novosibirsk: Geo Publ., 2001, 409 p. (In Russian).

13. Bagdasarov Yu.A., Gusev G.S., Mezhelovskii N.V. *Metallogeniya magmaticheskikh kompleksov vnutriplitnykh geodinamicheskikh obstanovok* [Metallogeny of magmatic complexes of intraplate geodynamic environments]. Moscow: GEOS Publ., 2001, 640 p. (In Russian).

14. Chechetkin V.S., Trubachev A.I. *Mineral'nye resursy Zabaikal'skogo kraja* [Mineral resources of the Trans-Baikal Territory]. Chita: Transbaikalian State University Publ., 2013, 231 p. (In Russian).

15. Plyushchev E.V., Solov'ev N.S., Zhdanov A.V. *Rudnye uzly Rossii* [Ore clusters in Russia]. Saint Petersburg:

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute Publ., 2001, 416 p. (In Russian).

16. Vishnyakov V.E. *Uranovye mestorozhdeniya Daur'skogo raiona* [Uranium deposits of the Daur'sky region]. *Mestorozhdeniya zabaikal'ya* [Transbaikalian deposits]. Book 2. Moscow: Geoinformmarket Publ., 1995, pp. 169–178. (In Russian).

17. Sitnin A.A., Grebennikov A.M., Sunkinzhan V.V. *Etykinskoe tantalovoe mestorozhdenie* [Etykinskoe tantalum deposit]. *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Transbaikalian deposits]. Book 2. Moscow: Geoinformmarket Publ., 1995, pp. 86–96. (In Russian).

18. Laverov N.P. *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Transbaikalian deposits]. Book 2. Moscow: Geoinformmarket Publ., 1995, 244 p. (In Russian).

19. Benevol'skii B.I. *Zoloto Rossii: problemy ispol'zovaniya i vosпроизводства mineral'no-syr'evoi bazy* [Russian gold: problems of use and replacement of mineral and raw materials base]. Moscow: Geoinformmarket Publ., 2002, 252 p. (In Russian).

20. Berzina A.P., Berzina A.N., Gimon V.O., Krymskii R.Sh., Larionov A.N., Nikolaeva I.V., Serov P.A. The Shakhtama porphyry Mo ore-magmatic system (Eastern Transbaikalia): Age, sources, and genetic features. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2013, vol. 54, no. 6, pp. 764–786. (In Russian).

21. Kozlov V.D., Svadkovskaya L.N. *Petrokhimiya, geokhimiya i rudonosnost' granitoidov Tsentral'nogo Zabaikal'ya* [Petrochemistry, geochemistry and ore content of granitoids in Central Transbaikalia]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977, 254 p. (In Russian).

Критерии авторства

Семенов Ж.В. написал статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Seminsky Zh.V. has written the article, have all author's rights and bear the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 553.6:528

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-29-40>

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА НА АЛМАЗЫ И ЗОЛОТО ОЛОНДИНСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

© А.В. Татаринов^а, Л.И. Ялович^б, Г.А. Ялович^с

^{а,б}Геологический институт СО РАН,

670047, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

^сФБУ СФО «Территориальный фонд геологической информации по Сибирскому федеральному округу»,
630091, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Каменская, 74.

РЕЗЮМЕ. Цель. Оценка перспектив Олондинского зеленокаменного пояса на различные формационно-генетические типы алмазов, а также обоснование наличия благороднометалльного оруденения, связанного с динамометаморфическими преобразованиями магматических пород основного состава. **Методы.** Составление шлихо-минералогической карты распространения алмазов и их минералов-спутников в рыхлых отложениях. Шлиховое опробование сопровождалось литолого-петрографическим изучением валунно-галечных материалов, щебенчато-гравийного материала, делювиально-элювиальных развалов и коренных выходов горных пород в пунктах отбора шлихов. Петрографическое и минералого-геохимическое изучение пород базит-ультрабазитового комплекса с использованием микросонда, рентгеноструктурного анализа и других методов. **Результаты.** Впервые установлены метакимберлиты, обнаружены диафторированные пироксениты, газозрывные структуры. Проведено сравнение метапород коматиитовой серии Олондинского пояса с алмазоносными коматиитами Французской Гвианы. **Выводы.** Спрогнозированы кимберлитовый и коматиитовый формационно-генетические типы месторождений алмазов. Установлены признаки возможной алмазности диафторированных пироксенитов, газозрывных структур. Отмечены проявления рудного золота в динамометаморфитах по базальтовым коматиитам, основным породам толейитовой серии. Спрогнозированы кроме собственно золоторудных месторождений комплексные сульфидные руды (Cu, Ni, Co) с благородными металлами.

Ключевые слова: алмазы, золото, ультрабазиты, коматииты, кимберлиты, прогноз, хромистые пиропы.

Информация о статье. Дата поступления 10 мая 2018 г.; дата принятия к печати 4 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Татаринов А.В., Ялович Л.И., Ялович Г.А. Прогнозная оценка на алмазы и золото Олондинского зеленокаменного пояса (Забайкальский край) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 29–40. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-29-40

^аТатаринов Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, тел.: 8 (3012) 433013, e-mail: tatarinov@ginst.ru

Alexander V. Tatarinov, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Chief Researcher, tel.: 8 (3012) 433013, e-mail: tatarinov@ginst.ru

^бЯлович Любовь Ильинична, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел.: 8 (3012) 433013, e-mail: ialovic@ginst.ru

Lyubov I. Yalovik, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher, tel.: 8 (3012) 433013, e-mail: ialovic@ginst.ru

^сЯлович Георгий Айратович, кандидат геолого-минералогических наук, директор, e-mail: yalovik1973@mail.ru

Georgy A. Yalovik, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, e-mail: yalovik1973@mail.ru

PREDICTION ESTIMATE OF OLONDO GREENSTONE BELT DIAMONDS AND GOLD (TRANS-BAIKAL TERRITORY)

© A.V. Tatarinov, L.I. Yalovik, G.A. Yalovik

Geological Institute, SB RAS,
6a Sakhyanova St., Ulan-Ude, Buryat Republic, 670047, Russian Federation
FBI SFD Territorial Fund of Siberian Federal District Geological Information,
74 Kamenskaya St., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

ABSTRACT. The **purpose** of the work is to evaluate the occurrence prospects of various formational and genetic types of diamonds in Olondo greenstone belt as well as to justify the presence of noble metal mineralization associated with dynamometamorphic transformations of the magmatic rocks of basic composition. **Methods.** The study used the following research methods: compilation of a schlich-mineralogical map of diamonds and their satellite minerals distribution in loose sediments. Schlich testing was accompanied by the lithologic-petrographic study of boulder and pebble, rubble and gravel, deluvial-eluvial disintegrations and natural outcrops of rocks at the sampling points of primary concentrates. Petrographic, mineralogical and geochemical study of the basite-ultrabasic rocks of the complex was carried out using microprobe, X-ray diffraction analysis and other methods. **Results.** For the first time metakimberlites have been identified. Difluorinated pyroxenites and gas explosive structures have been discovered. The meta-rocks of komatiite series of the Olondo belt have been compared with the diamondiferous komatiites of French Guiana. **Conclusions.** Kimberlite and komatiite formational genetic types of diamond fields are predicted. The features of probable diamondiferous potential of difluorinated pyroxenites and gas explosive structures are specified. Manifestations of ore gold are found in dynamometamorphites on basalt komatiites, which are the main rocks of the tholeiitic series. Complex sulfide ores (Cu, Ni, Co) with noble metals are forecasted in addition to actual gold ore fields.

Keywords: diamonds, gold, ultrabasites, komatiites, kimberlites, forecast, chrome pyropes

Article info. Received 10 May 2018; accepted for publication 4 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Tatarinov A.V., Yalovik L.I., Yalovik G.A. Prediction estimate of Olondo Greenstone belt diamonds and gold (Trans-Baikal territory). Прогнозная оценка на алмазы и золото Олондинского зеленокаменного пояса (Забайкальский край). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 29–40. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-29-40. (In Russian).

Введение

Проблема изучения алмазности крупных выступов докембрийского кристаллического фундамента Сибирской платформы, представленных Анабарским и Алданским щитами, весьма актуальна. Во-первых, в связи с открытием россыпей, содержащих алмазы более раннего происхождения по сравнению с алмазами из известных кимберлитовых месторождений фанерозоя. Это послужило основанием предполагать пока не обнаруженные докембрийские коренные источники алмазов, питающих россыпи [1]. Во-вторых, в 60-е гг. XX в. на Африканском континенте (Берег Слоновой

Кости, Габон и другие страны) были обнаружены месторождения алмазов в дайках метакимберлитов, залегающих среди гнейсов, кристаллосланцев и гранитоидов в выступах докембрийского фундамента [2]. Позднее было также открыто месторождение алмазов коматиитового типа во Французской Гвиане [3], возраст которого определен в 2 млрд лет. Отметим также известное с 90-х гг. прошлого века проявление алмазносных кимберлитовых пород, приуроченных к железистым кварцитам криворожской серии (нижний протерозой) Приднепровского кратона [4].

Приведенные данные однозначно указывают на потенциальные перспективы на алмазы Чаро-Олекминской гранит-зеленокаменной области Алданского щита, в том числе Олондинского зеленокаменного пояса.

Немаловажную роль в выборе этого пояса в качестве первоочередного прогнозно-поискового объекта на алмазы для Удоканской геолого-разведочной экспедиции сыграло его географическое положение вблизи трассы Байкало-Амурской магистрали.

Авторы предлагаемой статьи по договору с этой экспедицией проводили научно-исследовательские работы с целью прогнозирования коренных и россыпных месторождений алмазов на площади, в основном охватывающей центральную часть Олондинского зеленокаменного пояса. Их основные результаты представлены ниже.

Методы исследований

Методика работ включала:

– составление шлихо-минералогической карты распространения алмазов и их минералов-спутников в рыхлых отложениях;

– специализированное петрографическое и минералого-геохимическое изучение проблематичных коренных и россыпных проявлений, находок алмазов, определение минералогического фона полигона для различных геологических образований, формаций, типов горных пород;

– прогнозную оценку на алмазы рыхлых отложений и пород Олондинского зеленокаменного пояса с выделением перспективных площадей под поиски коренных месторождений.

Шлиховому опробованию подвергнуты аллювиальные, элювиальные и ледниковые кайнозойские отложения.

Шлиховое опробование рыхлых отложений сопровождалось литолого-петрографическим изучением валунно-галечного, щебенчато-гравийного мате-

риала, делювиально-элювиальных развалов горных пород в пунктах отбора шлихов.

Изучались коренные выходы пород основного и ультраосновного состава. При этом особое внимание уделялось минералого-петрографическим исследованиям дайковых тел.

Из тяжелых фракций шлиховых проб и проб-протолок извлекались и изучались зерна различных минералов-индикаторов алмазоносных пород (гранат, ильменит, хромшпинелид, самородные элементы и др.) на микроанализаторе Camebax SX50.

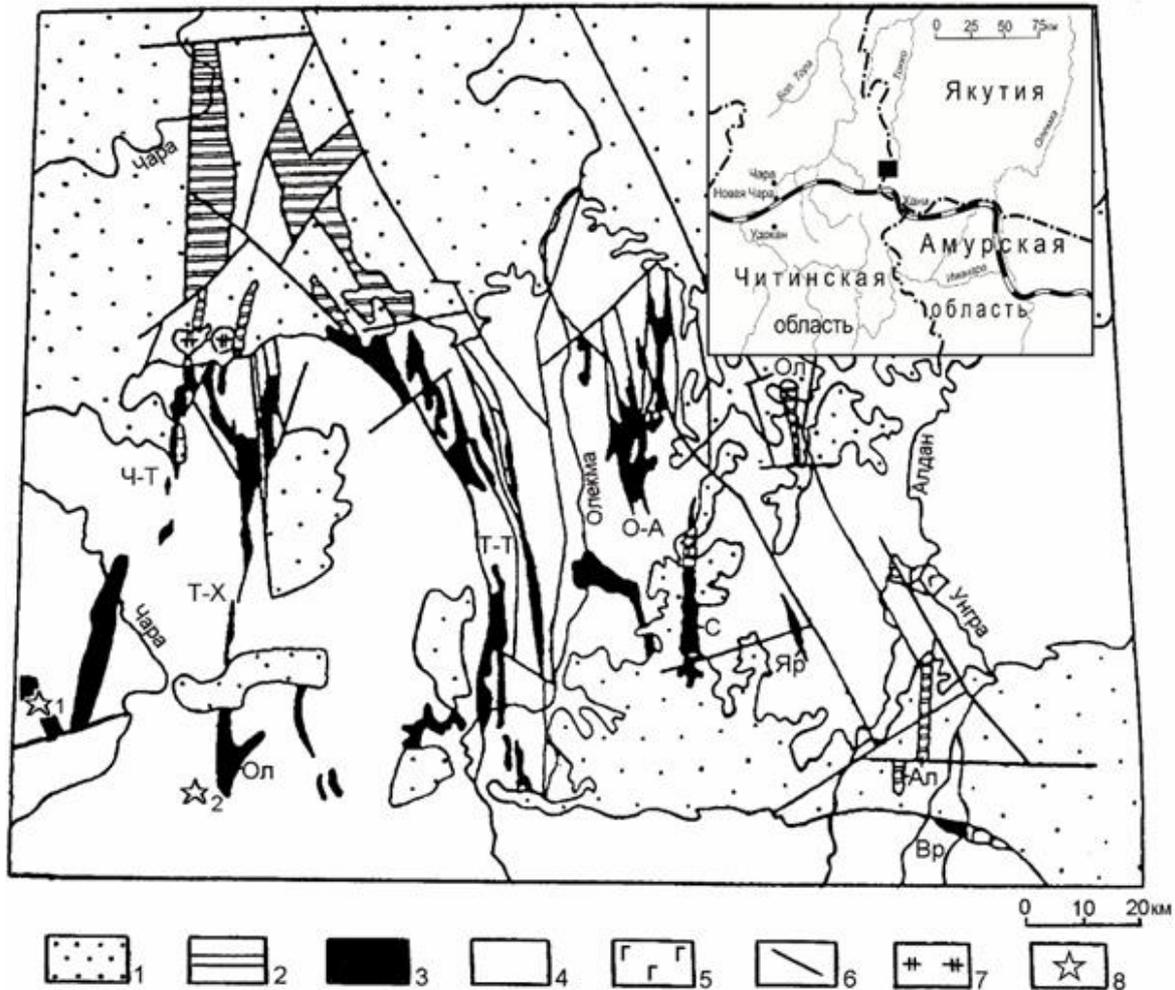
Отдельные частицы минералов подвергались рентгеноструктурному анализу

Полученные результаты

Чаро-Олекминская гранит-зеленокаменная область. В графитоносных эвлизитах Сакуканского месторождения железистых кварцитов Чаро-Токкинского зеленокаменного пояса (рис. 1) известны кубические и октаэдрические псевдоморфозы графита по алмазу. С графитом ассоциируют чаоит и муассанит. В чаоитах рентгенографически обнаружена алмазная фаза. В пробах из апатит-магнетитовых пироксенитов Муруринского массива (южное окончание Олондинского пояса) геологами Всесоюзного научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых Министерства геологии СССР также установлены чаоит (0,1–0,8 мм), муассанит и графит.

На Ханинской ветви Токко-Ханинского зеленокаменного пояса, в золотоносной аллювиальной россыпи известны находки старателей ювелирных алмазов.

Центрально-Алданский блок. Октаэдрический микроалмаз размером 150 мкм, включенный в кальцит, обнаружен на боро-магнетитовом месторождении Таежное [6]. Алмаз находился в ореоле разрушения переработанного обломка перидотита.



**Рис. 1. Тектоническое положение зеленокаменных поясов
 Олекминской гранит-зеленокаменной области [5]:**

1 – осадочные платформенные отложения; 2, 3 – зеленокаменные пояса, выделенные: 2 – по геофизическим данным, 3 – по геологическим материалам; 4 – архейские метаморфические образования; 5 – массивы основных пород; 6 – тектонические нарушения по геологическим и геофизическим данным.

Зеленокаменные пояса: Ч-Т – Чара-Токкинский; Т-Х – Токко-Ханнинский (Ол – Олондинский фрагмент); Т-Т – Темулякит-Тунгурчинский; О-А – Олекмо-Амгинский; С – Субганский; В-О – Восточно-Олекминский (фрагменты); Он – Онхойский, Ол – Олонгринский; Яр – Ярогинский, Ал – Алдакайский, Вр – Верхнеунгринский; 7 – щелочные породы Мурунского вулcano-плутонического комплекса с карбонатитами и лампроитами; 8 – находки высокобарических фаз углерода некимберлитового типа (1 – чаоит и алмаз в элизитах Сакуканского месторождения железистых кварцитов, 2 – чаоит в пироксенитах Муруринского зонального щелочного массива)

Fig. 1. Tectonic position of Greenstone belts of Olekma granite Greenstone area [5]:

1 – sedimentary platform deposits; 2, 3 – Greenstone belts identified by: 2 – geophysical data, 3 – geological materials; 4 – Archaean metamorphic formations; 5 – massifs of basic rocks; 6 – tectonic disturbances according to geological and geophysical data.

Greenstone belts: Ч-Т – Chara-Tokko; Т-Х – Tokko-Khanny (Ол – Olondo fragment); Т-Т – Temulyakit-Tungurcha; О-А – Olekma- Amgino; С – Subgan; В-О – East-Olekma (fragments); Он – Onkhou, Ол – Olongrino; Яр – Yarogino; Ал – Aldakay, Вр – Upper Ungrino; 7 – alkaline rocks of Murun volcano-plutonic complexes with carbonatites and lamproites; 8 – findings of high-pressure phases of carbon of non-kimberlite type (1 – chaoite and diamond in eulysites of Sakukan deposit of banded iron formation, 2 – chaoite in pyroxenites of Mururin zonal alkaline massif)

Найдены два алмаза в устье рч. Трудового (приток р. Джеконды) при обогащении 14000 м³ эфелей золотоносной россыпи и элювия [1]. Один из них – октаэдр размером 3,7×3×2,75 мм и весом 47 мг, второй – ромбододекаэдр высокого качества размером 3×2,6×1,8 и весом 21 мг. Три алмаза были обнаружены в верховьях р. Джеконды. Находки алмазов до 40 шт/м³ зафиксированы в рч. Таежном (приток р. Томмот). При этом индикаторные минералы алмазоносных кимберлитов на территории Центрально-Алданского блока не обнаружены, а изучение многочисленных трубчатых и дайковых тел основного и ультраосновного состава мезозойского возраста на данной территории Алданского щита алмазов не выявило. Предполагается, что упомянутые находки алмазов связаны с докембрийскими коренными источниками кимберлитового или лампроитового типов.

Метаморфизованный базит-ультрабазитовый интрузивный комплекс как критерий алмазоносности Олондинского пояса. Зеленокаменные пояса и гранулит-гнейсовые области в основании древних платформ могут содержать базит-ультрабазитовые (расслоенные эклогит-пироксенит-перидотитовые, протофиолитовые и др.) комплексы – алмазоносные протолиты, определяющие продуктивность на алмазы кимберлитов и лампроитов [6]. В Олондинском зеленокаменном поясе в реститовых интрузивных ультрабазитах (серпентинизированные дуниты, гарцбургиты, лерцолиты, верлиты), слагающих Красногорскую аллохтонную пластину, были найдены единичные мелкие алмазы при проведении поисковых работ геологами-производственниками (рис. 2).

Прогнозирование алмазоносных кимберлитов. Находка в 1990 г. в склоновых отложениях Красной горки вблизи оз. Токко пиропового граната, близкого по составу низкожелезистым пиропам из алмазосодержащих шпинель-гранатовых

ксенолитов (алькренитов), кимберлитов Якутской провинции, позволила прогнозировать наличие кимберлитов в 250–300 м выше по склону и на водоразделе от этого места [4]. Проверка данного прогноза, проведенная Олондинской партией Удоканской геолого-разведочной экспедиции, привела к открытию в 1991 г. дайкообразного тела потенциально [2] алмазоносных кимберлитов, содержащих хромистые пиропы (таблица), состав которых попадает на диаграмме Н.В. Соболева CaO-Cr₂O₃ в поле гранатов лерцолитового парагенезиса (анализ 3, таблица), типоморфных для кимберлитов с промышленной алмазоносностью. К сожалению, опробование на алмазы этого тела не проведено.

К метакимберлитовым породам нами предположительно отнесены своеобразные карбонат-слюдисто-тремолитовые и слудисто-амфиболовые породы из аллювиальных обломков русла р. Тарынг-Юрях (среднее течение). Возможно, кимберлитовое происхождение также имеет хлорит-амфиболовая порода, обнаруженная в гальковом аллювиальном материале ручья (отметка устья – 1311,6 м), являющегося истоком р. Олондо. Она сложена удлинёнными призмами бесцветного амфибола, промежутки между которыми выполнены тальк-хлоритовыми агрегатами, содержащими редкую вкрапленность серпентина, магнетита, сфена, рутила и лейкоксена.

Алмазоносность метакоматиитов. Более 150 мелких обломков кристаллов алмаза (0,3–0,5 мм) установлено в линзах ультраосновных пород оливин-серпентин-талькового состава среди метаультрабазитов интрузивного облика, химический состав которых отвечает перидотитовым коматиитам [8, 9].

А.П. Смелов и соавторы [8] образец с алмазами считают продуктом метаморфического изменения интрузивных ультрабазитов в отличие от В.Г. Гадиятова и др. [9], относящих данную породу к

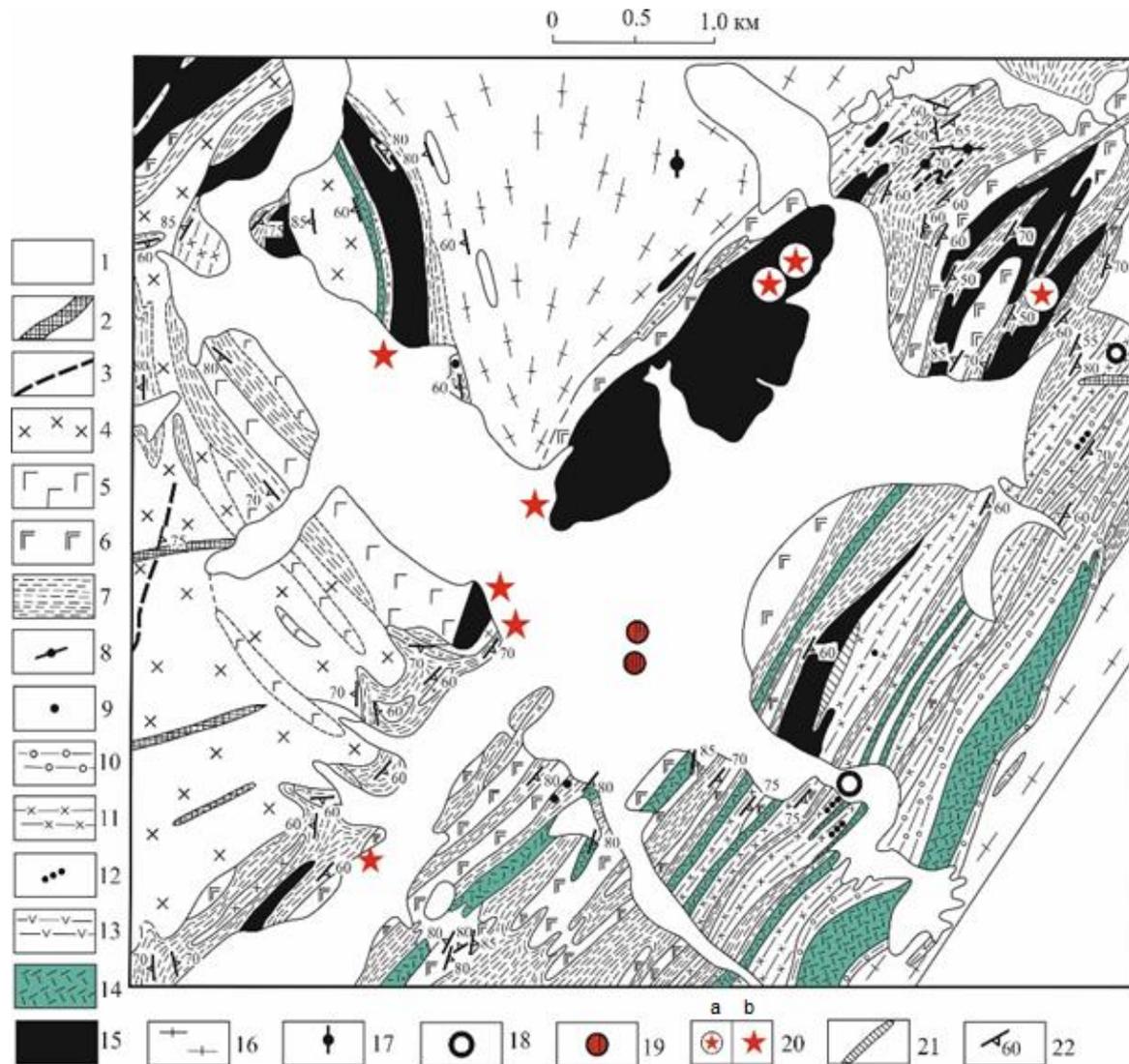


Рис. 2. Геолого-петрографическая карта центральной части Олондинского зеленокаменного пояса (по источнику [7]) с признаками потенциальной алмазности и золотонности (использованы данные Г.Л. Зуккау, 1990, 1991, А.П. Смелова и др. [8], А.В. Татаринова и Л.И. Ялович [4]):

1 – четвертичные отложения; 2 – дайки габбро-норитов; 3 – диабазы и ультраосновные породы пикритовой серии; 4 – плагиограниты; 5 – габбро, габбро-диориты и диориты; 6 – габбро-амфиболиты и горнблендиты; 7 – биотитовые и биотит-амфиболовые микрогнейсы; 8 – ставролит-гранатовые и жедритовые сланцы; 9 – гранат-амфиболовые сланцы; 10 – переслаивание амфиболовых сланцев, биотитовых и биотит-амфиболовых микрогнейсов; 11 – амфиболовые сланцы (метабазиты толеитовой серии); 12 – кварциты с гранатом, магнетитом, куммингтонитом; 13 – актинолит-хлоритовые сланцы по коматиитам и коматиитовым базальтам; 14 – карбонат-амфиболовые сланцы по туфам коматиитов; 15 – оливиниты, серпентиниты, тальковые породы по дунитам и перидотитам; 16 – тоналит-тронджемитовые гнейсы и мигматиты; 17 – дайки метакимберлитов; 18 – предполагаемая трубка кимберлитов; 19 – предполагаемая газозрывная структура; 20 – находки микроалмазов (а – в коренном залегании, b – в рыхлых четвертичных отложениях); 21 – зона золотонной прожилково-вкрапленной сульфидной минерализации; 22 – ориентировка сланцеватости и полосчатости

Fig. 2. Geological and petrographic map of the central part of Olondo Greenstone belt (by [7]) with the features of diamond and gold mineralization potential (used data by G.L. Zukkau, 1990, 1991; A.P. Smelov et al., [8]; A.V. Tatarinov, L.I. Yalovik [4]):

- 1 – Quaternary deposits; 2 – dykes of gabbro-norites; 3 – picrate series diabases and ultrabasic rocks;
 4 – plagiogranites; 5 – gabbro, gabbro-diorites and diorites; 6 – gabbro-amphibolites and hornblendites;
 7 – biotite and biotite-amphibole microgneisses; 8 – staurolite-garnet and gedrite schists;
 9 – garnet-amphibole schists; 10 – re-layering of amphibole schists, biotite and biotite-amphibole microgneisses;
 11 – amphibole schists (metabasites of the toleite series); 12 – quartzites with garnet, magnetite, kummingtonite;
 13 – actinolite - chlorite schists on komatiites and komatiite basalts; 14 – carbonate-amphibole schists
 on komatiite tuffs; 15 – olivinites, serpentinites, soap rocks on dunites and peridotites;
 16 – tonalite-trondhjemite gneisses and migmatites; 17 – metakimberlite dykes; 18 – expected kimberlite pipe;
 19 – expected gas explosive structure; 20 – findings of microdiamonds (a – in native occurrence,
 b – in loose Quaternary deposits); 21 – auriferous stringer-porphyry sulfide mineralization;
 22 – foliation and banding orientation

Состав магниевых гранатов из шлиховых комплексов бассейна р. Олондо
(по данным микрозондового анализа), мас. %
Composition of magnesian garnets from schlich complexes of the Olondo river basin
(according to microprobe analysis data), wt. %

Окислы элементов / Oxides of elements	Номер анализа / Test no.					
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	44,2	41,1	42,1	37,6	37,2	37,3
TiO ₂	н.о. / n.d.	1,12	н.о. / n.d.	н.о. / n.d.	н.о. / n.d.	н.о. / n.d.
Al ₂ O ₃	27,4	16,1	19,6	23,2	20,7	21,5
Cr ₂ O ₃	н.о. / n.d.	7,81	2,44	н.о. / n.d.	н.о. / n.d.	н.о. / n.d.
FeO	2,15	6,92	9,68	27,5	27,8	25,6
MgO	26,4	20,1	19,8	1,01	1,2	0,85
MnO	н.о. / n.d.	0,23	0,30	6,2	6,5	7,36
CaO	0,17	6,04	4,73	4,71	6,59	7,3
Сумма / Total	100,32	99,42	98,16	100,22	99,99	99,95

Примечание. 1, 2 – шлиховые комплексы бассейна р. Олондо; 3 – метакимберлиты Красной горки; 4 – гранатовые амфиболиты; 5 – пикриты; 6 – оливин-серпентин-карбонат-талковые породы. Н.о. – не обнаружено.

Note. 1, 2 – schlich complexes of the Olondo river basin; 3 – Krasnaya gorka metakimberlites; 4 – garnet amphibolites; 5 – picrites; 6 – olivine-serpentine-carbonate-talc rocks. N.d. – not detected.

ультраосновным вулканитам. Следует отметить, что результаты исследований представленных зерен алмазов методами ИК-Фурье показали их сходство с алмазами из кимберлитов и лампроитов. В мире известно единственное промышленное Дачинское месторождение алмазов (преобладающий размер кристаллов – 1–4,6 мм) коматиитового типа, расположенное во французской Гвиане [3]. Продуктивными здесь являются первичные вулканокластические, похожие на гиалокластиты и, возможно, имеющие одинаковую первичную природу с последними разновидности метаморфизованных пород коматиито-вой серии. В Олондинском поясе единственной разновидностью

коматиитов, петрографически сходных с таковыми из Дачинского месторождения, являются коматиитовые лапиллиевые туфы бассейна р. Олондо и среднего течения р. Тарынг-Юрях. Однако по литолого-петрографическому составу они значительно различаются. Весьма существенны также петрохимические и геохимические отличия сравниваемых метакиматиитов. Алмазоносные матакоматииты Дачинского месторождения (Бразильский щит) более близки кимберлитам, чем типичным коматиитам.

Отсутствие на сегодняшний день литолого-петрографических аналогов алмазоносных матакоматиитов Бразильского щита среди известных разновидно-

стей метакоматиитов Олондинского зеленокаменного пояса еще не позволяет отрицать возможную потенциальную алмазоносность всей коматиитовой толщи рассматриваемой структуры. В пользу этого вывода свидетельствует сходство геодинамических обстановок формирования тех и других.

Наиболее перспективной для поисков месторождений рассматриваемого типа, на наш взгляд, представляется полоса апокоматиитовых актинолит-хлоритовых динамосланцев, закартированная на юго-восточном фланге Олондинского зеленокаменного пояса (см. рис. 2).

Признаки потенциально алмазоносных диафторированных клинопироксенитов и газозрывных структур. Важное значение для целей прогнозирования алмазоносности имеет открытие авторами (апопироксенитовых) гранатовых амфиболитов, которые в основном и позволяют обосновать выделение в Олондинском зеленокаменном поясе потенциально алмазоносного базито-ультрабазитового комплекса.

Алмазоносные гранатовые амфиболиты известны в Становой плутоно-метаморфической области (Джугджуро-Становой пояс) Зее-Буреинского кратона. В настоящее время в силу слабой изученности петрологии алмазоносных амфиболитов Джугджуро-Станового пояса неясен состав первичных пород, подвергнутых метаморфизму. Вероятнее всего, они являются метаморфизованными эклогитами, транспортированными из мантии.

По аналогии с ними могут быть алмазоносными апопироксенитовые гранатовые амфиболиты Олондинского пояса из интенсивно метаморфизованного базальт-ультрабазитового комплекса типа тех, которыми сложен аллохтонный Красноярский массив.

Эти породы обнаружены авторами в шовных зонах надвигов, разделяющих реститовые гипербазиты и амфиболизиро-

ванные габброиды. В отличие от вмещающих амфиболитов метаморфического генезиса, входящих в состав разреза Олондинского пояса, рассматриваемые породы характеризуются сохранностью реликтовых зерен клинопироксена, графита, пиропового граната при широком развитии вторичной минерализации. Реликтовый пироповый гранат наблюдался во включениях сфена. Его приблизительный состав по данным микрозондового анализа (мас. %): FeO – 32,5; Al₂O₃ – 20; MgO – 9,5; SiO₂ – 24. Состав клинопироксена соответствует авгиту с преобладанием диопсидового минала. Температура его кристаллизации – выше 1300 °С. По особенностям химизма клинопироксены близки к таковым из кимберлитов. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что первичные породы, преобразованные в гранатовые амфиболиты, являются магматическими мантийными образованиями. Это могут быть основные породы типа гранатовых пироксенитов. Тесная пространственная ассоциация гранатовых амфиболитов с телами ультрабазитов указывает на то, что исходные для них породы кристаллизовались из единого базит-ультрабазитового расплава. Наблюдаемый в Олондинском поясе парагенезис гранатовых амфиболитов и реститовых метаультрабазитов вполне объясним, если предположить, что метаморфизму в условиях земной коры подверглись расслоенные эклогит-пироксенит-перидотитовые интрузивы типа массива Бени-Бушер (Марокко), в котором известны псевдоморфозы графита по алмазам.

В пределах Олондинского пояса, по всей вероятности, распространены сильно измененные метаморфизмом в коровых условиях крупные отторженцы упомянутых пород алмазоносной мантии. Их алмазоносность может быть низкой, в связи с тем, что в процессе тектонической транспортировки фрагментов,

содержащих алмазы глубинных пород, последние могут не сохраниться. Однако для решения вопроса о продуктивности потенциально алмазоносного метаморфизованного эклогит-пироксенит-ультрабазитового мантийного комплекса необходимо провести крупнообъемное валовое опробование метаультрабазитов и гранатовых амфиболитов Красногорского массива и других тел Олондинского зеленокаменного пояса.

Результаты шлихо-минералогических исследований позволяют предполагать на южном фланге Красногорской структуры (верховья р. Олондо) тип минеральных ассоциаций, связанный с потенциально алмазоносными газозрывными структурами (сферические шлаковые частицы, содержащие самородное железо, дендриты армоколита, ильменита, шпинелидов, а также иоцита и магнетита). В пользу данного прогноза, возможно, также свидетельствуют находки грифонных мергелистых конкреций в рыхлых четвертичных отложениях р. Олондо (см. рис. 2).

Золотоносность Олондинского пояса. Исследованиями Н.В. Попова, М.Н. Поповой, А.П. Смелова, М.Н. Шапориной [10] установлено наличие золота в некоторых разновидностях горных пород Олондинского зеленокаменного пояса. Золотоносными являются преобразованные в зонах динамометаморфизма базальтовые коматииты и базиты (базальты, габбро) толеитовой серии (хлорит-карбонат-амфиболовые динамо-сланцы с кварцевыми, кварц-карбонатными, карбонат-флогопитовыми обособлениями, плагиоклаз-карбонат-биотитовые бластомилониты и милониты). Все они в той или иной степени сульфидизированы. Содержания Au в измененных коматиитовых базальтах колеблются от 10 мг/т до 2,5 г/т (средние – 0,4 г/т), в метабазах толеитового ряда – до 4,5 г/т (средние – 0,9 г/т).

Карбонат-флогопитовые динамо-

сланцы характеризуются средним содержанием Au 0,7 г/т при максимальном содержании 2,3 г/т [10]. Повышенные содержания Au также обнаружены в тальк-карбонат-серпентиновых породах тектонических нарушений надвигового типа в ультрабазитах. Предполагается, что золото в основном представлено тонкодисперсными фазами (до 10 мкм). Частицы размером 0,1–0,3 мм встречаются редко. По значениям пробности выделены две группы Au: 970–990 и 720–780 ‰.

Сведения о наличии платиноидов в породах Олондинского зеленокаменного пояса отсутствуют. Вероятнее всего, элементы платиновой группы ассоциируют с Au. Можно ожидать приуроченность скоплений платиноидов в тальк-карбонат-серпентиновых породах, трассирующих швы надвигов в Красногорском массиве ультрабазитов и залегающих в подошвах мелких пластин серпентинитов, закартированных среди поля гнейсо-гранитов.

Зоны интенсивной сульфидизации в метавулканитах отмечены в восточной части Олондинской структуры (см. рис. 2). Среди сульфидов диагностированы пирит, пирротин, халькопирит, халькозин, сфалерит, галенит. В отличие от Cu никелевые минералы не были отмечены. Между тем существенные примеси Ni обнаружены в пирротине (Ni до 0,27 мас. %, Co – до 0,12 мас. %), оливине (Ni – 0,12 мас. %), магнетите (NiO – до 0,2 мас. %), клинопироксенах (NiO – 0,02–0,04 мас. %) и других минералах базит-ультрабазитового комплекса. В реститовых ультрабазитах содержания Ni составляют 780–3100 г/т. В перидотитовых метакоматиитах концентрации Ni значительно ниже (80–470 г/т). Уровень содержания его в базальтовых метакоматиитах – 357–1531 г/т. Никеленосными являются карбонат-серпентин-тальковые милониты (NiO – до 0,05 мас. %).

В свете сказанного можно прогнозировать в Олондинской структуре наличие комплексных сульфидных руд (Cu, Ni, Co)

с благородными металлами при различных соотношениях компонентов.

Большое сходство условий локализации и состава пород обнаруженных проявлений с некоторыми промышленными золоторудными месторождениями венд-рифейских зеленокаменных поясов Забайкалья позволяют весьма высоко оценивать перспективы Олондинского пояса на благородные металлы.

Заключение

Изложенные результаты исследований позволяют рекомендовать Олондинскую ветвь Токко-Ханинского зеленокаменного пояса, а также всю площадь последнего как новые перспективные объекты для проведения поисковых работ на алмазы и благородные металлы. Заслуживает изучения постановки специализированных прогнозно-поисковых

работ на эти виды полезных ископаемых вся площадь Чаро-Олекминской зеленокаменной области, включая месторождения железистых кварцитов и поля распространения щелочных пород.

Выводы

Таким образом, в данной работе прогнозируются кимберлитовый и коматиитовый формационно-генетические типы месторождений алмазов. Приводятся признаки возможной алмазоносности диафторированных пироксенитов, газозрывных структур. Отмечаются проявления рудного золота в динамометаморфитах по базальтовым коматиитам, основным породам толеитовой серии. Предполагаются кроме собственно золоторудных месторождений комплексные сульфидные руды (Cu, Ni, Co) с благородными металлами.

Библиографический список

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т. 138. № 2. С. 1–14.

2. Зубарев Б.М. Дайковый тип алмазных месторождений. М.: Недра, 1989. 183 с.

3. Capdevila R., Arrdt N., Letendre J., Sauvage J.-F. Duamonds in volcaniclastic komatiite from French Guiana // Nature. 1999. Vol. 399. P. 456–458.

4. Татаринев А.В., Яловик Л.И. Особенности вещественного состава горных пород и шлихо-минералогических комплексов Олондинского зеленокаменного пояса. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2003. 108 с.

5. Стогний В.В., Стогний Г.А. Тектоническая расслоенность Алдано-Станового геоблока. Новосибирск: Наука, 1997. 151 с.

6. Перцев Н.Н. Маракушев А.А.,

Мохов А.В., Лапутина И.П. Условия залегания алмазоносных пород // Отечественная геология. 2000. № 1. С. 24–28.

7. Попов Н.В., Смелов А.П., Добрецов Н.Н., Богомолова Л.М., Картавченко В.Г. Олондинский зеленокаменный пояс. Якутск: Изд-во Якутского научного центра СО АН СССР, 1990. 172 с.

8. Смелов А.П., Шацкий В.С., Рогозин А.Л., Реутский В.Н., Молотков А.Е. Алмазоносные архейские породы Олондинского зеленокаменного пояса (западная часть Олондинского зеленокаменного пояса) // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 10. С. 1322–1334.

9. Гадиятов В.Г., Маршинцев В.К., Тыллар Ю.Г., Павлов В.И., Чабан Н.Н., Асосков В.М., Томбасов И.А. Алмазоносность коматиитов Олондинского зеленокаменного пояса // Отечественная геология. 2003. № 3. С. 30–31.

10. Шапорина М.Н. Золотоносные породы Олондинского зеленокаменного пояса (Алданский щит) // Проблемы

геологии и освоения минерально-сырьевых ресурсов Восточной Сибири: информационные материалы Юбилейной конференции в честь 80-летия Иркутского

университета и 110-летия государственной геологической службы Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1998. С. 221–222.

References

1. Afanas'ev V.P., Zinchuk N.N., Logvinova A.M. Peculiarities in distribution of placer diamonds connected with pre-cambrian sources. *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], 2009, vol. 138, no. 2, pp. 1–14. (In Russian).
2. Zubarev B.M. *Daikovy tipalmaznykh mestorozhdenii* [Dyke type of diamond deposits]. Moscow: Nedra Publ., 1989, 183 p. (In Russian).
3. Capdevila R., Arrdt N., Letendre J., Sauvage J.-F. Diamonds in volcaniclastic komatiite from French Guiana. *Nature*, 1999, vol. 399, pp. 456–458.
4. Tatarinov A.V., Yalovik L.I. *Osobnosti veshchestvennogo sostava gornykh porod i shlikho-mineralogicheskikh kompleksov Olondinskogo zelenokamennogo poyasa* [Composition features of rocks and "schlich" mineralogic complexes of Olondino Greenstone belt]. Ulan-Ude: Buryat Scientific Centre of Siberian Department of Russian Academy of Sciences Publ., 2000, 108 p. (In Russian).
5. Stognii V.V., Stognii G.A. *Tektonicheskaya rassloennost' Aldano-Stanovogo geobloka* [Tectonic layering of Aldan-Stanovoy geoblock]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1997, 151 p. (In Russian).
6. Pertsev N.N., Marakushev A.A., Mokhov A.V., Laputina I.P. Conditions of diamondiferous rock occurrence. *Otechestvennaya geologiya* [Russian Geology], 2000, no. 1, pp. 24–28. (In Russian).
7. Popov N.V., Smelov A.P., Dobretsov N.N., Bogomolova L.M., Kartavchenko V.G. *Olondinskii zelenokamennyi poyas* [Olondino Greenstone belt]. Yakutsk: Yakutsk scientific center of the Siberian branch of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1990, 172 p. (In Russian).
8. Smelov A.P., Shatskii V.S., Rogozin A.L., Reutskii V.N., Molotkov A.E. Diamondiferous Archean rocks of the Olondo greenstone belt (western Aldan-Stanovoy shield). *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2012, vol. 53, no. 10, pp. 1322–1334. (In Russian).
9. Gadiyatov V.G., Marshintsev V.K., Tyllar Yu.G., Pavlov V.I., Chaban N.N., Asoskov V.M., Tombasov I.A. Diamond potential of komatiites within the Olondinsky greenstone belt. *Otechestvennaya geologiya* [Russian Geology], 2003, no. 3, pp. 30–31. (In Russian).
10. Shaporina M.N. *Zolotonosnye porody Olondinskogo zelenokamennogo poyasa (Aldanskii shchit)* [Auriferous rocks of Olondino Greenstone belt (Aldan shield)]. *Informatsionnye materialy Yubileinoi konferentsii v chest' 80-letiya Irkutskogo universiteta i 110-letiya gosudarstvennoi geologicheskoi sluzhby Vostochnoi Sibiri "Problemy geologii i osvoeniya mineral'no-syr'evykh resursov Vostochnoi Sibiri"* [Information materials of the jubilee conference in honour of the 80th anniversary of Irkutsk university and 110th anniversary of State Geological Service of Eastern Siberia "Geological issues and the problems of mineral resources development in East Siberia"]. Irkutsk: Irkutsk State University Publ., 1998, pp. 221–222. (In Russian).

Критерии авторства

Татаринов А.В., Яловик Л.И., Яловик Г.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Tatarinov A.V., Yalovik L.I., Yalovik G.A. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 552.331

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-41-53>

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ФЛЮОРИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ (ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И ФЛЮИДОВ)

© Е.И. Ласточкин^а, Г.С. Рипп^б, Д.С. Цыденова^с, В.Ф. Посохов^д, А.Е. Мурзинцева^е

^{а-д}Геологический институт СО РАН,

670047, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

^еБурятский научный центр СО РАН,

670047, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8.

РЕЗЮМЕ. Цель. Оценка источников флюидов эпитеpmальных флюоритовых месторождений Западного Забайкалья с помощью анализа изотопного состава кислорода, углерода, водорода и серы. **Методы.** Изотопные составы кислорода в силикатах, а также углерода в карбонатах определены в Геологическом институте СО РАН В.Ф. Посоховым. **Результаты.** Изотопный состав кислорода в кварце характеризуется существенной облегченностью (-3,4...+2,6 ‰ δ¹⁸O). Сера пиритов этих месторождений также обогащена легким изотопом (-1,8...-7,7 ‰ δ³⁴S). Величина δ³⁴S варьирует от +0,4 до -9,7 ‰ и составляет в среднем -3,75 по семи месторождениям. **Выводы.** Изотопные исследования свидетельствуют о глубинном источнике серы, претерпевшей изменения в процессе подъема ее от магматического очага к верхним горизонтам. Состав флюида фиксирует участие воды метеорного источника, вызванного процессами рециклинга под действием неглубоко залегающего плутона базитов.

Ключевые слова: флюорит, пирит, барит, кварц, изотопия, флюид, Забайкалье.

Информация о статье. Дата поступления 9 апреля 2018 г.; дата принятия к печати 5 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Цыденова Д.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Результаты изотопного изучения эпитеpmальных флюоритовых месторождений Западного Забайкалья (источники вещества и флюидов) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 41–53. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-41-53

^аЛасточкин Евгений Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, тел.: 8 (3012) 43327, e-mail: gin-buryatia-07@yandex.ru

Evgeny I. Lastochkin, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher, tel.: 8 (3012) 433275, e-mail: gin-buryatia-07@yandex.ru

^бРипп Герман Самуилович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

German S. Ripp, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

^сЦыденова Дарима Сергеевна, аспирант, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

Darima S. Tsydenova, Postgraduate student, e-mail: ripp@gin.bscnet.ru

^дПосохов Виктор Федорович, научный сотрудник, e-mail: vitaf1@yandex.ru

Viktor F. Posokhov, Researcher, e-mail: vitaf1@yandex.ru

^еМурзинцева Александра Евгеньевна, инженер, e-mail: muzeybsc@yandex.ru

Aleksandra E. Murzintseva, Engineer, e-mail: muzeybsc@yandex.ru

RESULTS OF ISOTOPIC STUDY OF EPITHERMAL FLUORITE DEPOSITS OF WESTERN TRANSBAIKALIA (SOURCES OF MATTER AND FLUIDS)

© E.I. Lastochkin, G.S. Ripp, D.S. Tsydenova, V.F. Posokhov, A.E. Murzintseva

Geological Institute SB RAS,
6a Sakhyanova St., Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670047, Russian Federation
Buryat Scientific Center SB RAS,
8 Sakhyanova St., Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670047, Russian Federation

ABSTRACT. The **purpose** of the publication is to estimate the fluid sources of the epithermal fluorite deposits of the Western Transbaikalia by analyzing the isotope composition of oxygen, carbon, hydrogen and sulfur. **Methods.** The isotopic compositions of oxygen in silicates as well as carbon in carbonates are determined by V.F. Posokhov in the Geological Institute SB RAS. **Results.** The isotopic composition of oxygen in quartz is characterized by low $\delta^{18}\text{O}$ (-3.4 - + 2.6 ‰). Pyritic sulfur of these deposits is also enriched by the light isotope $\delta^{34}\text{S}$ (from -1.8 to -7.7 ‰ $\delta^{34}\text{S}$). The value of $\delta^{34}\text{S}$ varies from +0.4 to -9.7 ‰ and is -3.75 on the average for seven fields. **Conclusions.** The isotope studies indicate a deep source of sulfur, which underwent changes in the process of its rise from the magma pocket to the upper horizons. The composition of the fluid is indicative of the participation of water from the meteor source caused by recycling processes under the influence of shallow underlying basite pluton.

Keywords: fluorite, pyrite, barite, quartz, isotopy, fluid, Transbaikalia

Article info. Received 9 April 2018; accepted for publication 5 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Lastochkin E.I., Ripp G.S., Tsydenova D.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E. Results of isotopic study of epithermal fluorite deposits of Western Transbaikalia (sources of matter and fluids). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 41–53. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-41-53. (In Russian).

Введение

По запасам флюорита Россия занимает четвертое место в мире после Китая, Мексики и Южно-Африканской Республики, обладая 12,8 % балансовых запасов его промышленных категорий. В России месторождения сосредоточены в основном на Дальнем Востоке и в Забайкалье. Главным объектом промышленных месторождений является эпитермальный существенно кварц-флюоритовый тип. Наиболее крупные месторождения распространены в Восточном Забайкалье. На этой территории выявлено более 300 проявлений и месторождений, где на протяжении нескольких десятков лет ведется промышленная добыча плавикового сырья. В Западном Забайкалье сосредоточено 14,36 % общероссийских балансовых запасов флюорита [1]. Здесь обнаружено более 150 проявлений и

месторождений. Крупные запасы плавикового шпата сосредоточены в Монголии, где разведано 60 месторождений и обнаружено несколько сотен проявлений флюорита [2].

Изучением флюоритовых месторождений в Восточном Забайкалье и Монголии занимались несколько десятков исследователей. Ими дана классификация месторождений, детальная характеристика вещественного состава, геологоструктурные особенности, зональность рудных тел и месторождений, оценены возможные источники вещества и характер связи с магматическими породами. Результаты этих исследований обобщены в монографических работах [2, 3], в которых отмечена близость эпитермальных флюоритовых месторождений Монголии, Восточного и Западного Забайкалья. Эта близость предопределила

выделение Центрально-Азиатской флюоритоносной провинции, протягивающейся от Алдана до Монголии [4].

Существенно слабее изучены месторождения Западного Забайкалья. В основном по ним даны описания геологического строения, минерального состава, околорудноизмененных пород. Большая часть этих результатов зафиксирована в работах К.Б. Булнаева [5, 6].

Методы исследований

Изотопные составы кислорода, углерода в карбонатах и кислорода в силикатах определены в Геологическом институте СО РАН (аналитик В.Ф. Посохов). Карбонаты были разложены ортофосфорной кислотой с использованием опции «Газбенч» при температуре 60–70 °С в течение 2–4 ч. Измерения проведены на масс-спектрометре Finigan MAT 253 в режиме постоянного потока гелия. Калибровка для карбонатов проведена по стандартам NBS-18, NBS-19. Величины $\delta^{13}\text{C}(\text{PDB})$ и $\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$ определены с погрешностью $\pm 0,05$ и $\pm 0,1$ ‰ (1 σ) соответственно.

Кислород из оксидов был выделен методом лазерного фторирования. Калибровка анализов осуществлялась по международным стандартам NBS-28 (кварц), NBS-30 (биотит). Методика анализа описана в работе [7]. Воспроизводимость анализов составляла $\pm 0,1 \dots +0,3$ ‰ при 95 %-м доверительном уровне.

Изотопный состав кислорода во флюидах оценен с помощью расчетов в соответствии с коэффициентами равновесного фракционирования для каждого минерала [8–10]. Температуры, использованные при оценке изотопных составов, взяты из расчета 180–200 °С, полученных при термометрическом изучении флюидных включений в кварце и флюорите.

Изотопный состав водорода в гидроксилсодержащих минералах определен в Изотопном центре ДВНЦ РАН. Анализ выполнен по методу, описанному в

работе [11]. Для удаления сорбированной воды пробы предварительно были нагреты до 200 °С. Конституционная вода выделялась при температуре 1250 °С. Отделение водорода из воды проведено на хrome при температуре 950 °С. Состав его измерен на масс-спектрометре Finigan MAT 253 относительно лабораторного стандарта, калиброванного по международным стандартам VSMOW, SLAP, GISP. Воспроизводимость определения δD (1 σ) составляет 1,5 ‰.

Общая характеристика флюоритовых месторождений

Главными объектами исследований были месторождения Западного Забайкалья. Кроме того, были изучены месторождения Абагайтуй, Калангуй, Усуглинское, расположенные в Восточном Забайкалье, Галшарьинское и Бэрх – в Монголии. Все эти месторождения отнесены к эпитеpмальным образованиям, сформировавшимся на небольших глубинах.

В Западном Забайкалье кроме эпитеpмального флюоритового типа известны также и другие флюоритсодержащие формационные типы месторождений. Среди них наиболее крупными являются фтор-бериллиевые (Ермаковское, Ауник, Амандак), молибден-вольфрамовые (Булуктаевское, Джидинская группа), флюоритсодержащие редкоземельные карбонатиты (Аршанское, Южное) и бастнезитсодержащие флюорит-альбитовые проявления (Портовое, Улан-Удэнское). Они подчеркивают фторидную специализацию региона.

Эпитеpмальные месторождения слагают жилы выполнения, зоны тектонических брекчий, сцементированных флюоритовым и кварц-флюоритовым агрегатом, и тела метасоматического образования. Они характеризуются простым минеральным составом, включающим в основном флюорит и кварц. В отдельных случаях к этим минералам добавляются кальцит, барит, цеолиты, пирит,

глинистые минералы. Соответственно выделяют существенно флюоритовый (Куранжинское, Березовское), кварц-флюоритовый (Хурайское, Наранское), кальцит-кварц-флюоритовый (Убукунское, Эгита), барит-кальцит-кварц-флюоритовый (Абагайтуйское, Аро-Таширское, Усуглинское и др.) и пирит-флюоритовый (Калангуйское) минеральные типы. Большинство проявлений расположено в гранитах, кристаллических сланцах, гнейсах, и лишь небольшая часть залегает в карбонатных породах (Эгитинское).

Данные по определению абсолютного возраста месторождений в настоящее время практически отсутствуют (известны единичные K-Ar определения), и потому оценка проведена по соотношению их с вмещающими породами. Принят в основном позднемезозойский возраст оруденения. В Восточном Забайкалье галька и обломки кварц-флюоритового состава обнаружены в нижнемеловых отложениях Бaleyской впадины, а в Западном Забайкалье кварц-флюоритовые жилы (Иволгинское, Манжинское) пересекают отложения нижнемеловой гусино-озерской серии.

Пространственное распределение флюоритовых проявлений показано на рисунке. В числе характерных месторождений кварц-флюоритового типа можно назвать Хурайское, Титовское, Барун-Ульское, Наранское, Третьяковское, Иволгинское. Жилы подобного состава установлены на Ермаковском и Амандакском (фтор-бериллиевых), Джидинском и Булуктаевском (молибден-вольфрамовых) месторождениях.

Кварц-флюоритовые рудные тела представлены в основном жилами выполнения открытых трещин и минерализованными брекчиями дробления. Типичная минеральная ассоциация включает кварц и флюорит, в подчиненном количестве представлены кальцит, калиевый полевой шпат, барит, пирит, глинистые минералы, редко геарксутит, гематит,

галенит, цеолиты. Вмещающими породами служат граниты, основные и средние эффузивы, кристаллические сланцы и гнейсы, конгломераты и песчаники. Рудные тела сопровождаются окварцеванием, флюоритизацией и аргиллизацией вмещающих пород с образованием каолинита, монтмориллонита, диккита, галлуазита, гидромусковита.

Месторождения относятся к низкотемпературным приповерхностным геологическим образованиям. Термобарометрическими исследованиями установлено, что минералообразование на месторождениях Западного Забайкалья происходило при температурах 75–200 °С. Близкий температурный интервал зафиксирован и в месторождениях Восточного Забайкалья [3] и Монголии.

Около десятка небольших месторождений и рудопроявлений представлено кальцит-кварц-флюоритовым типом. Они локализованы среди карбонатных (Эгита, Дархинское, Барун-Алцакское, Верхне-Сангинское и др.) и силикатных пород (Бурун-Ульское, Верхне-Убукунское). Некоторые кварц-флюоритовые жилы, залегающие среди алюмосиликатных пород, переходят по простиранию в известняки и становятся кальцит-кварц-флюоритовыми.

Результаты

изотопных исследований

На месторождениях были изучены изотопные составы сульфидной и сульфатной серы, кислорода в кварцах, кислорода и углерода в кальцитах. В каолините и геарксутите определен изотопный состав водорода.

Изотопный состав серы. Среди проявлений представлены пиритсодержащие кварц-флюоритовые, карбонатно-кварц-флюоритовые и баритсодержащие типы. Большая часть анализов серы привлечена из источника [12]. Количество пирита в них обычно не превышает 1 мас. %. Резко отличается от них Калангуйское месторождение, где содержание

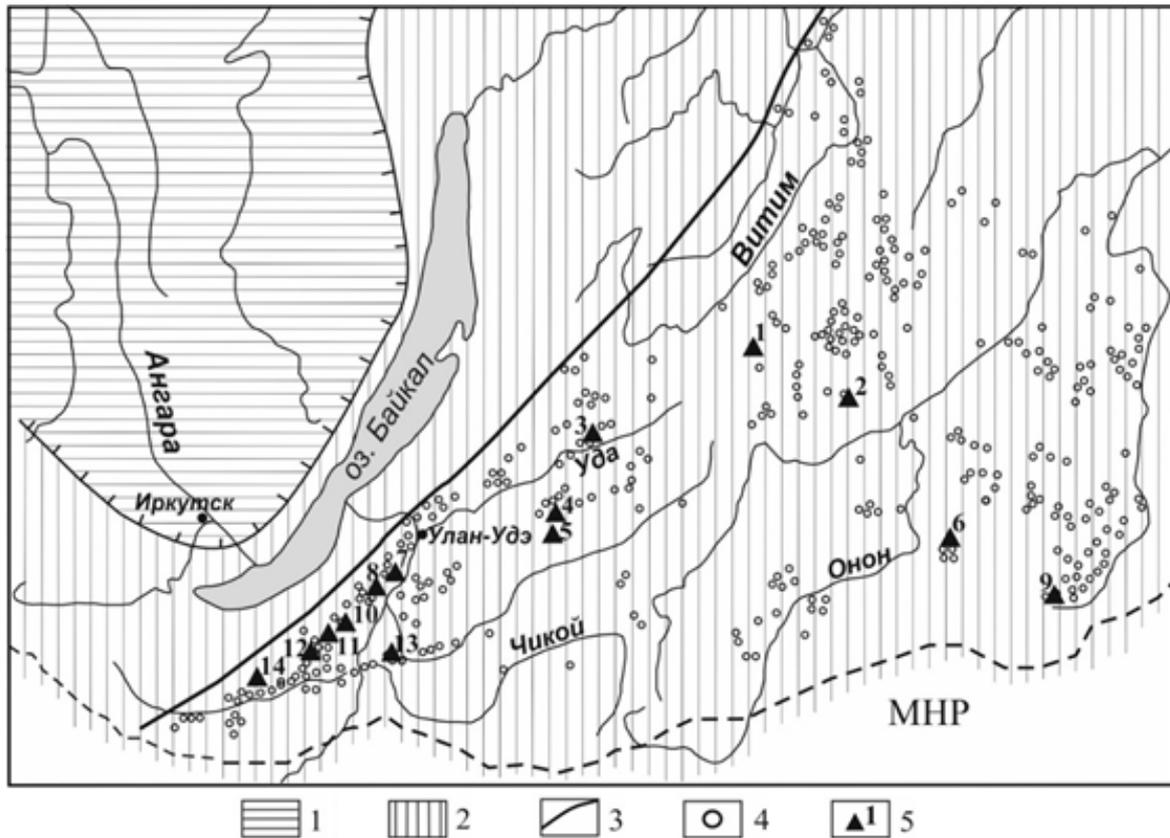


Схема распространения эпитермальной флюоритовой минерализации в Забайкалье:

1 – Сибирская платформа; 2 – складчатая область; 3 – граница распространения флюоритовой минерализации; 4 – флюоритовые проявления; 5 – изотопно-изученные флюоритовые рудопоявления и месторождения: 1 – Амандак, 2 – Усуглинское, 3 – Эгита, 4 – Кижингинское, 5 – Ермаковское, 6 – Калангуй, 7 – Третьяковское, 8 – Манжинское, 9 – Абагайтуй, 10 – Наран, 11 – Аро-Ташир, 12 – Убукун, 13 – Новопавловка-II, 14 – Хурай

Distribution diagram of epithermal fluorite mineralization in Transbaikalia:

1 – Siberian platform; 2 – folded area; 3 – boundary of fluorite mineralization distribution; 4 – fluorite occurrences; 5 – isotopically-studied fluorite ore occurrences and deposits: 1 – Amandak, 2 – Usuglinskoe, 3 – Egita, 4 – Kizhinga, 5 – Ermakovskoe, 6 – Kalangui, 7 – Tretyakovskoe, 8 – Manzhinskoe, 9 – Abagaytui, 10 – Naran, 11 – Aro-Tashir, 12 – Ubukun, 13 – Novopavlovka-II, 14 – Khurai

пирита и марказита в рудах и вмещающих породах достигает 5–7 %. Пирит встречается непосредственно в рудах, но чаще фиксируется во вмещающих породах, образуя рассеянную вкрапленность и слагая маломощные прожилки. В подавляющем большинстве величины $\delta^{34}\text{S}$ пиритов варьируют в пределах отрицательных значений и лишь в единичных случаях имеют положительные значения (табл. 1). Сера пиритов пострудной стадии (Калангуйское, Наранское, Новопавловское) в сравнении с сульфидами начальных стадий имеет более легкий изотопный состав.

Барит присутствует в основном в рудных телах, слагая вкрапленность и гнезда кристаллов (до нескольких сантиметров). В отличие от пирита изотопный состав серы менее однороден и имеет значения $\delta^{34}\text{S}$, варьирующие в пределах 8–15 %.

Изотопный состав кислорода. Изотопный состав кислорода определен в кварце рудных стадий. На Манжинском месторождении проанализированы также геаркутит, встречающийся в центральных зонах рудных тел, и калиевый полевой шпат. Главной особенностью кислорода является деплетированность

Таблица 1

Изотопный состав сульфидной (пирит) и сульфатной (барит) серы
эпитермальных флюоритовых месторождений

Table 1

Isotopic composition of sulfide (pyrite) and sulfate (barite) sulfur
from epithermal fluorite deposits

Минерал / Mineral	Месторождения / Deposits	Анализируемый материал / Material under analysis	$\delta^{34}\text{S}$ ‰ CDT	
Кварц-флюоритовые / Quartz-fluorite				
Пирит / Pyrite	Наранское / Naran	Руда (6) / Ore (6)	-3,1	
	Новопавловское II / Novoravlovka II	Руда (15) / Ore (15)	-3,38	
	Хурайское / Khurai	Руда / Ore	-4,4	
			-5,65	
	Хамнейское / Khamneiskoe		-1,7	
	-3,45			
	Третьяковское / Tret'yakovskoe		-1,8	
	Тосо-I / Toso-I		-2,4	
	Бэрх / Berkh		-3,1	
	Кальцит-кварц-флюоритовые / Calcite-quartz-fluorite			
Эгита / Egita			Мраморизованный известняк (8) / Marmorized limestone (8)	-3,60
			Кварц-серицитовый метасоматит / Quartz-sericite metasomatite	-3,90
		Кварц-флюоритовая руда / Quartz-fluorite ore	2,26	
Пирит-флюоритовые руды / Pyrite-fluorite ores				
	Калангуйское / Kalangui	Пирит (36) / Pyrite (36)	-2,0	
Барит-кальцит-кварц-флюоритовые / Barite-calcite-quartz-fluorite				
Барит / Barite	Аро-Таширское / Aro-Tashir	Руда / Ore	10,7	
			13,7	
	Новопавловское II / Novoravlovka II		9,1	
	Перевальное / Perevalnoe		15,8	
	Баян-Ундурское / Bayan-Undur		16,5	
			9,5	
	Абагайтуйское / Abagaytui		14,7	
			10,3	
			19,0	
	Усуглинское / Usuglinskoe		11,5	
	Галшар / Galshar		10,3	
			13,35	
			12,7	
	Нижне-Кижингинское / Nizhne-Kizhinga		12,1	

Примечание. В скобках указано количество проб. По этим месторождениям даны средние значения.
Note. The number of samples is indicated in parentheses. Mean values are given for these deposits.

его тяжелым изотопом, имеющим в большинстве случаев отрицательные значения $\delta^{18}\text{O}$ (-0,1...-3,0 ‰) и в единичных случаях достигающим 2–3 ‰ (табл. 2). Обогащенность легким кислородом зафиксирована в геарксутите и калиевом полевым шпате Манжинского месторождения. Существенно тяжелее изотопный

состав кислорода в кварце Эгитинского месторождения. Величины $\delta^{18}\text{O}$ здесь варьируют в интервале от +4,4 до +12 ‰. Расчеты состава кислорода, равновесного с кварцем, кальцитом и полевым шпатом, показывают на резкую обогащенность его легким изотопом (табл. 2, 3).

Таблица 2

Изотопный состав кислорода в минералах и равновесных с ними флюидах
Table 2
Isotopic composition of oxygen in minerals and fluids equilibrium with them

Номер пробы / Sample no.	Месторождение / Deposit	Минерал / Mineral	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ Fluid	T , °C	
Кварц-флюоритовые / Quartz-fluorite						
Гм 2864-1 / Gm 2864-1	Наран / Naran	Кварц / Quartz	2,0	-9,7	200	
Гм 2864 / Gm 2864			2,1	-9,6		
Гм 765-1 / Gm 765-1	Хурай / Khurai		-1,4	-14,5	180	
Гм 2870-1 / Gm 2870-1			-2,6	-15,7		
Гм 540-1 / Gm 540-1			1,8	-11,3		
Тр-34 / Tr-34	Третьяковка / Tret'yakovka		-2,2	-15,3	180	
Амнд-17 / Amnd-17	Амандак / Amandak		-2,2	-15,3	180	
521- Н-К / 521-N-K	Нарын-Кундуй / Naryn-Kundui		-2,3	-15,4	180	
547-Н-К / 547-N-K			1,3	-11,8		
Мн-14-1 / Mn-14-1	Манжинское / Manzhinskoe		-0,2	-13,0	-	
Мн-14-2 / Mn-14-2		-0,4	-13,5	-		
Ман. 17-1 / Man. 17-1		Калиевый полево шпат / K-feldspar	-1,8	-11,0	180	
1-грк / 1-grk		Геарксутит / Gearksutite	0,88	-	-	
Кальцит-кварц-флюоритовые / Calcite-quartz-fluorite						
Гм 637-1 / Gm 637-1	Убукун / Ubukun	Кварц / Quartz	-3,0	-15,1	200	
Гм 636 / Gm 636			-3,4	-15,5		
Э-14-2 / E-14-2	Эгита / Egita		6,2	-5,5	200	
Э-14-1 / E-14-1			4,4	-7,3		
Гм 595-1 / Gm 595-1			12,6	0,9		
Гм 596-1 / Gm 596-1			4,7	-7,0		
Э-14-2 / E-14-2			6,2	-5,5		
Гм 597-1 / Gm 597-1			10,1	-1,6		
Барит-кальцит-кварц-флюоритовые / Barite-calcite-quartz-fluorite						
2880-Аб / 2880-Ab	Абагайтуй / Abagaytui		Кварц / Quartz	3,7	-9,4	180

Примечание. Расчеты состава кислорода во флюидах проведены по источнику [9], также использованы температуры термобарогеохимических исследований.

Note. Calculations of the composition of oxygen in fluids were carried out according to [9], temperatures of thermobarogeochemical studies were also used.

Таблица 3

Изотопный состав кальцита из кварц-флюоритовых
 и барит-кварц-флюоритовых месторождений

Table 3

Isotopic composition of calcite from quartz-fluorite
 and barite-quartz-fluorite deposits

Номер пробы / Sample no.	Месторождение / Deposit	$\delta^{13}\text{C}$ ‰ PDB	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ Fluid	T, °C
Э-6-1 / E-6-1	Эгита / Egita	-4,83	18,2	7,6	200
Э-6-2 / E-6-2		-3,39	14,55	3,95	
Э-6-3 / E-6-3		-1,76	-6,06	-16,7	
Э-6-4 / E-6-4		-10,52	19,77	9,2	
Э-6-5 / E-6-5		-9,38	17,11	6,5	
Э-20-1 / E-20-1		-8,70	16,72	6,12	
2887-13Уб / 2887-13Ub	Убукун / Ubukun	1,76	-4,06	-14,7	180
2880-Аб / 2880-Ab	Абагайтуй / Abagaytui	-2,06	-4,25	-14,8	180
Е-15-27 / E-15-27	Ермаковское / Ermakovskoe	-1,48	1,79	-8,81	180
Е-15-27а / E-15-27а		-1,69	2,47	-8,13	

Примечание. Изотопный состав воды определен по источнику [10] исходя из температур термобарогеохимических исследований.

Note. The isotopic composition of water was determined by the source [10] on the basis of the temperatures of thermobarogeochimical studies.

Гетерогенностью составов кислорода и углерода характеризуются карбонаты кальцитсодержащих месторождений (см. табл. 3), варьирующих даже в пределах одного месторождения. Их наиболее важной особенностью является обогащенность легким углеродом, достигающим в отдельных случаях $-10,5$ ‰ $\delta^{13}\text{C}$. При этом выделяется две группы. В одну из них входит Эгитинское месторождение с интенсивно проявившимися метасоматическими процессами. На этом месторождении состав кислорода приближен к составам метаморфизованных морских карбонатных пород. Подобные изотопные характеристики кислорода и углерода установлены в кальцитах месторождения Южного Уэльса из флюоритовых прожилков, образованных метасоматическим путем по известнякам [13].

В кальцитах других карбонатсодержащих проявлений также отмечается деплетированность тяжелым углеродом и

заметно более легкий (вплоть до отрицательных значений $\delta^{18}\text{O}$) изотопный состав кислорода. Они близки составам этих элементов на эпитермальном флюоритовом карбонатсодержащем месторождении Внутренней Монголии ($-4,96$... $-4,25$ ‰ $\delta^{18}\text{O}$) и углерода ($-2,06$... $+1,76$ ‰ $\delta^{13}\text{C}$) [14].

Обсуждение

Западное Забайкалье относится к числу регионов с ярко выраженной флюоритовой специализацией. Здесь кроме эпитермальных месторождений распространены фтор-бериллиевые (20–70 % флюорита), молибден-вольфрамовые месторождения (Булуктаевское, Джидинское рудное поле) (до 10–15 % флюорита). Флюорит характерен для редкоземельных (7–10 %) карбонатитов (Аршанское, Южное), флюорит-флогопит-бастнезитовых метасоматитов (5–10 %) (Портовое, Улан-Удэнское). Образование перечисленных типов минерализации охватывает период от 240 млн лет до

позднего мела. Наиболее ранний из них совпадает со временем формирования щелочно-сиенит-гранитного куналейского комплекса и связанных с ними фтор-бериллиевых месторождений (Ермаковское – 225–220 млн лет, Ауник, Амандак – 240–250 млн лет) [15]. Возраст флюоритсодержащих карбонатитов и флюорит-флогопитовых метасоматитов (Аршан, Южное, Портовое) – 132–135 млн лет, а вольфрамовых месторождений (Джидинское, Булуктаевское) – 120–144 млн лет. Наибольшая интенсивность эпитермального флюоритового оруденения сближена с этапом проявления позднемезозойского базальтового вулканизма, формировавшегося вплоть до позднего мела. Сотни их проявлений приурочены к полосе Центрально-Азиатского флюоритоносного пояса. Начало проявления флюоритового оруденения синхронизировано с этапами мезозойских внутриплитных рифтогенных процессов.

При оценке источников вещества и флюидов геологических объектов в настоящее время наиболее продуктивным является использование изотопных методов исследований. Несмотря на распространенность эпитермальных флюоритовых месторождений такие исследования пока еще немногочисленны [16–18]. В них представлены результаты изучения изотопных составов кислорода, углерода, сульфидной и сульфатной серы, водорода, стронция, неодима. На некоторых месторождениях определены составы кислорода и водорода в газожидких включениях [18], изотопный состав кислорода в баритах [17]. К числу важных результатов этих исследований относится вывод об участии в образовании руд вод метеорного источника. Проявившиеся метасоматические процессы на некоторых месторождениях обусловили контаминацию веществом вмещающих известняков и широкие вариации изотопных составов кислорода, углерода

и стронциевых отношений.

Связь флюоритовых месторождений с магматическими породами интерпретируется неоднозначно. С одной стороны, они сопровождают лейкограниты, щелочные граниты и сиениты, с другой – синхронизированы с породами мантийного происхождения: карбонатитами, базальтоидами. Юрские и меловые основные эффузивы, судя по источнику [19], отличаются самыми высокими содержаниями фтора (425,4 г/т). В их миндалинах отмечены проявления флюорита [2]. В случаях ассоциаций с кислым магматизмом в продуктах постмагматических процессов последних фиксируется присутствие мантийных компонентов. Сульфидная сера молибден-вольфрамовых месторождений идентична мантийным меткам ($-2...+2\text{‰ } \delta^{34}\text{S CDT}$), первичные стронциевые отношения лежат в интервале 0,703–0,705, а изотопный состав кислорода и углерода ложится в поле PIC мантийного квадрата [20].

Составы стабильных изотопов флюоритовых эпитермальных месторождений резко отличаются от других типов эндогенных месторождений Забайкалья. В большинстве случаев они отчетливо деплетированы тяжелыми изотопами серы, кислорода и углерода. Возрастная и пространственная близость базитов и флюоритовых эпитермальных руд логично предполагает мантийный источник последних. Сера пирита при близости к метеоритному стандарту заметно обогащена S^{32} , а величины $\delta^{34}\text{S}$ ее в большинстве случаев имеют отрицательные значения. Она идентична сульфидной сере позднемезозойских молибден-вольфрамовых месторождений, в которых фиксируются мантийные метки и других элементов (O, C, Sr, εNd) [20].

Обогащение легкой серой, вероятно, было связано с изотопным разделением во флюидной фазе в процессе ее перемещения. Верхняя часть колонны обогащалась легкой серой, а в

отстающей сульфатной концентрировался тяжелый изотоп. Такой механизм описан при дистилляции базальтового расплава [21], при котором улетучивающийся SO₂ обогащался легкой серой, а остающаяся сера утяжелялась.

Иной механизм предполагается для появления легкого кислорода в минералах изученных месторождений. Состав кислорода в воде, равновесной с кварцем и кальцитом, при температурах 180–200 °С (см. табл. 3) свидетельствует о преобладающей роли метеорного источника. Субвулканическое происхождение месторождений при небольшой глубине их формирования предполагает рециклинг метеорных вод. Это подтверждается составом водорода из каолинита Эгитинского месторождения, деплетированного дейтерием (-175,8 ‰ δD). Существенно метеорный источник флюидов, участвовавших в образовании эпитегрмальных флюоритовых месторождений, согласуется с результатами исследований проявлений Австралии, Испании, Ирана, Турции, Китая [16–18]. В то же время состав водорода (-48 ‰ δD) в воде из гераксутита Манжинского месторождения указывает также и на участие глубинного

флюида. На многих из этих месторождений подобно Эгитинскому в результате метасоматических процессов фиксируется контаминация веществом вмещающих карбонатных пород.

Выводы

1. В Западном Забайкалье отчетливо фиксируется область флюоритовой минерализации, охватывающая период от раннего триаса до позднего мела. Этот этап синхронизирован с проявлениями внутриплитных рифтогенных процессов.

2. Главной особенностью эпитегрмальных флюоритовых месторождений является деплетированность легкими изотопами серы, кислорода и углерода. На заключительном этапе их формирования большую роль играли флюиды метеорного источника, вызванного процессами рециклинга.

3. При проявлении метасоматических процессов в результате контаминации вмещающими породами фиксируются сдвиги в изотопных составах кислорода и углерода.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ 17-05-00129 и 18-45-030004 p_a.

Библиографический список

1. Дондоков З.Б.-Д., Потапов Л.В., Кислов Е.В. Минерально-сырьевой комплекс Республики Бурятия: состояние и перспективы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 6. С. 43–51.

2. Жамсран М., Лхамсурен Ж., Оболенский А.А., Бадамгарав Ж., Батжаргал Ш., Оболенская Р.В., Туменбаяр Б., Цоодол Б., Шийтэр Н. Металлогения Монгольской Народной Республики. Новосибирск: Наука, 1986. 48 с.

3. Иванова А.А. Флюоритовые месторождения Восточного Забайкалья. М.: Недра, 1974. 208 с.

4. Соловьев А.Т. К вопросу о поясах

и этапах флюоритовой минерализации Восточного Забайкалья // Труды ВСЕГЕИ. 1961. Т. 57. С. 141–145.

5. Булнаев К.Б. Флюоритовые месторождения Западного Забайкалья // Новосибирск: Наука, 1976. 128 с.

6. Булнаев К.Б. Особенности образования и размещения флюоритовых формаций Забайкалья // Эволюция эндогенных процессов и оруденения в Забайкалье. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского филиала СО АН СССР, 1981. С. 101–109.

7. Sharp Z.D. A laser-based microanalytical method for the in situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // Geochimica

et *Cosmochimica Acta*. 1990. Vol. 54. P. 1353–1357.

8. Beaudoin G., Therrien P. The updated web stable isotope fractionation calculator // *Handbook of stable isotope analytical techniques* / ed. P.A. De Groot. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 2009. P. 1120–1122.

9. Sharp Z.D., Gibbons J.A., Maltsev O., Atudorei V., Pack A., Sengupta S., Shock E.L., Knauth L.P. A calibration of the triple oxygen isotope fractionation in the SiO₂-H₂O system and applications to natural samples // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2016. Vol. 186. P. 105–119.

10. O'Neil, Clayton R.N., Mayeda T.K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates // *Journal of Chemical Physics*. 1969. Vol. 51. P. 5547–5558.

11. Venneman T.W., O'Neil J.R. A simple and inexpensive method of hydrogen isotope and water analyses of minerals and rocks based on zinc reagent // *Chemical Geology (Isotope Geoscience section)*. 1993. Vol. 103. P. 227–234.

12. Рипп Г.С. Геохимия эндогенного оруденения и критерии прогноза в складчатых областях. Новосибирск: Наука, 1984. 191 с.

13. Barker S.L.L., Bennet V.C., Cox S.F., Norman M.D., Gagan M.K. Sm-Nd, Sr, C and O isotope systematic in hydrothermal calcite-fluorite veins: Implications for fluid-rock reaction and geochronology // *Chemical Geology*. 2009. Vol. 268. P. 58–66.

14. Pei Q., Zhang S., Santosh M., Cao H., Zhang W., Hu X., Wang L. Geochronology, geochemistry, fluid inclusion and C, O and Hf isotope compositions of the Shuitou fluorite deposit, Inner Mongolia, China // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 83. P. 174–190.

15. Лыхин Д.А., Ярмолюк В.В. Западно-Забайкальская бериллиевая провинция: месторождения, рудоносный магматизм, источники вещества. М.: ГЕОС, 2015. 256 с.

16. Khorshidi E., Abadi B.E.A. REE and stable isotope (C, O, S) geochemistry of fluorite from the Kamar-Mehdi deposit, southwest of Tabas, Iran // *Arabian Journal of Geosciences*. 2016. Vol. 9. P. 123.

17. Sanchez V., Cardellach E., Corbella M., Vindel E., Martin-Crespo T., Boyce A.J. Variability in fluid sources in the fluorite deposits from Asturias (N Spain): Further evidences from REE, radiogenic (Sr, Sm, Nd) and stable (S, C, O) isotope data // *Ore Geology Reviews*. 2010. Vol. 37. P. 87–100.

18. Cosanay P., Kirat E., Nihal C., Kizilkanat C., Mutlu H., Koc S. Geochemical, microthermometric, and isotopic constraints on the origin of fluorite deposits in central Anatolia, Turkey // *Turkish Journal of Earth Sciences*. 2017. Vol. 26. P. 206–226.

19. Канищев А.Д., Менакер Г.И. Средние содержания 15 рудообразующих химических элементов в земной коре Центрального и Восточного Забайкалья // *Геохимия*. 1974. № 2. С. 405–411.

20. Рипп Г.С., Смирнова О.К., Избродин И.А., Ласточкин Е.И., Рампилов М.О., Посохов В.Ф. К проблеме источников вещества месторождений Джидинского рудного поля (по данным изотопных исследований) (Западное Забайкалье) // *Петрология магматических и метаморфических комплексов: материалы IX Всерос. петрографич. конф. Томск, 2017. С. 371–376.*

21. Фор Г. Основы изотопной геологии / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 560 с.

References

1. Dondokov Z.B.-D., Potapov L.V., Kislov Ye.V. The mineral resource sector in the Republic of Buryatia: current state and further development. *Mineral'nyye resursy*

Rossii. Ekonomika i upravleniye [Mineral resources of Russia. Economics and management], 2015, no. 6, pp. 43–51. (In Russian).

2. Zhamsran M., Lkhamsuren Zh., Obolenskii A.A., Badamgarav Zh., Batzhargal SH., Obolenskaya R.V., Tumenbayar B., Tsoodol B., Shiiter N. *Metallogeniya mongol'skoi narodnoi respubliki* [Metallogeny of the Mongolian People's Republic]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1986, 48 p. (In Russian).
3. Ivanova A.A. *Flyuoritovyye mestorozhdeniya Vostochnogo Zabaykal'ya* [Fluorite deposits of the Eastern Transbaikalia]. Moscow: Nedra Publ., 1974, 208 p. (In Russian).
4. Solov'yeva A.T. On the question of belts and stages of fluorite mineralization in the Eastern Transbaikalia. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo geologicheskogo instituta* [Proceedings of All-Russian scientific research geological institute], 1961, vol. 57, pp. 141–145. (In Russian).
5. Bulnayev K.B. *Flyuoritovyye mestorozhdeniya Zapadnogo Zabaykal'ya* [Fluorite deposits of the Western Transbaikalia]. Novosibirsk: Nauka, 1976, 128 p. (In Russian).
6. Bulnayev K.B. *Osobennosti obrazovaniya i razmeshcheniya flyuoritovykh formatsiy Zabaykal'ya* [Formation and location features of fluorite strata in Transbaikalia] *Evolyutsiya endogennykh protsessov i orudneniya v Zabaykal'ye* [Evolution of endogenous processes and mineralization in Transbaikalia]. Ulan-Ude: Buryat department of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1981, pp. 101–109. (In Russian).
7. Sharp Z.D. A laser-based micro-analytical method for the in situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1990, vol. 54, pp. 1353–1357.
8. Beaudoin G., Therrien P. The updated web stable isotope fractionation calculator. *Handbook of stable isotope analytical techniques*. Vol. 2. Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 1120–1122.
9. Sharp Z.D., Gibbons J.A., Maltsev O., Atudorei V., Pack A., Sengupta S., Shock E.L., Knauth L.P. A calibration of the triple oxygen isotope fractionation in the SiO₂-H₂O system and applications to natural samples. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2016, vol. 186, pp. 105–119.
10. O'Neil, Clayton R.N., Mayeda T.K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *Journal of Chemical Physics*, 1969, vol. 51, pp. 5547–5558.
11. Venneman T.W., O'Neil J.R. A simple and inexpensive method of hydrogen isotope and water analyses of minerals and rocks based on zinc reagent. *Chemical Geology (Isotope Geoscience section)*, 1993, vol. 103, pp. 227–234.
12. Ripp G.S. *Geokhimiya endogenogo orudneniya i kriterii prognoza v skladchatykh oblastyakh* [Geochemistry of endogenous mineralization and forecasting criteria in folded areas]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984, 191 p. (In Russian).
13. Barker S.L.L., Bennet V.C., Cox S.F., Norman M.D., Gagan M.K. Sm-Nd, Sr, C and O isotope systematic in hydrothermal calcite-fluorite veins: Implications for fluid-rock reaction and geochronology. *Chemical Geology*, 2009, vol. 268, pp. 58–66.
14. Pei Q., Zhang S., Santosh M., Cao H., Zhang W., Hu X., Wang L. Geochronology, geochemistry, fluid inclusion and C, O and Hf isotope compositions of the Shuitou fluorite deposit, Inner Mongolia, China. *Ore Geology Reviews*, 2017, vol. 83, pp. 174–190.
15. Lykhin D.A., Yarmolyuk V.V. *Zapadno-Zabaykal'skaya berilliyevaya provintsiya: mestorozhdeniya, rudonosnyy magmatizm, istochniki veshchestva* [West Trans-Baikal beryllium province: deposits, ore-bearing magmatism, sources of matter]. Moscow: GEOS Publ., 2015, 256 p. (In Russian).
16. Khorshidi E., Abadi B.E.A. REE and stable isotope (C, O, S) geochemistry of fluorite from the Kamar-Mehdi deposit, southwest of Tabas, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, vol. 9, p. 123.
17. Sanchez V., Cardellach E., Corbella M., Vindel E., Martin-Crespo T., Boyce

A.J. Variability in fluid sources in the fluorite deposits from Asturias (N Spain): Further evidences from REE, radiogenic (Sr, Sm, Nd) and stable (S, C, O) isotope data. *Ore Geology Reviews*, 2010, vol. 37, pp. 87–100.

18. Cosanay P., Kirat E., Nihal C., Kizilkanat C., Mutlu H., Koc S. Geochemical, microthermometric, and isotopic constraints on the origin of fluorite deposits in central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2017, vol. 26, pp. 206–226.

19. Kanishchev A.D., Menaker G.I. Average contents of 15 ore-forming chemical elements in the earth's crust of Central and Eastern Transbaikalia. *Geokhimiya* [Geochemistry], 1974, no. 2, pp. 405–411. (In Russian).

20. Ripp G.S., Smirnova O.K.,

Izbrodin I.A., Lastochkin Ye.I., Rampilov M.O., Posokhov V.F. *K probleme istochnikov veshchestva mestorozhdeniy Dzhidinskogo rudnogo polya (po dannym izotopnykh issledovaniy) (Zapadnoye Zabaykal'ye)* [To the problem of the sources of matter of Dzhida ore field deposits (according to isotopic research data) (Western Transbaikalia)]. *Materialy IX Vserossiiskoi petrograficheskoi konferentsii "Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov"* [Proceedings of IX All-Russia petrographic Conference "Petrology of igneous and metamorphic complexes"]. Tomsk, 2017, pp. 371–376. (In Russian)

21. Faure G. Principles of Isotope Geology, 1969, 608 p. (Russ. ed.: *Osnovy izotopnoi geologii*. Moscow: Mir Publ., 1989, 560 p.).

Критерии авторства

Ласточкин Е.И., Рипп Г.С., Цыденова Д.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authorship criteria

Lastochkin E.I., Ripp G.S., Tsydenova D.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.25 (571.51)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64>

ГЕОХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИЗВЕСТНЯКАХ ТОРГАШИНСКОЙ СВИТЫ И СОДЕРЖАЩИХСЯ В НИХ ФЛЮИДОЛИТАХ, АРГИЛЛИЗИТАХ И КАЛЬЦИТОВЫХ ОНИКСАХ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

© С.С. Бондина^а, С.А. Ананьев^б, Т.А. Ананьева^с

^{а-с}Сибирский федеральный университет,

660041, Российская федерация, г. Красноярск, Свободный проспект, 79.

^сКрасноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева,

660049, Российская федерация, г. Красноярск, ул. Лебедевой, 89.

РЕЗЮМЕ. Цель. Исследование особенностей геохимии редкоземельных элементов (РЗЭ) в известняках и постседиментационных продуктах – флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых ониксах карбонатной толщи Торгашинского месторождения известняка. Методы. Для изучения поведения редкоземельных элементов был использован метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS). Определения проводились в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета. Результаты. Рассмотрены особенности геохимии РЗЭ в известняках торгашинской свиты и содержащихся в них флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых ониксах. Изучены спектры распределения РЗЭ, Eu (Eu/Eu*), Ce (Ce/Ce*), ЛРЗЭ/ТРЗЭ и др. Выводы. Аргиллизиты, пронизывающие карбонатные толщи, характеризуются привносом в них всех РЗЭ, в то время как известняки и низкотемпературные гидротермальные образования в виде кальцитового оникса формировались на фоне выноса как лантаноидов, так и тяжелых РЗЭ. Анализ распределения РЗЭ позволяет сделать вывод о различной природе аргиллизитов, являющихся продуктом флюидизатно-эксплозивного процесса, и известняков торгашинской свиты, на которые были наложены эти процессы.

Ключевые слова: Торгашинское месторождение, флюидолиты, аргиллизиты, кальцитовые ониксы, геохимия, редкоземельные элементы, европиевая, цериевая, эрбиевая аномалии.

Информация о статье. Дата поступления 22 декабря 2017 г.; дата принятия к печати 21 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А. Геохимия редкоземельных элементов в известняках торгашинской свиты и содержащихся в них флюидолитах, аргиллизитах и кальцитовых ониксах (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 54–64. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64

^аБондина Светлана Сергеевна, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий, e-mail: svetlana.bondina@gmail.com

Svetlana S. Bondina, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Lecturer of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies, e-mail: svetlana.bondina@gmail.com

^бАнаньев Сергей Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий, e-mail: sananiev@mail.ru

Sergey A. Ananiev, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies, e-mail: sananiev@mail.ru

^сАнаньева Татьяна Алексеевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, профессор кафедры географии и методики обучения географии Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева, e-mail: tananeva@mail.ru

Tatiana A. Ananieva, Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Geology, Mineralogy and Petrography Department of the Institute for Mining, Geology and Geotechnologies of the Siberian Federal University, Professor of the Department for Geography and Geography Training Methodology of the Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, e-mail: tananeva@mail.ru

GEOCHEMISTRY OF RARE-EARTH ELEMENTS IN TORGASHINO SUITE LIMESTONES AND FLUIDOLITES, ARGILLISITES AND CALCITE ONYXES CONTAINED IN THEM (EASTERN SAYANS)

© S.S. Bondina, S.A. Ananiev, T.A. Ananieva

Siberian Federal University,
79 Svobodny pr., Krasnoyarsk 660041, Russian Federation
Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev,
89 Lebedeva St., Krasnoyarsk 660049, Russian Federation

ABSTRACT. The **Purpose** of the paper is to study the features of rare-earth element (REE) geochemistry in limestones and post-sedimentation products including fluidolites, argillisites and calcite onyxes of the carbonate stratum of the Torgashino limestone deposit. **Methods.** The mass-spectrometry method with inductively coupled plasma is used for studying the REE behavior. The tests have been carried out in the multiple-access center “Analytical Center for Natural Systems Geochemistry” of the Tomsk State University. **Results.** The features of REE geochemistry are considered in the Torgashino suite limestones and fluidolites, argillisites and calcite onyxes contained in them. The distribution spectra of REE, Eu (Eu/Eu*), Ce (Ce/Ce*), light REE / heavy REE and other have been studied. **Conclusions.** Argillisites penetrating carbonate strata are characterized by the input of all REE while limestones and low-temperature hydrothermal formations in the form of calcite onyx have been formed in the presence of removal of both lanthanides and heavy REE. The analysis of REE distribution allows to make a conclusion on the different nature of argillisites which are the product of the fluidization explosive process and Torgashino suite limestones, which these processes were imposed on.

Keywords: *Torgashino deposit, fluidolites, argillisites, calcite onyxes, geochemistry, rare earth elements, europium, ceric, erbium anomalies.*

Article info. Received 22 December 2017; accepted for publication 21 May 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Bondina S.S., Ananiev S.A., Ananieva T.A. Geochemistry of rare-earth elements in Torgashino suite limestones and fluidolites, argillisites and calcite onyxes contained in them (Eastern Sayans). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 54–64. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-54-64. (In Russian).

Введение

Объектом исследований является карбонатная толща торгашинской свиты (€1tr), вскрытая карьерами с вертикальным размахом 200 м в пределах Торгашинского месторождения известняка, расположенного в окрестностях г. Красноярска и используемого для цементного и химического производства. Изучение особенностей геологического строения позволило проследить ход постседиментационных процессов, наложенных на известняки, и изучить новообразованные продукты. С этими процессами связано формирование жильных и трещинных пород – гидротермалитов, таких как крупнокристаллические и друзовидные кальциты, кальцитовые ониксы. Кроме того,

были обнаружены новые для этой толщи типы горных пород, продукты флюидизационно-эксплозивного процесса – флюидолиты, представленные известняковыми псефитами и аргиллизитами.

В данной работе впервые рассмотрены вопросы геохимии редкоземельных элементов в процессе формирования постседиментационных продуктов в пределах карбонатной толщи Торгашинского месторождения известняка.

Методы исследований и полученные материалы

Материалы, использованные в статье, получены в ходе геологических исследований в пределах карбонатной толщи торгашинской свиты в рамках выполнения гранта Минобрнауки 2013–2014

гг. (№ 14.В37.21.062). Комплекс исследований базировался на опробовании органогенных известняков, жильных флюидолитов и гидротермалитов – кальцитовых ониксов, по которым было выполнено 25 анализов на 37 элементов. Определения проводились в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent7500сх.

Результаты исследования и их обсуждение

В геологическом строении площади принимают участие органогенные известняки торгашинской свиты ($\epsilon_1 tr$), полого погружающейся на северо-восток, и перекрывающая ее шахматовская свита среднего кембрия ($\epsilon_2 sh$) (слоистые известняки). Большая часть площади Тор-

гашинского хребта сложена образованиями торгашинской свиты, а отложения шахматовской свиты фрагментарно развиты на его северных склонах. Карбонатные толщи разбиты разрывными нарушениями северо-восточной ориентировки. Известняки локально доломитизированы и содержат тела разнообразных гидротермальных и гидротермально-метасоматических образований, местами – дайки измененных базальтов. У северо-восточного подножья Торгашинского хребта нижнекембрийские образования со структурным несогласием перекрыты терригенными отложениями нижнего девона (рис. 1).

Торгашинская свита сложена серыми и светло-серыми массивными органогенными известняками. Подчиненную роль играют слоистые известняки. В верхней части разреза присутствуют прослои доломитов. По мнению

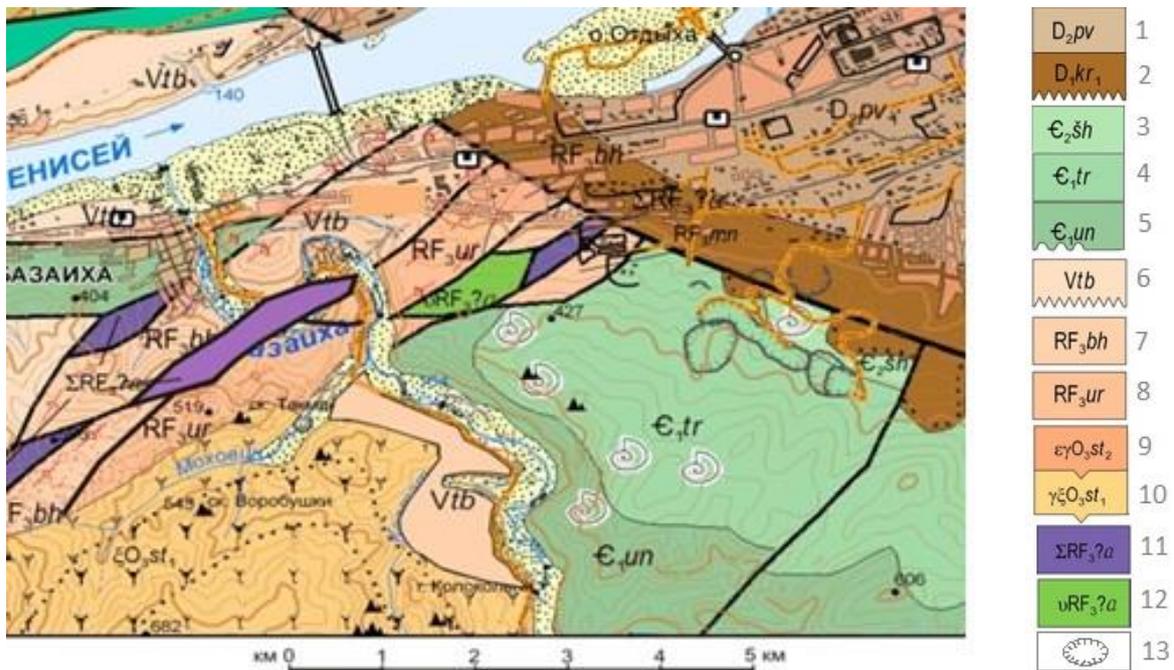


Рис. 1. Фрагмент геологической карты окрестностей г. Красноярск

1–8 – свиты (подсвиты): 1 – павловская, 2 – нижекарымовская, 3 – шахматовская, 4 – торгашинская, 5 – унгутская, 6 – туюбильская, 7 – бахтинская, 8 – урманская; 9–13 – магматические комплексы: 9, 10 – столбовский, 11, 12 – акшепский; 13 – карьеры

Fig. 1. Fragment of the geological map of Krasnoyarsk vicinities

1–8 – suites (subsuites): 1 – Pavlov, 2 – Nizhnekarymov, 3 – Shakhmatov, 4 – Torgashino, 5 – Ungut, 6 – Tyubil, 7 – Bakhtin, 8 – Urman; 9–13 – magmatic complexes: 9, 10 – Stolby, 11, 12 – Akshep; 13 – pits

Н.М. Задорожной [1], известняки торгошинской свиты образуют сложно построенное органогенное сооружение, которое может рассматриваться как рифовый комплекс, состоящий из более мелких элементарных органогенных построек (биогермов и биостромов) и сопутствующих им брекчиевых и слоистых известняков.

Одной из особенностей торгошинских известняков является большое разнообразие присутствующих в них гидротермально-метасоматических образований. К ним относятся аргиллизиты, жилы друзовых и массивных крупнокристаллических кальцитов, а также присутствует еще один тип пород, имеющий промышленное значение – кальцитовые ониксы. Типичными продуктами флюидизатно-эксплозивного процесса явились гематито-глинисто-кварцевые аргиллизиты и известняковые псефиты. Аргиллизиты заполняют практически все трещины в известняках, придавая породам красно-коричневый цвет. Они служат цементирующим матриксом для псефитовых флюидолитов (рис. 2).

Ряд исследователей [2] причислял аргиллизиты к кольматационным образованиям, продуктам выветривания вышележащей красноцветной песчано-глинистой толщи, относимой к карымовской

свите (D_{1kr}). Нами установлено, что аргиллизация в торгошинских известняках носит наложенный характер, а также обосновано их флюидизатно-эксплозивное происхождение [3]. Изучение обнажений показало, что известняк импрегнирован железным аргиллизитом, заполняющим все проницаемые пути – от тончайших трещин до жильных тел, часть которых может содержать кальцитовые ониксы, и зоны дробления. Сами же известняки окрашены в серый цвет с оттенками от обычного светло-серого до более редкого темно-серого.

В некоторых случаях в трещинных структурах, заполненных аргиллизитовыми массами, шло формирование жильных тел кальцитовых ониксов. Ритмичное чередование красноцветных глинистых продуктов и белого кальцита обусловило формирование тонкополосчатого рисунка данного поделочного камня. Аргиллизиты длительное время могли сохранять пластическое состояние, и при последующих деформациях обломки кальцитовых ониксов вновь цементировались ими (рис. 3).

Минералогический анализ аргиллизитов (18 проб) по результатам количественного рентгенофлуоресцентного анализа выявляет следующий состав в вес. % ($n/x_{min}-x_{max}/x_{сред.}$): кварц (18/43,7–



Рис. 2. Псефитовые флюидолиты (псевдоконгломератобрекчии) с аргиллизитовым цементом
Фрагмент глыбы (ширина поля 1 м)
Fig. 2. Psephitic fluidolites (pseudoconglomerate breccia) with argillite cement
Block fragment (field width is 1 m)



Рис. 3. Пример дробления пород с поглощением аргиллизитовой массой обломков оникса, кристаллов кальцита и известняка
Fig. 3. Example of rock crushing with the absorption of onyx fragments, calcite crystals and limestone by the argillite mass

71,1/58,2), каолинит (18/9,9–47,2/29,5), мусковит (17/1,44–8,13/4,16), иллит (15/1,14–9,22/4,65), гематит (18/0,54–4,65/2,55), анатаз (18/0,38–1,06/0,71), сидерит (11/0,34–1,85/0,65), кальцит (5/0,18–1,26/0,74), рутил (4/1,23–2,32/1,59), лизардит (2/1,20–1,52/1,36), магнетит (2/0,28–0,59/0,44).

Более детальное изучение минерального состава контрастных по цвету

зон кальцитового оникса выполнялось с помощью электронно-зондового анализа в лаборатории Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. Аргиллизитовый прослой в кальцитовом агрегате оникса просматривался в сканирующем микроскопе CamScan-4D с энергодисперсионным спектрометром Link с системой управления ISIS при увеличениях от 18^x до 4000^x (рис. 4).

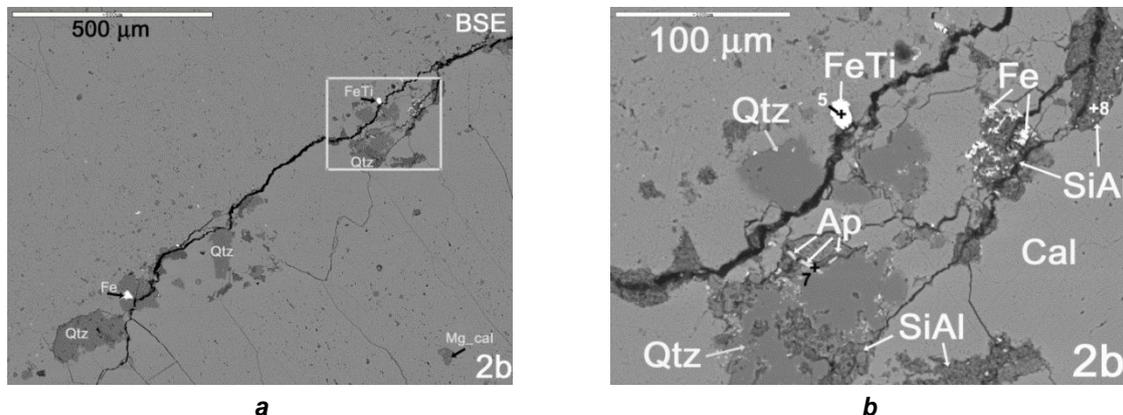


Рис. 4. Электронно-зондовый анализ аргиллизитового прослоя в кальцитовом ониксе:
 а – увеличенное изображение в режиме BSE (обратно отраженных электронов) аргиллизитового прослоя в ониксе; б – увеличенное изображение выделенного участка в режиме BSE: Qtz – кварц, SiAl минерал – каолинит с соотношением Al/Si ~ 1; Fe минерал – гематит; FeTi – титансодержащий магнетит (?); Mg_cal – магниевый кальцит; Ap – минерал группы апатита
 Крестиками отмечены точки энергодисперсионного анализа

Fig. 4. Electronic-probe analysis of the argillite interlayer in calcite onyx:

а – zoomed image in the BSE mode (backscattered electrons) of the onyx argillite interlayer;
 б – zoomed image of the selected area in the BSE mode: Qtz – quartz, SiAl mineral – kaolinite with Al/Si ~ 1 ratio; Fe mineral – hematite; FeTi – titanium-containing magnetite (?); Mg_cal – magnesian calcite; Ap – apatite-group mineral
 Crosses indicate the points of energy-dispersive analysis

Изотопное датирование аргиллизитов показывает соответствие времени их формирования возрасту сиенит-граносиенитового комплекса (ξO_3st) – 458,1±5,8 млн лет, находящегося в непосредственной близости к изучаемому объекту (геохронологические определения абсолютного возраста $40Ar/39Ar$ методом проведены в лаборатории Изотопно-аналитических методов Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН) [4].

Геохимические особенности редкоземельных элементов служат показателем физико-химических условий осадкообразования и дальнейших процессов изменения сформированных отложений. Для исследования поведения редкоземельных элементов в изучаемых образованиях был использован метод масс-

спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ISP-MS) (25 анализов) (таблица).

Для оценки поведения редкоземельных элементов применялось нормирование по хондриту (рис. 5) [5]. Аномалии Eu (Eu/Eu^*) и Ce (Ce/Ce^*) рассчитывались по формулам $Eu/Eu^* = Eu/(Smn+Gdn)^{1/2}$, $Ce/Ce^* = 2Ce/(Lan+Pm)$.

Выводы

Изучение особенностей распределения РЗЭ в толщах карбонатной формации позволило сделать следующие выводы.

Все выделенные типы пород характеризуются преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми, причем содержание их в аргиллизитах превышает содержание в известняках и кальцитовых ониксах. Наклоны кривых легкой части

Содержание редкоземельных элементов в различных породных образованиях торгашинской карбонатной толщи, г/т **Content of REE in different rock formations of the Torgashino carbonate stratum, g/t**

Редкоземельные элементы / Rare-earth elements	Кальцитовые ониксы ($n = 15$) / Calcite onyxes ($n = 15$)	Известняки и известняковые псефиты ($n = 5$) / Limestones and calcareous psephites ($n = 5$)	Аргиллизиты ($n = 5$) / Argillisites ($n = 5$)
La	0,377	0,419	18,029
Ce	0,539	0,682	41,509
Pr	0,077	0,095	3,479
Nd	0,313	0,402	12,043
Sm	0,067	0,074	1,876
Eu	0,021	0,019	0,332
Gd	0,085	0,095	1,328
Tb	0,012	0,013	0,216
Dy	0,076	0,078	1,422
Ho	0,017	0,019	0,341
Er	0,07	0,054	1,147
Tm	0,007	0,008	0,198
Yb	0,042	0,045	1,361
Lu	0,006	0,005	0,219

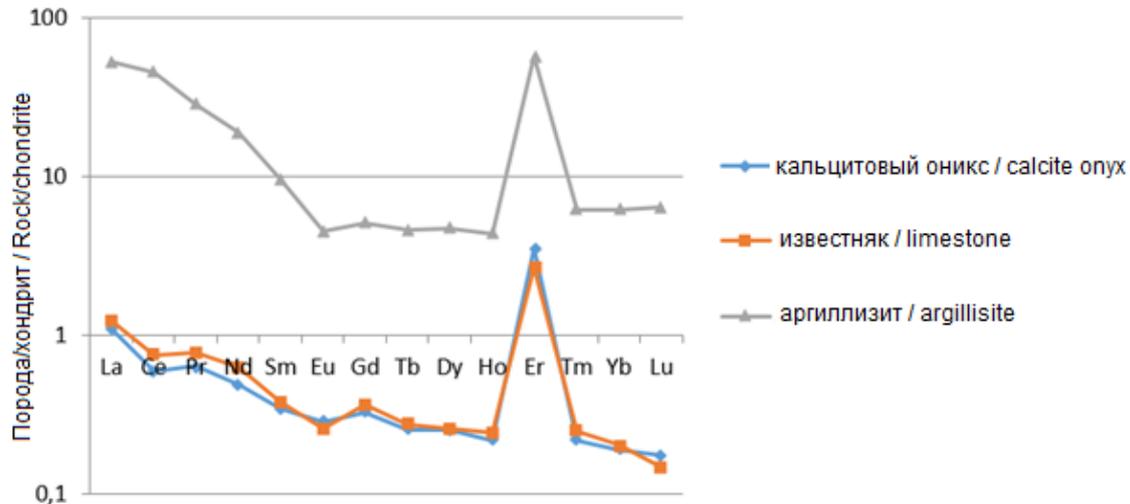


Рис. 5. Спайдер-диаграммы распределения редкоземельных элементов в карбонатной толще и постседиментационных продуктах
Fig. 5. Spider diagram of REE distribution in carbonate stratum and postsedimentation products

спектра для известняков и постседиментационных образований заметно больше (La_n/Sm_n для кальцитовых ониксов – 3,2; для известняков – 3,3; для аргиллизитов – 5,5), чем тяжелой (Gd_n/Yb_n – 1,7; 1,8 и 0,8 соответственно). Спадающий спектр достаточно ярко проявлен для легких РЗЭ. После слабо выраженной европейской аномалии «хвост» тяжелых РЗЭ колеблется примерно на одном уровне, а в случае известняков и кальцитовых ониксов он опускается на фоне ярко выраженной положительной эрбиевой аномалии. В аргиллизитах вслед за этой же аномалией наблюдается некоторое возрастание тяжелых РЗЭ. Значение ЛРЗЭ/ТРЗЭ, рассчитанное по формуле $[(La+Pr+Nd)/(Er+Tm+Yb+Lu)]_{обр}/[(La+Pr+Nd)/(Er+Tm+Yb+Lu)]_{хондр.}$, закономерно убывает в ряду аргиллизит – известняк – кальцитовый оникс как 8,7 – 8,2 – 6,3.

Низкие концентрации лантаноидов в известняках могут быть связаны с высокой скоростью осадконакопления и крайне низким содержанием железа [6] (для наших образований – в среднем 0,36 мас. %). В атдабанском веке раннего кембрия на рассматриваемой территории в условиях мелководной части морского

бассейна происходил быстрый рост биогермов, приведший к формированию органических известняков. Как отмечено А.А. Чистяковым и Ф.А. Щербаковым [7], скорости седиментационных процессов при образовании рифов, в том числе и биогермов, достаточно высоки и колеблются от 20–30 до 4000 см/тыс. лет. Известно, что биогенный карбонат не накапливает РЗЭ, а поэтому карбонатные отложения характеризуются их дефицитом и появлением отрицательных цериевых аномалий [8].

Аргиллизиты в сравнении со слабоизмененными известняками и кальцитовыми ониксами характеризуются более высокими содержаниями железа и марганца. Содержание марганца от известняков к аргиллизитам увеличивается от 0,008 до 0,02 %.

По данным рентгеноспектрального элементного анализа аргиллизиты содержат железа в среднем до 2,59 мас. %, известняки и кальцитовые ониксы – в среднем 0,36 мас. %. Минералогический анализ выборки из 18 проб аргиллизитов по результатам рентгенофазового анализа показал содержания гематита – 2,55; магнетита – 0,44; сидерита – 0,65 вес. %.

Относительная концентрация церия в породах отражает окислительно-восстановительную обстановку в процессе осадконакопления на дне морских бассейнов [9], и, как отмечают Г.А. Мизенс и другие [6] со ссылкой на источник [10], восстановительная обстановка приводит к растворению некоторой части церия и образованию отрицательных аномалий. Учитывая приведенные данные, а также факт накопления (сорбции) церия на взвеси оксигидроксидов железа и марганца, являющихся частью флюидизатно-эксплозивных систем, наложенных на карбонатные толщи, находит объяснение изменение значения цериевой аномалии от кальцитовых ониксов, известняков к аргиллизитам от 0,7 до 0,8 и 1,1 соответственно.

При изучении геохимии редкоземельных элементов важным показателем, отражающим редокс-условия, является величина европиевой аномалии. Геохимическое своеобразие европия проявляется в его переменной валентности (так же, как и церия): при высоком потенциале кислорода он, как и все РЗЭ, является трехвалентным, а при его дефиците – двухвалентным. При этом он становится более подвижным и переходит в раствор. Подобное изменение валентности европия может происходить и в условиях восстановительного диagenеза осадков по мере его накопления в формирующихся там новообразованиях [11].

Спектры РЗЭ в изучаемых объектах осложнены слабо выраженными европиевыми аномалиями. Их величина (Eu/Eu^*) хоть и близка к 1, но закономерно меняется от 0,6 в аргиллизитах до

0,7 и 0,9 в известняках и кальцитовых ониксах соответственно, что свидетельствует о слабой относительной окисленности процесса аргиллизации и такой же относительной восстановленности условий формирования известковых толщ.

Особенностью изучаемого процесса и характера поведения РЗЭ является резко положительная аномалия во всех выделенных породах эрбия на фоне положительной гадолиниевой аномалии. Данный факт был отмечен для пластовых вод нефтегазоносных районов и глубинных рассолов [12].

Общее сопоставление кривых распределения редкоземельных элементов показывает резкое геохимическое (концентрационное) различие глинистых (аргиллизитов) и карбонатных (известняки и кальцитовые ониксы) пород. Обращает на себя внимание практически полное сходство кривых распределения РЗЭ в известняках и кальцитовых ониксах.

Анализ геохимических особенностей РЗЭ в изучаемых толщах позволяет сделать вывод о различной природе аргиллизитов и известняков торгашинской свиты, на которые были наложены флюидизатно-эксплозивные процессы. Аргиллизация торгашинских известняков связана с этапом среднепалеозойской (O_1-S_2) тектономагматической активизации региона и имеет стадийный характер. Тектоническая деформация и дробление карбонатной толщи сопровождалась внедрением напорных низкотемпературных гидротерм, содержащих аргиллизитовую массу, уже обогащенную РЗЭ. Этот процесс носил флюидизатно-эксплозивный характер и привел к появлению флюидолитов [3].

Библиографический список

1. Задорожная Н.М. Раннекембрийские органогенные постройки восточной части Алтае-Саянской складчатой области // *Среда и жизнь в геологическом*

прошлом (палеоэкологические проблемы). Новосибирск: Наука, 1974. С. 159–186.

2. Задисенский Ю.А., Миронюк Г.В. [и др.]. Отчет по теме «Ревизионно-оценочные работы на выделение участков недр, содержащих коллекционный геологический материал (Красноярский край)». Красноярск: Музей геологии Центральной Сибири, 2008. 221 с.
3. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Цыкин Р.А. Аргиллизиты Торгашинского месторождения известняка // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. 2013. № 3 (25). С. 250–255.
4. Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А., Цыкин Р.А. Кальцитовые ониксы и другие гидротермалиты и флюдолиты Торгашинского месторождения известняка: монография. Красноярск: Изд-во КГПУ им. В.П. Астафьева, 2014. 134 с.
5. Wakita H., Rey P., Scmitt R.A. Abundences of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils // Proceedings of the 2nd Lunar Sciences Conference. Oxford: Pergamon Press, 1971. P. 1319–1329.
6. Мизенс Г.А., Степанова Т.И., Кучева Н.А., Сапурин С.А. Геохимические особенности известняков и условия осадконакопления на изолированной карбонатной платформе в позднем девоне и начале карбона на восточной окраине Урала // Литосфера. 2014. № 6. С. 53–76.
7. Чистяков А.А., Щербаков Ф.А. Лавинное осадконакопление в седиментационных ловушках континентальных окраин // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М.: Наука, 1985. С. 11–20.
8. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане / отв. ред. И.И. Волков. М.: Наука, 2006. 360 с.
9. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
10. Murray R.W., Buchholzen Brink M.R., Brumsack H.J., Gerlach D.C., Russ G.P. Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behavior of Ce/Ce*: results from ODP leg 127 // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. Vol. 55. P. 2453–2466.
11. Анисимов М.А., Иванова В.В., Пушина З.В., Питулько В.В. Лагунные отложения острова Жохова: возраст, условия формирования и значение для палеогеографических реконструкций региона Новосибирских островов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2009. № 5. С. 107–119.
12. Абакумова О.Е., Бизяев Н.А. Гадолиниевая и эрбиевая аномалии в глубинных рассолах // Международный научно-промышленный симпозиум «Уральская горная школа – регионам»: сб. докл. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 19–20.

References

1. Zadorozhnaya N.M. *Rannekembriiskie organogennye postroiki vostochnoi chasti Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti* [Early Cambrian organogenic structures of the eastern part of the Altay Sayan folded belt]. *Sreda i zhizn` v geologicheskoy proshlom (paleo-ekologicheskie problemy)* [Environment and life in the geological past (paleoecological problems)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1974, pp. 159–186. (In Russian).
2. Zadisenskii Yu.A., Mironyuk G.V. *Otchet po teme "Revizionno-otsenochnye raboty na vydelenie uchastkov neдр, soderzhashchikh kollektionnyi geologicheskii material (Krasnoyarskii Krai)"* [Report on the topic "Revision and appraisal works directed at identification of subsurface sites containing collection geological material (Krasnoyarsk Territory)"]. Krasnoyarsk: Museum of Central Siberian Geology Publ., 2008, 221 p. (In Russian).

3. Bondina S.S., Anan`ev S.A., Anan`eva T.A., Tsykin R.A. Argillizites of the Torgashino limestone deposit. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.P. Astaf`eva* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Pedagogic University], 2013, no. 3 (25), pp. 250–255. (In Russian).

4. Bondina S.S., Anan`ev S.A., Anan`eva T.A., Tsykin R.A. *Kal`tsitovye oniksy i drugie gidrotermal`nykh i flyudolity Torgashinskogo mestorozhdeniya izvestnyaka* [Calcite onyxes and other hydrothermalites and fluidolites of the Torgashino limestone deposit]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Pedagogic University named after V.P. Astafyev Publ., 2014, 134 p. (In Russian).

5. Wakita H., Rey P., Scmitt R.A. Abundences of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils. Proceedings of the 2nd Lunar Sciences Conference. Oxford: Pergamon Press, 1971, pp. 1319–1329.

6. Mizens G.A., Stepanova T.I., Kucheva N.A., Sapurin S.A. Geochemical features of limestones and depositional environment on the isolated carbonate platform on the eastern Urals margin during Late Devonian and Early Carboniferous. *Litosfera* [Lithosphere], 2014, no. 6, pp. 53–76. (In Russian).

7. Chistyakov A.A., Shcherbakov F.A. *Lavinnoe osadkonakoplenie v sedimentatsionnykh lovushkakh kontinental`nykh okrain* [Avalanche deposition in sedimentation traps of continental margins]. *Geologiya i geomorfologiya shel`fov i materikovyykh sklonov* [Geology and Geomorphology of

Continental Slope Shelves]. Moscow: Nauka Publ., 1985, pp. 11–20. (In Russian).

8. Dubinin A.V. *Geokhimiya redkozemel`nykh elementov v okeane* [Geochemistry of rare-earth elements in the ocean]. Moscow: Nauka Publ., 2006, 360 p. (In Russian).

9. Balashov Yu.A. *Geokhimiya redkozemel`nykh elementov* [Geochemistry of rare-earth elements]. Moscow: Nauka Publ., 1976, 267 p. (In Russian).

10. Murray R.W., Buchholzen Brink M.R., Brumsack H.J., Gerlach D.C., Russ G.P. Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behavior of Ce/Ce*: results from ODP leg 127. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, vol. 55, pp. 2453–2466.

11. Anisimov M.A., Ivanova V.V., Pushina Z.V., Pitul`ko V.V. Lagoon Sediments of Jokhov Island: Age, Conditions of Formation and Meanings for Paleogeographical Reconstructions of the Region of Novosibirsk Islands. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya RAN (Akad. Nauk SSSR). Seriya Geograficheskaya], 2009, no. 5, pp. 107–119. (In Russian).

12. Abakumova O.E., Bizyaev N.A. *Gadolinievaya i erbievaya anomalii v glubinnykh rassolakh* [Gadolinium and erbium anomalies in deep brines]. *Mezhdunarodnyi nauchno-promyshlennyi simpozium "Ural`skaya gornaya shkola – regionam"* [International scientific and industrial symposium "Ural Mining School for regions"]. Ekaterinburg: Ural State Mining University Publ., 2009, pp. 19–20. (In Russian).

Критерии авторства

Бондина С.С., Ананьев С.А., Ананьева Т.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Bondina S.S., Ananiev S.A., Ananieva T.A. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 550.837.82

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-65-79>

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ МЕТОДА ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАПОНАСЫЩЕННЫХ ЗОН С АНОМАЛЬНО ВЫСОКИМ ПЛАСТОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ В КАРБОНАТНЫХ МЕЖСОЛЕВЫХ КОЛЛЕКТОРАХ В РАЗРЕЗЕ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© А.И. Ильин^а, А.Г. Вахромеев^б, С.А. Сверкунов^в, И.В. Буддо^д, Ю.А. Агафонов^е, С.В. Компаниец^ф, А.С. Смирнов^г, И.В. Горлов^х, Н.Н. Мартынов^и

^{а,д,е,ф}АО «Иркутское электроразведочное предприятие»,
Российская Федерация, 664011, г. Иркутск, ул. Рабочая, 2а.

^{б,с,д}Институт земной коры СО РАН,

Российская Федерация, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

^{г,х}ООО «Газпром геологоразведка»,

Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Герцена, 70.

^иИркутский национальный исследовательский технический университет»,

Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

^гТюменский индустриальный университет,

Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

^аИльин Антон Игоревич, ведущий геофизик, e-mail: iai@ierp.ru

Anton I. Ilyin, Leading Geophysicist, e-mail: iai@ierp.ru

^бВахромеев Андрей Гелиевич, доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры нефтегазового дела ИРНТУ, заведующий лабораторией ИЗК СО РАН, e-mail: andrey_igr@mail.ru

Andrey G. Vakhromeev, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering of INRTU, Head of the Laboratory at the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail: andrey_igr@mail.ru

^вСверкунов Сергей Александрович, инженер лаборатории геологии нефти и газа, e-mail: dobro_75@mail.ru

Sergey A. Sverkunov, Engineer of the Laboratory of Oil and Gas Geology, e-mail: dobro_75@mail.ru

^дБуддо Игорь Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий инженер ИЗК СО РАН, заместитель главного геофизика АО «Иркутское электроразведочное предприятие», e-mail: biv@ierp.ru

Igor V. Buddo, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Leading Engineer at the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Deputy Chief Geophysicist at Irkutsk Electroprospecting Company JSC, e-mail: biv@ierp.ru

^еАгафонов Юрий Александрович, кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: aua@ierp.ru

Yuri A. Agafonov, Candidate of technical sciences, CEO, e-mail: aua@ierp.ru

^фКомпаниец Софья Викторовна, ведущий геофизик, e-mail: ksv@ierp.ru

Sofya V. Kompaniets, Leading Geophysicist, e-mail: ksv@ierp.ru

^гСмирнов Александр Сергеевич, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела ООО «Газпром геологоразведка», доцент кафедры прикладной геофизики ТИУ, e-mail: a.smirnov@ggr.gazprom.ru

Aleksandr S. Smirnov, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Subdivision of Gazprom Geologorazvedka LLC, Associate Professor of the Department of Applied Geophysics of Tyumen Industrial University, e-mail: a.smirnov@ggr.gazprom.ru

^хГорлов Иван Владимирович, заместитель начальника Инженерно-технического центра по геологическим проектам, e-mail: i.gorlov@ggr.gazprom.ru

Ivan V. Gorlov, Deputy Head of the Engineering and Technical Center for Geological Projects, e-mail: i.gorlov@ggr.gazprom.ru

^иМартынов Николай Никитович, аспирант, e-mail: martynovkoma@gmail.com

Nikolay N. Martynov, Postgraduate student, e-mail: martynovkoma@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Цель. В статье рассматривается способ прогнозирования рапонасыщенных зон с аномально высоким пластовым давлением в межсолевых карбонатных коллекторах в разрезе нижнего кембрия юга Сибирской платформы по данным метода зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). **Методы.** На основе данных ЗСБ определяются сопротивление и проводимость горных пород, слагающих разрез. **Результаты.** Сопоставление результатов бурения поисковых и разведочных скважин и результатов ЗСБ показывает, что латеральный градиент геоэлектрических параметров позволяет оконтуривать потенциально опасные рапонасыщенные зоны. **Выводы.** Построены карты продольной проводимости, сопротивления и карты градиента сопротивления, проводимости бельской свиты нижнего кембрия и определены критерии выделения градиентных зон, связанных с межсолевыми карбонатными рапонасыщенными коллекторами.

Ключевые слова: Ковыктинское газоконденсатное месторождение, межсолевой карбонатный коллектор, рапа, аномально высокое пластовое давление, зондирование становлением поля в ближней зоне, продольная проводимость, продольное сопротивление, градиент, прогноз зон аномально высокого пластового давления.

Информация о статье. Дата поступления 24 ноября 2017 г.; дата принятия к печати 4 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Компаниец С.В., Смирнов А.С., Горлов И.В., Мартынов Н.Н. Применение градиента геоэлектрических параметров горных пород по данным метода зондирования становлением поля в ближней зоне для прогноза рапонасыщенных зон с аномально высоким пластовым давлением в карбонатных межсолевых коллекторах в разрезе нижнего кембрия юга Сибирской платформы // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 65–79. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-65-79

APPLICATION OF ROCK GEOELECTRIC PARAMETER GRADIENT BASED ON NEAR-FIELD TRANSIENT ELECTROMAGNETIC SOUNDING DATA TO PREDICT BRINE-SATURATED OVERPRESSURED ZONES IN CARBONATE INTRASALT RESERVOIRS IN THE SECTION OF LOWER CAMBRIAN RESERVOIRS OF THE SOUTH OF THE SIBERIAN PLATFORM

© A.I. Ilyin, A.G. Vakhromeev, S.A. Sverkunov, I.V. Buddo, Yu.A. Agafonov, S.V. Kompaniets, A.S. Smirnov, I.V. Gorlov, N.N. Martynov

Irkutsk Electroprospecting Company JSC,
2a Rabochaya St., Irkutsk 664011, Russian Federation
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation
Gazprom geologorazvedka LLC,
70 Gertsen St, Tyumen 625000, Russian Federation
Irkutsk National Research Technical University
83 Lermontov St, Irkutsk 664074, Russian Federation
Tyumen Industrial University,
38 Volodarsky St., Tyumen 625000, Russian Federation

ABSTRACT. Purpose. The article deals with the forecasting method of brine-saturated zones with the abnormally high formation pressure (AHFP) in intrasalt carbonate reservoirs in the section of the lower Cambrian of the South of the Siberian platform according to the data of the near-field transient electromagnetic sounding. **Methods.** The method of near-field transient electromagnetic (TEM) sounding is used to determine the resistivity and conductivity of rocks composing the section. **Results.** Comparison of the results of prospect and exploration well drilling and the results of near-field transient electromagnetic sounding shows that the lateral gradient of geoelectric parameters allows to delineate potentially dangerous brine-saturated zones. **Conclusions.** The maps of longitudinal conductivity/resistivity as well as the maps of the resistivity/conductivity gradient of Belskaya suite of the lower Cambrian have been compiled. The criteria for the identification of gradient zones associated with the intrasalt carbonate brine-saturated reservoirs collectors have been determined.

Keywords: Kovykta gas condensate field, intrasalt carbonate reservoir, brine, abnormally high reservoir pressure, near-field transient electromagnetic (TEM) sounding, longitudinal conductivity, longitudinal resistivity, gradient, prediction of overpressured zones

Article info. Received 24 November 2017; accepted for publication 4 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Ilyin A.I., Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Buddo I.V., Agafonov Yu.A., Kompaniets S.V., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Martynov N.N. Application of rock geoelectric parameter gradient based on near-field transient electromagnetic sounding data to predict brine-saturated overpressured zones in carbonate intrasalt reservoirs in the section of lower Cambrian reservoirs of the south of the Siberian platform. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 65–79. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-65-79. (In Russian).

Введение

Ковыктинское газоконденсатное месторождение (ГКМ) является одной из важнейших кладовых углеводородного сырья не только в Восточной Сибири, но и в России, имеющей стратегическое значение в рамках создания и развития Иркутского центра газодобычи. В 1986 г. была пробурена скважина 281-Ковыктинская, несколько позднее – скважина 1-Ковыктинская. Обе скважины дали приток газа дебитом около 100 тыс. м³/сут. Тем самым было заявлено об открытии Ковыктинского ГКМ. Несмотря на относительно удобное географическое положение Ковыктинское ГКМ характеризуется крайне сложными геологическими условиями.

В период с 1987 по 2017 гг. на Ковыктинском и соседних Чиканском, Хандинском и Южно-Усть-Кутском участках пробурено 88 параметрических, поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Многие скважины дали промышленные притоки газа из парфеновского горизонта, на баланс поставлены запасы в объеме 2,5 трлн м³, что относит Ковыктинское ГКМ к категории гигантских месторождений. Из общего количества скважин не достигли проектного горизонта по геологическим причинам восемь скважин, что составляет около 10 % от общего количества. Основной причиной аварийных ситуаций является незапланированное вскрытие фонтани-

рующих рапонасыщенных зон с аномально высоким пластовым давлением (АВПД). Зоны с несовместимыми условиями бурения приурочены к межсолевым карбонатным флюидонасыщенным горизонтам.

Межсолевые карбонатные горизонты выделяются в литвинцевской, ангарской, бельской и усольской свитах. Необходимость перекрытия рапопроявляющих горизонтов приводит к серьезным потерям диаметра бурового ствола, причем даже использование тяжелой конструкции скважин не дает гарантии успешного безаварийного вскрытия подсолевых отложений. В северо-восточной части Ковыктинского ГКМ располагаются скважины 3, 18, 52, 60, 61, 64, в которых в процессе бурения были зафиксированы притоки рапы с АВПД из ангарской, булайской, бельской свит и верхов усольской свиты нижнего кембрия. В скважинах 52, 60, 61, 64 из христофоровско-балыхтинского резервуара получены мощные фонтаны рапы с минерализацией до 500–600 г/л при плотности до 1,40–1,42 г/см³. Вместе с рапой из скважин 52 и 64 поступал газ. Расчетные пластовые давления оцениваются на уровне 47–49 МПа, коэффициент аномальности K_a составляет 2,1–2,3. Природные флюидонасыщенные резервуары нижнего кембрия, обладающие подобными характеристиками, получили название аномальных коллекторов [1].

Подходы к прогнозированию зон аномальных коллекторов

Геологический разрез Ковыктинского ГКМ представлен тремя комплексами осадочных горных пород, каждый из которых характеризуется своими естественными свойствами и состоянием, которые определяют горно-геологические условия. Важнейшими факторами этих условий являются пластовые (поровые) давления флюида, прочность скелета горных пород, температура, литологический состав, наличие пластовых флюидов, тип коллекторов [2]. Эти факторы существуют объективно и являются неуправляемыми, поэтому актуальность прогноза горно-геологических условий до начала бурения скважины весьма высока.

Особенностью месторождения является то, что горно-геологические условия – пластовое давление, пористость и проницаемость пород, тип насыщающего пластового флюида – весьма сильно различаются в пределах месторождения, оказывая значительное влияние на выбор систем его разработки. В разрезе скважин имеются пласты, содержащие коррозионно-активные флюиды, в том числе и сероводород.

В целом проблема прогноза зон АВПД в России и в мире является животрепещущей. Проявления пластовых флюидов с АВПД встречены практически во всех нефтегазоносных провинциях России и мира [3]. Данной тематике посвящены работы многих ученых и исследователей. Все существующие и описанные в литературе методики прогнозирования зон АВПД в геологическом разрезе опираются на представление об уплотнении глин в разрезе, изменении их упругих и электрических характеристик [4], то есть прогнозирование горно-геологических условий в галогенно-карбонатном разрезе является достаточно молодой и развивающейся темой. По сути, на сегодняшний день не суще-

ствует общепризнанной методики для прогнозирования зон АВПД. При прогнозировании зон АВПД в терригенных отложениях нашли применение методы скважинной электрометрии и сейсморазведка¹. Остальные геофизические методы для прогноза зон АВПД исследователями серьезно не рассматривались [5].

В геологических условиях юга Сибирской платформы для прогноза горно-геологических условий бурения нашли применение геофизические методы, в основном несейсмические, которые ранее считались неинформативными для данных целей. Для прогноза зон аномальных коллекторов с АВПД на территории Ковыктинского ГКМ применялись различные геолого-геофизические подходы: анализ фактических условий бурения, широкий спектр геофизических исследований (сейсморазведка, магниторазведка, гравиразведка, электроразведка в модификациях МТЗ, ЧЗ-ВП и ЗСБ).

Локальные зоны аномального флюидонасыщенного коллектора с АВПД (АК-АВПД) достаточно четко проявляются в геофизических полях. По данным электроразведки им соответствуют аномалии проводимости в интервалах литвинцевской, ангарской, булайской, бельской и усольской свит, полимодальность распределения проводимости комплексов [6]. По данным сейсморазведки зоны аномальных коллекторов характеризуются повышенными значениями коэффициента аномальности по данным анализа резонансного затухания сейсмических волн [1]. Локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести интенсивностью до первых мГал отражают зоны аномальных коллекторов по данным гравиметрии.

¹ Методические указания по прогнозу и оценке аномально-высоких пластовых давлений. Л.: ВНИГРИ, 1987. 135 с. / Methodical instructions on the forecast and evaluation of abnormally high reservoir pressures. L.: VNIGRI, 1987. 135 p.

В силу сложившейся в геологоразведочной отрасли ситуации из всех перечисленных методов, пожалуй, только сейсморазведка и электроразведка ЗСБ показали наиболее достоверные результаты. Для прогнозирования опасных зон с помощью сейсморазведки требуется применение специальных процедур обработки. В методе ЗСБ зоны аномальных коллекторов в некоторых случаях могут выделяться уже на качественном уровне, и достоверность прогноза зависит главным образом от точности структурного каркаса геоэлектрической модели и плотности наблюдений.

Методика исследований зондирования становлением поля в ближней зоне

На Ковыктинском ГКМ из методов электроразведки для прогноза горно-геологических условий бурения в основном применение нашел метод ЗСБ: метод электромагнитных зондирований с импульсным контролируемым источником, основанный на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в геологической среде при изменении тока в источнике [7]. В отличие от остальных методов зондирований в ЗСБ кажущееся сопротивление и сигнал связаны обратной зависимостью. Чем более проводящим является разрез, тем более мощные вихревые токи в нем возникают и формируют полезный сигнал.

Электроразведочные работы методом ЗСБ проводились на территории Ковыктинского участка по сети профилей, на площадках аварийных скважин, вскрывших высокодебитные фонтанные зоны аномальных коллекторов, и площадках проектных скважин. Первые электроразведочные работы с целью изучения зон АВПД были проведены в 1994–1995 гг. в районе скважины 18. Затем были проведены исследования в районе аварийных скважин 52, 60, 61, 64, в рамках профильных работ на ряде разведочных скважин, а также на пло-

щадках проектных скважин. Всего за годы исследований было выполнено более 10000 зондирований ЗСБ, площадными работами ЗД-ЗСБ покрыто около 700 км².

Работы методом ЗСБ проводились с использованием цифровой телеметрической электроразведочной станции SGS-TEM [8]. При проведении работ на территории Ковыктинского ГКМ были применены методики профильных, верных и площадных наблюдений (рис. 1). В качестве источника электромагнитного поля использовались незаземленные петли со стороной 500 либо 600 м, максимальная сила тока в источнике составляла 150–170 А. Использовались приемные петли со стороной 18 м, 25–30 витков. Шаг по площади работ составил 500 м при профильных работах и 300–450 м при площадных работах, шаг между источниками – от 1200 до 2500 м.

Результатом работ ЗСБ являются карты и разрезы геоэлектрических параметров: продольного сопротивления (удельного электрического сопротивления (УЭС)) и проводимости горных пород. Результатами площадных работ являются кубы геоэлектрических параметров.

Геоэлектрические критерии выделения рапонасыщенных коллекторов с аномально высоким пластовым давлением

С момента открытия Ковыктинского ГКМ накоплена значительная статистическая база геолого-геофизических материалов и данных бурения, включающая скважины Ковыктинского ГКМ и прилегающих территорий. Имеющиеся данные позволяют определить связь значений сопротивления и проводимости геоэлектрических горизонтов с вероятностью проявления осложнений в процессе бурения.

Полученные результаты о распределении геоэлектрических параметров – удельного электрического сопротивления

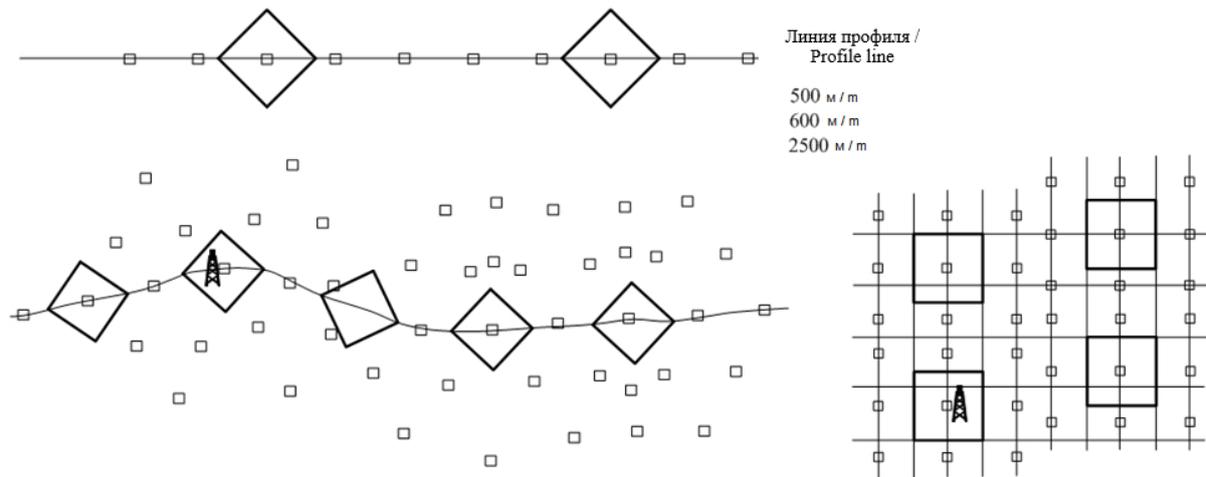


Рис. 1. Схемы установок зондирования становлением поля в ближней зоне, применяемые при работах на Ковыктинском газоконденсатном месторождении
Fig. 1. Schemes of TEM installations applied under development of Kovykta gas condensate field

и проводимости горных пород в разрезе – в сопоставлении с данными бурения, геофизических исследований скважин, геолого-технологических исследований и сейсморазведки позволили выработать геоэлектрические критерии наличия флюидонасыщенных горизонтов-коллекторов в системе природных резервуаров кембрия. Полученные критерии были применены для прогноза условий бурения проектных скважин, достоверность прогноза подтверждена результатами бурения [9].

Статистическая выборка значений проводимости и результатов бурения скважин показывает связь между проводимостью интервала горных пород и характером насыщения коллектора. Проанализировав материалы бурения скважин и электроразведочных работ, проводившихся на Ковыктинском ГКМ, сопоставив скважины с проявлениями, поглощениями, с притоками и без притоков со значениями проводимости по данным ЗСБ, была выработана методика прогноза условий бурения скважин с помощью электромагнитных зондирований. Она заключается в выделении в разрезе Ковыктинского ГКМ контрастных по отношению к вмещающим породам проводящих зон. Выделенные зоны отличают-

ся определенным характерным набором признаков. Как правило, рапоносные зоны характеризуются повышенной проводимостью, локальностью аномалий и градиентными зонами изменения геоэлектрических свойств.

Основные геоэлектрические критерии прогноза зон АВПД:

– зоны рапонасыщенного сложного карбонатного коллектора четко локализованы и контрастны по геоэлектрическим характеристикам;

– значения проводимости более 1–1,5 См свидетельствуют о флюидонасыщенности емкостного пространства в карбонатных породах.

Данные критерии были определены после проведения первых электроразведочных работ ЗСБ на скважинах 3 и 18, а затем подтверждены еще на ряде скважин.

Последующие электроразведочные исследования на территории Ковыктинского месторождения показали, что существующие критерии не могут однозначно охарактеризовать наличие зоны АВПД во флюидонасыщенных карбонатных горизонтах-коллекторах.

В 2000 г. были проведены работы методом веерных ЗСБ (см. рис. 1) в районе скважины 60, расположенной в се-

веро-восточной части Ковыктинского участка, в которой из интервала христофоровского горизонта был получен приток рапы интенсивностью 100 м³/сут. и более. Коэффициент аномальности пластового давления составил 2,1.

В 2002 г. при проходке скважины 61 были встречены осложнения в интервалах ангарской, булайской и бельской свит. Из интервала атовского горизонта было зафиксировано рапопроявление интенсивностью 0,7 м³/час. Расчетный коэффициент аномальности пластового давления флюида в атовском горизонте составил 2,1. В районе данной скважины также были выполнены профильные и веерные исследования методом ЗСБ (см. рис. 1).

По результатам работ на скважинах 60 и 61 были выделены аномалии проводимости в литвинцевской, ангарской, булайской и бельской свитах. Карты геоэлектрических параметров показали, что данные скважины располагались в зоне резкого изменения геоэлектрических свойств (рис. 2). Скважины располагаются в переходной зоне между низкими (менее 1 См) и высокими (до 5–6 См) значениями проводимости. Выделенные зоны получили название градиентных зон и стали рассматриваться как возможный прогнозный признак.

На первом этапе граничный уровень градиента проводимости, который мог бы использоваться в качестве прогнозного критерия, был определен простым графоаналитическим способом. На графике проводимости был отмечен уровень 1,5 См, который соответствовал наличию флюидонасыщенного коллектора. В соответствии с этим уровнем на графике градиента проводимости был также определен граничный уровень, составивший около 0,001 См/м. Однако формат профильных 2D электроразведочных работ и непредставительная статистика по сопоставлению скважин с осложнениями и значений градиента

геоэлектрических параметров не позволяли уверенно утверждать о появлении нового численного прогнозного критерия. Для того чтобы подтвердить возможность применения данного критерия, было проведено синтетическое моделирование на основе петрофизических и геологических моделей карбонатных коллекторов.

Исходя из общих представлений, градиент – это векторная величина, характеризующая скорость изменения физического поля по направлению. Примерами использования градиента могут служить температурный градиент, вертикальный градиент силы тяжести и т. п. Градиент можно получить расчетным путем, в простейшем случае – как разность значений поля в двух точках, деленная на расстояние. В магниторазведке и гравиразведке непосредственное измерение градиента предпочтительнее при условии, что измеренный градиент более точен, чем расчетный [10]. Преимущества использования градиента перед использованием поля при решении геологических задач заключается в том, что градиент представляет собой производную поля в заданном направлении, быстрее убывает с увеличением расстояния от тела, создающего геофизическую аномалию. Поэтому локальные объекты проявляются на графиках и картах градиента более контрастно.

В нашем случае использование градиента геоэлектрических параметров идет от обратного. Как таковой градиент не измеряется, оценивается скорость изменения инверсионных геоэлектрических параметров на результативных картах, и тем самым выделяется поисковый объект.

Построение карт градиента проводимости проводилось с использованием специализированной программы, которая располагает богатым набором математических алгоритмов и фильтров для работы с любыми данными. Для

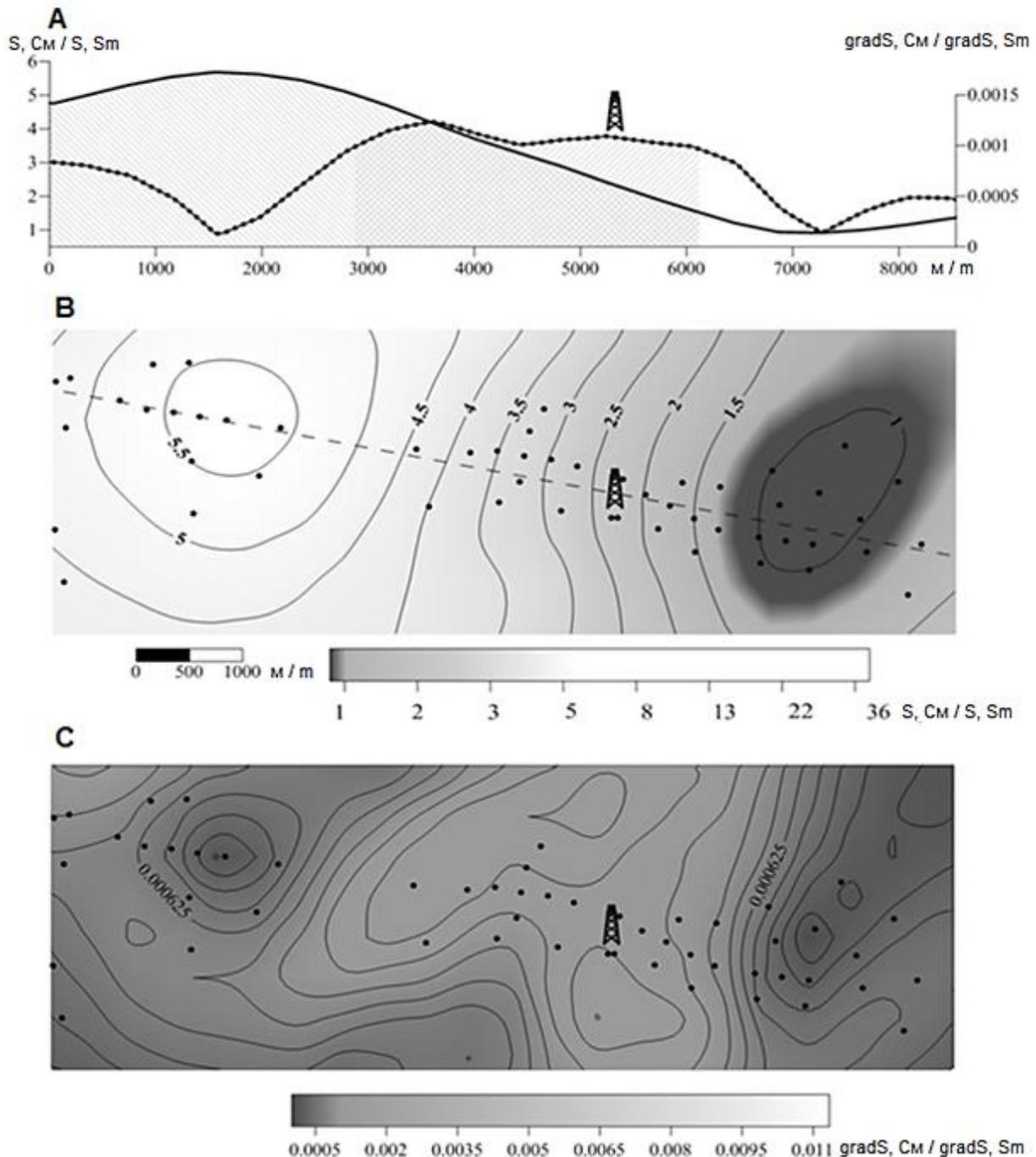


Рис. 2. Геоэлектрические характеристики бельской и булайской свит по данным 2D-зондирования становлением поля в ближней зоне:

A – графики проводимости и градиента проводимости; B – карта проводимости интервала булайской и бельской свит в районе рапопроявляющей скважины по данным 2D-ЗСБ;

C – карта градиента проводимости интервала булайской и бельской свит в районе рапопроявляющей скважины по данным 2D-ЗСБ

Fig. 2. Geoelectrical characteristics of Belskaya and Bulaiskaya suites according to 2D TEM sounding data:

A – graphs of conductivity and conductivity gradient; B – map of the conductivity of the interval of Bulaiskaya and Belskaya suites in the area of brine manifesting well according to 2D TEM data;

C – map of the conductivity gradient of the interval of Bulaiskaya and Belskaya suites in the area of brine manifesting well according to 2D TEM data

построения карт градиента геоэлектрических параметров применялась операция расчета градиента:

$$\left\| \vec{g} \right\| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2}.$$

Операция расчета градиента создает сетку со значениями величин градиентов в каждой точке поверхности. Оператор градиента дает результат в тех же единицах измерения, что и исходная функция, нормированных на расстояние. Оператор градиента равен нулю для области постоянных значений, в геологическом трактовании это области отсутствия коллектора либо сплошного распространения коллектора с постоянными фильтрационно-емкостными свойствами. Градиент стремится к бесконечности, для переходных зон коллектор с рапой – не коллектор.

Геологическая модель аномального коллектора в градиентной зоне геоэлектрических параметров

Полученные на практике представления о градиенте изменения геоэлектрических свойств были подробно рассмотрены на основе физико-геологических моделей карбонатных горизонтов-коллекторов и результатах математического моделирования [11].

Межсолевые карбонатные пласты-коллекторы в условиях проявления соляной тектоники отличаются весьма изменчивыми фильтрационно-емкостными свойствами. Как правило, тип карбонатного коллектора трещинный, каверновый, трещинно-каверновый. В условиях пластического течения солей вследствие геодинамической напряженности геологического разреза в области шарьирования, в межсолевых карбонатных пластах формируются отдельные изолированные солями блоки карбонатных пород. При насыщении изолированного межсолевого карбонатного блока горных пород предельно насыщенными рассолами – рапой – часть горного давления передается на флюид, формируя АВПД.

Рапа имеет минерализацию до 630 г/л, сопротивление флюида составит менее 0,01 Ом. Горные породы, насыщенные рапой, в электромагнитном поле представляются как аномальные контрастные объекты – проводники по сравнению с вмещающими практически не проводящими толщами солей [12]. По данным поисково-разведочного бурения изменчивость фильтрационно-емкостных свойств карбонатных межсолевых пластов-коллекторов в геологических условиях осадочного чехла юга Сибирской платформы весьма велика, граница между блоками рапонасыщенных пород-коллекторов может составлять от 4–5 км и менее до сотен метров.

Исходя из геологической модели поискового объекта, перед математическим моделированием сигналов ЗСБ ставилось три основные задачи:

- оценка возможности выделения карбонатных горизонтов-коллекторов относительно вмещающих пород;
- расчет погрешности восстановления геоэлектрической модели на зашумленных данных;
- использование полученных данных для комплексирования с результатами моделирования данных сейсмо-разведки.

На первом этапе формировались стартовые геоэлектрические модели и генерировались синтетические кривые ЗСБ. Расчет кривых производился путем решения прямой задачи электроразведки в рамках квазистационарной модели. Далее производилась автоматическая инверсия полученных данных для оценки погрешности восстановления геоэлектрической модели. Применялся алгоритм минимизации целевой функции, реализованный на основе метода Монте-Карло с элементами имитации отжига.

С целью снижения эквивалентности решений была применена регуляризация обратной задачи путем определе-

ния доверительного интервала поиска для каждого слоя модели. После инверсии производилась оценка расхождения полученного УЭС от стартового. Средняя погрешность восстановления геоэлектрических характеристик для христофоровско-балыхтинского резервуара составила 25 %.

Следующим шагом было зашумление синтетических кривых. Наличие обширной базы данных электромагнитных зондирований АО «Иркутское электроразведочное предприятие», полученной в пределах Ковыктинского ГКМ, позволило с высокой долей достоверности оценить уровень электромагнитных помех. После процесса зашумления выполнялась автоматическая инверсия по аналогичной методике. Погрешность восстановления геоэлектрических характеристик составила 33 % (рис. 3).

Проведенное моделирование отражает достаточно высокую точность восстановления геоэлектрических характеристик карбонатных горизонтов-коллекторов по данным работ 2D-ЗСБ. На зашумленных данных погрешность восстановления УЭС не превышает 30 %. Повысить точность определения геоэлектрических характеристик карбонатных горизонтов-коллекторов можно путем выполнения работ 3D-ЗСБ и комплексирования с данными сейсморазведки.

Результаты площадных электроразведочных работ 3D-зондирования становлением поля в ближней зоне

Карты сопротивления и проводимости, построенные по данным профильных и веерных работ ЗСБ, не позволяли в полной мере проанализировать и применять градиент геоэлектрических параметров как количественный прогнозный критерий при проведении геологической интерпретации электроразведочных работ. С внедрением в практику геологоразведочных работ на Ковыктинском ГКМ высокоплотных электроразведочных исследований методом ЗСБ, совмещенных с сетью сейсмических 3D-профилей, появилась возможность реализовать идею использования градиента геоэлектрических параметров как прогнозного критерия для выделения аномальных коллекторов (рис. 4).

Проведение площадных электроразведочных работ 3D-ЗСБ в 2016 г., охвативших площадки скважин 60 и 61, позволило провести более подробный анализ градиентных зон. Преимущество 3D-работ заключается в том, что еще на этапе полевых работ формируется плотная регулярная сеть пунктов наблюдений, позволяющая детально изучить распределение геоэлектрических свойств по латерали.

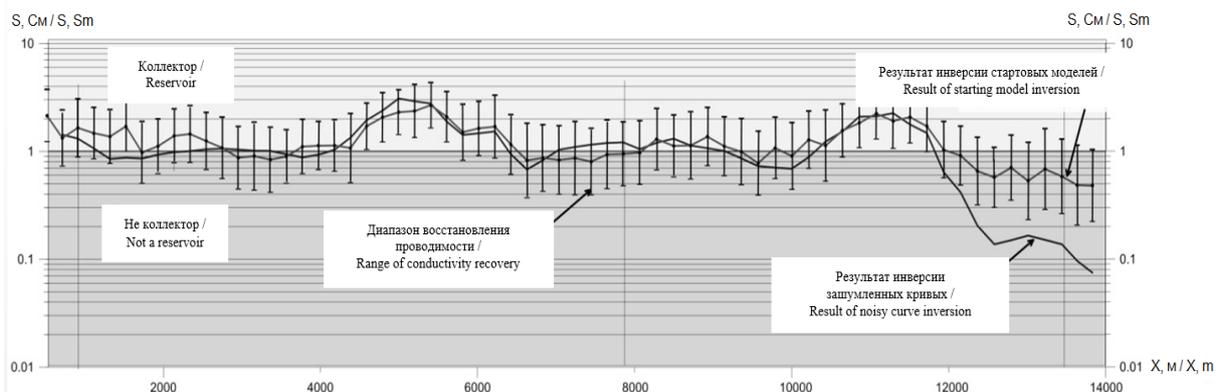


Рис. 3. Графики продольной проводимости стартовой и восстановленной моделей
Fig. 3. Graphs of longitudinal conductivity of starting and reconstructed models

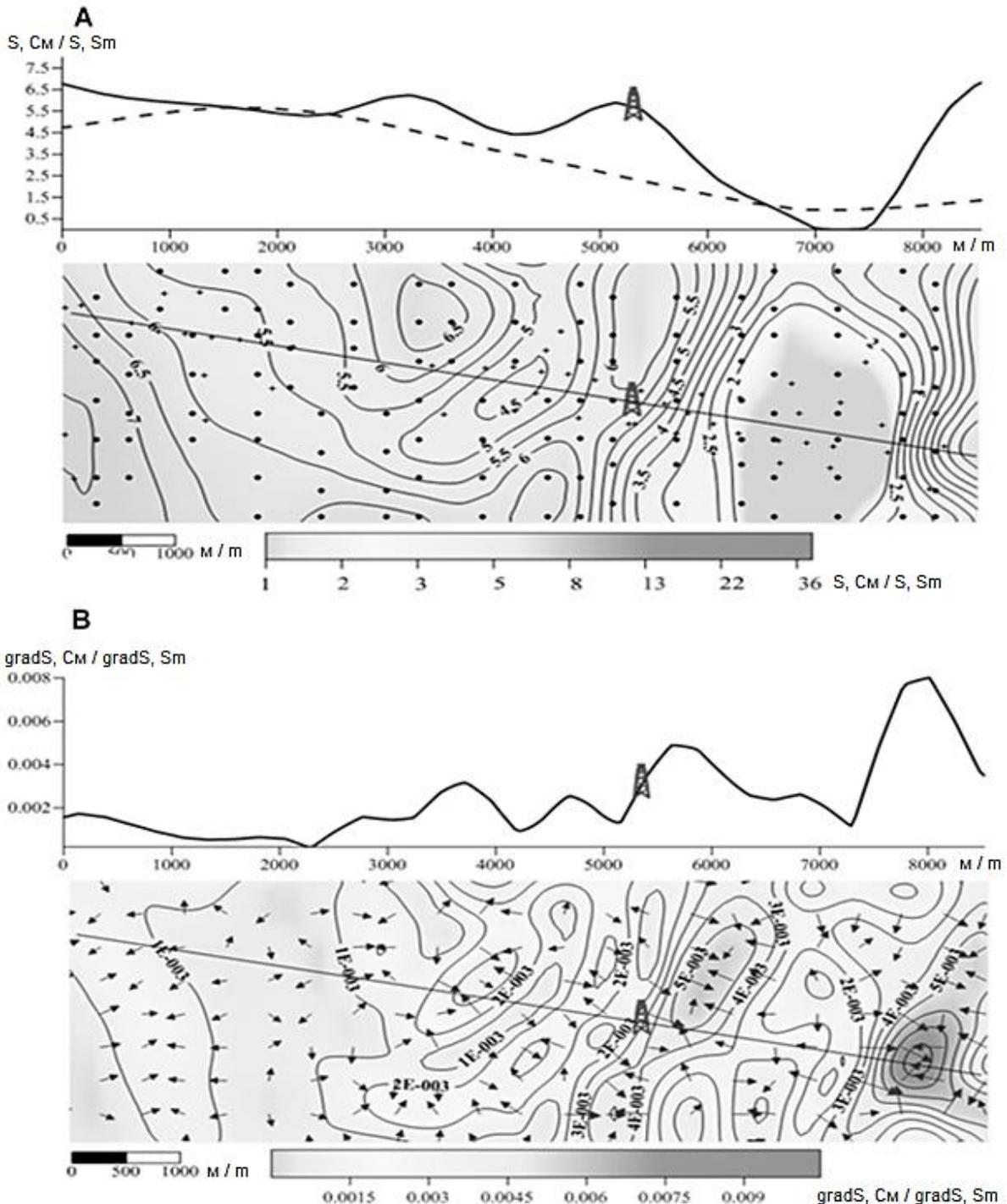


Рис. 4. Геоэлектрические характеристики бельской и булайской свит по данным 3D-зондирования становлением поля в ближней зоне:

A – графики проводимости по данным 2D- и 3D-ЗСБ и карта проводимости интервала булайской и бельской свит; B – график и карта градиента проводимости в районе рапопроявляющей скважины по данным 3D-ЗСБ

Fig. 4. Geoelectrical characteristics of Belskaya and Bulaiskaya suites according to 3D TEM sounding data:

A – graphs of conductivity according to 2D and 3D TEM sounding and the map of conductivity of the interval of Bulaiskaya and Belskaya suites; B – graph and the map of the conductivity gradient in the area of the brine manifesting well according to 3D TEM sounding data

По данным площадных электро-разведочных работ скважина располагается в зоне изменения проводимости от 0,3 до 5 См на уровне интервала булайской и бельской свит. Сравнение графиков проводимости по данным 2D- и 3D-работ говорит о более детальном определении значений УЭС (см. рис. 4).

По новейшим представлениям рапопроявляющая скважина заложена на аллохтонном (надвинутом) крыле антиклинального вала, выделенного и закартированного в галогенно-карбонатной толще по данным сейсморазведки общей глубинной точки. Скважина располагается в контуре аллохтонной антиклинали, вне замка антиклинали (рис. 5).

Эти представления говорят о распространении зон АВПД в региональном плане и могут быть выделены только при производстве площадных работ, затрагивающих площадь в тысячи квадратных километров.

В интервале бельской свиты галогенно-карбонатной толщи нижнего кембрия скважина вскрыла рапонасыщенный межсолевой карбонатный пласт-коллектор с АВПД. При рассмотрении геологической модели строения карбонатного коллектора в районе скважины видно локальное распространение аномальных коллекторов и приуроченность их к структурам подчиненного ранга. Наиболее отчетливо данные локальные

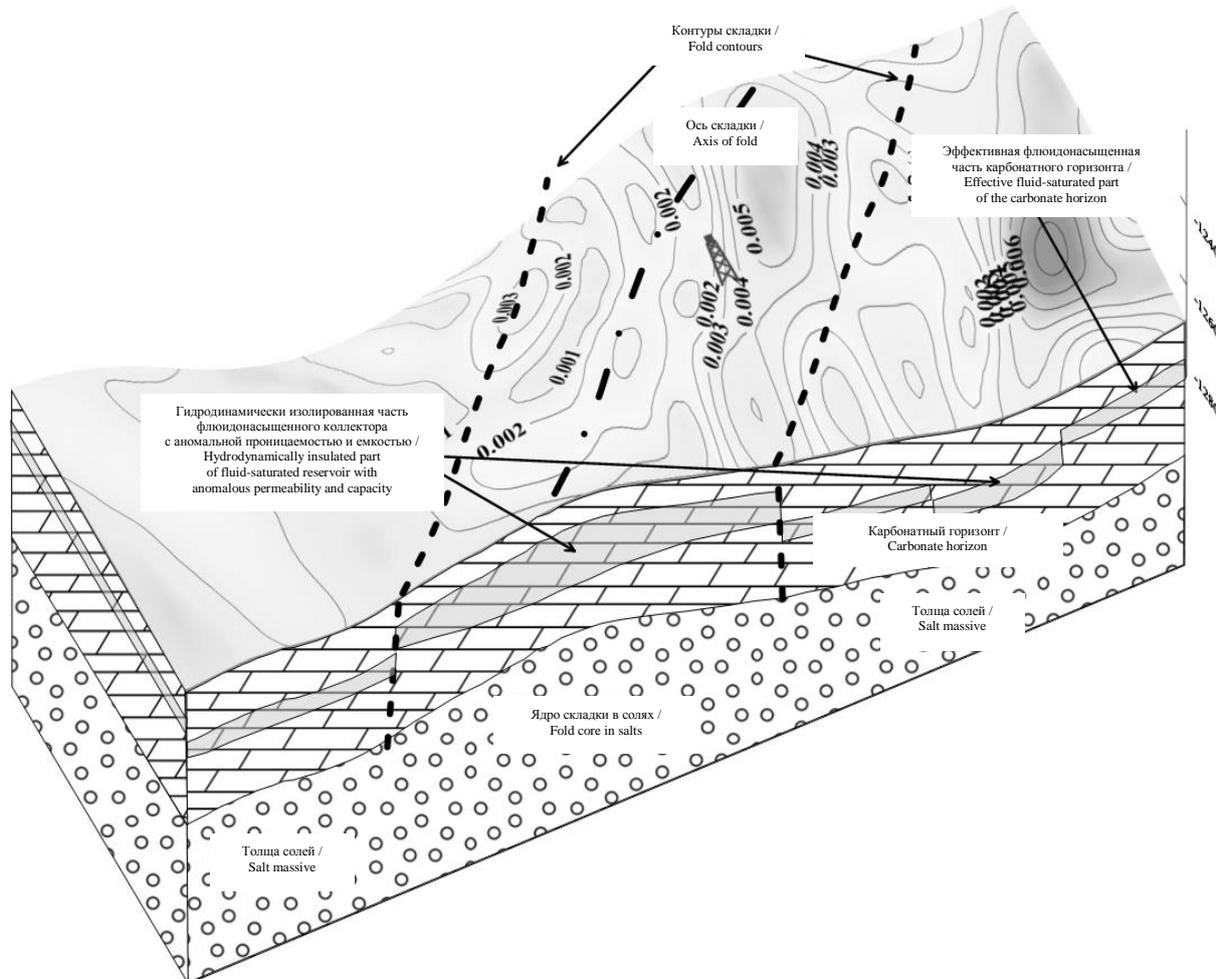


Рис. 5. Структурно-геоэлектрическая модель карбонатного флюидонасыщенного горизонта-коллектора по данным 3D-ЗСБ и 3D-сейсморазведки
Fig. 5. Structural-geoelectric model of the carbonate fluid-saturated reservoir horizon according to the data of 3D TEM sounding and 3D seismic exploration

зоны аномального рапонасыщенного карбонатного коллектора в геоэлектрическом поле выделяются на карте градиента проводимости и оконтуриваются по значениям градиента проводимости 0,001 См/м. Таким образом, с помощью градиента проводимости картируется наиболее опасная зона локализации рапонасыщенного пласта-коллектора с АВПД в пределах присводовой и аллохтонной части линейной соляной антиклинали.

Выводы

Граница между блоками межсоле-

вых рапонасыщенных карбонатных пластов-коллекторов с разными фильтрационно-емкостными свойствами в геоэлектрических параметрах отражается как переходная зона с резким изменением геоэлектрических свойств.

Градиент геоэлектрических параметров может успешно использоваться как прогнозный критерий для картирования зон АВПД.

Применять градиент геоэлектрических параметров в полной мере позволяют только результаты электроразведочных работ 3D-ЗСБ.

Библиографический список

1. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и локализации месторождений промышленных рассолов в карбонатных каверново-трещинных резервуарах кембрия юга Сибирской платформы. Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015. 248 с.

2. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ: учебник для вузов. М.: Недра, 1998. 440 с.

3. Белонин М.Д., Славин В.И., Чилингар Д.В. Аномально высокие пластовые давления. Происхождения, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов / под ред. Н.С. Оконовой. СПб.: Недра, 2005. 324 с.

4. Chilingar G.V., Serebryakov V.A., Robertson J.O. Origin and prediction of abnormal formation pressures // *Developments in Petroleum Science*. Vol. 50. Amsterdam: Elsevier, 2002. 374 p.

5. Walter H. Fertl, Richard E. Cyarman, Rod F. Hotz. Studies in abnormal pressures // *Developments in Petroleum Science*. Vol. 38. Amsterdam: Elsevier, 1994. 473 p.

6. Агафонов Ю.А., Вахромеев А.Г. Новые геолого-геофизические подходы в прогнозе зон аномально высокого пластового давления на

примере Орленгской структурной седловины // *Геофизика на пороге третьего тысячелетия*: сб. тр. IV Байкальской молодежной школы-семинара. Иркутск, 2004. С. 59–69.

7. Жданов М.С. Электроразведка: учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.

8. Агафонов Ю.А., Поспеев А.В. Программно-измерительный комплекс для работ методом зондирования становлением поля в ближней зоне // *Геофизический вестник*. 2001. № 10. С. 8–11.

9. Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Поспеев А.В., Горлов И.В. Пути прогноза горно-геологических условий бурения на Ковыктинском газоконденсатном месторождении // *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2016. № 4 (57). С. 48–61.

10. Вахромеев Г.С. Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987. 192 с.

11. Shelohov I.A., Buddo I.V., Misiurkeeva N.V., Emelyanov V.S., Agafonov Y.A., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Makarova A.V. Studies of carbonate reservoirs of the

Cambrian age of the Kovykta gas condensate field through the integration of the TEM and Seismic techniques. Saint Petersburg, 2018. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201800225>
12. Поспеев А.В., Буддо И.В., Ара-

фонов Ю.А., Кожевников Н.О. Выделение пластов-коллекторов в разрезе осадочного чехла юга Сибирской платформы по данным зондирования становлением электромагнитного поля в ближней зоне // Геофизика. 2010. № 6. С. 47–52.

References

1. Vakhromeev A.G. *Zakonomernosti formirovaniya i lokalizatsii mestorozhdenii promyshlennykh rassolov v karbonatnykh kavernovo-treshchinnykh rezervuarakh kembriya yuga Sibirskoi platformy* [Formation and localization regularities of industrial brine deposits in the carbonate cavernous-fracture reservoirs of the Cambrian in the south of the Siberian Platform.]. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University Publ., 2015, 248 p. (In Russian).

2. Kalinin A.G., Levitskii A.Z., Nikitin B.A. *Tekhnologiya bureniya razvedochnykh skvazhin na neft' i gaz* [Technology of drilling exploratory wells for oil and gas]. Moscow: Nedra Publ., 1998, 440 p. (In Russian).

3. Belonin M.D., Slavin V.I., Chilingar D.V. *Anomal'no vysokie plastovye davleniya. Proiskhozhdeniya, prognoz, problemy osvoeniya zalezhei uglevodorodov* [Abnormally high reservoir pressures. Origin, forecast, development problems of hydrocarbon deposits]. Saint Petersburg: Nedra Publ., 2005, 324 p. (In Russian).

4. Chilingar G.V., Serebryakov V.A., Robertson J.O. Origin and prediction of abnormal formation pressures. *Developments in Petroleum Science*. Vol. 50. Amsterdam: Elsevier, 2002, 374 p.

5. Walter H. Fertl, Richard E. Cyapman, Rod F. Hotz. *Studies in abnormal pressures. Developments in Petroleum Science*. Vol. 38. Amsterdam: Elsevier, 1994, 473 p.

6. Agafonov Yu.A., Vakhromeev A.G. *Novye geologo-geofizicheskie podkhody v prognoze zon anomal'no vysokogo plas-*

tovogo davleniya na primere orlengskoi strukturnoi sedloviny [New geological and geophysical approaches in forecasting the zones of abnormally high reservoir pressure on example of the Orlengskaya structural anticline]. *Sbornik trudov IV baikal'skoi molodezhnoi shkoly-seminara "Geofizika na poroge tret'ego tysyachetiya"* [Proceedings of IV Baikal Youth school-workshop "Geophysics in the beginning of the third millennium"]. Irkutsk, 2004, pp. 59–69. (In Russian).

7. Zhdanov M.S. *Elektrorazvedka* [Electrical prospecting]. Moscow: Nedra Publ., 1986, 316 p. (In Russian).

8. Agafonov Yu.A., Pospeev A.V. Software-measuring complex for near-field transient sounding. *Geofizicheskii vestnik* [Geophysical Bulletin], 2001, no. 10, pp. 8–11. (In Russian).

9. Il'in A.I., Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Pospeev A.V., Gorlov I.V. The ways to predict mining and geological conditions of drilling on the Kovykta gas-condensate field. *Izvestiya sibirskogo otdeleniya seksii nauk o zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2016, no. 4 (57), pp. 48–61. (In Russian).

10. Vakhromeev G.S. Davydenko A.Yu. *Modelirovanie v razvedochnoi geofizike* [Modeling in exploration geophysics]. Moscow: Nedra Publ., 1987, 192 pp. (In Russian).

11. Shelohov I.A., Buddo I.V., Misiurkeeva N.V., Emelyanov V.S., Agafonov Yu.A., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Makarova A.V. Studies of carbonate reservoirs of the Cambrian age of the Kovykta gas condensate field through the integration of the TEM and Seismic techniques. Saint Petersburg, 2018. [https://doi.org/10.3997/2214-](https://doi.org/10.3997/2214-4609.201800225)

4609.201800225

12. Pospeev A.V., Buddo I.V., Agafonov Yu.A., Kozhevnikov N.O. Reservoir identification in the sedimentary cover of South of Siberian platform with the use of non-stationary electromagnetic soundings data. *Geofizika* [Russian Geophysics], 2010, no. 6, pp. 47–52. (In Russian).

Критерии авторства

Ильин А.И., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А., Буддо И.В., Агафонов Ю.А., Компаниец С.В., Смирнов А.С., Горлов И.В., Мартынов Н.Н. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Ilyin A.I., Vakhromeev A.G., Sverkunov S.A., Buddo I.V., Agafonov Yu.A., Komiets S.V., Smirnov A.S., Gorlov I.V., Martynov N.N. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 550. 372

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-80-90>

ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОЛЕЙ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

© А.В. Поспеев^а, Е.В. Мурзина^б, С.В. Компаниец^с, В.С. Емельянов^д

^аИркутский научный центр СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134.

^аИнститут земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

^{б-д}АО «Иркутское электроразведочное предприятие»,
664011, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Рабочая, 2а.

^бИркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. Цель. Исследования направлены на изучение поведения пространственно-временных характеристик полей индукционно-вызванной поляризации, возбуждаемых электрическим и магнитным источниками для геоэлектрических условий юга Сибирской платформы. **Методы.** Путем численного моделирования электромагнитного поля рассчитаны переходные характеристики для типичной геоэлектрической модели. На основании анализа модельных данных оценена чувствительность нестационарных электромагнитных зондирований к измерению эффектов вызванной поляризации. Для определения глубины расположения поляризующихся слоев проведена специальная модификация аппарата инверсии. **Результаты.** На примере одной из площадей 3D-исследований методом зондирования становлением поля в ближней зоне, расположенных в северо-восточной части Непского свода, показан характер изменения коэффициента поляризуемости и положения поляризующегося слоя. **Выводы.** Применение магнитного источника позволяет увеличить надежность изучения проводимости и поляризуемости геологического разреза юга Сибирской платформы.

Ключевые слова: электроразведка, электрический и магнитный диполи, вызванная поляризация, удельное электрическое сопротивление, автоматическая инверсия.

Информация о статье. Дата поступления 23 марта 2018 г.; дата принятия к печати 4 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Поспеев А.В., Мурзина Е.В., Компаниец С.В., Емельянов В.С. Возможности электромагнитных установок при изучении полей вызванной поляризации // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 80–90. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-80-90

^аПоспеев Александр Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Иркутского научного центра СО РАН и Института земной коры СО РАН, e-mail: avp@ierp.ru
Alexander V. Pospееv, Doctor of Geology and Mineralogy, Leading Researcher of Irkutsk Scientific Center SB RAS and the Institute of the Earth's Crust SB RAS, e-mail: avp@ierp.ru

^бМурзина Екатерина Викторовна, аспирант Иркутского национального исследовательского технического университета, геофизик АО «Иркутское электроразведочное предприятие», e-mail: bkв@ierp.ru
Ekaterina V. Murzina, Postgraduate of Irkutsk National Research Technical University, Geophysicist of Irkutsk Electroprospecting Company JSC, e-mail: bkв@ierp.ru

^сКомпаниец Софья Викторовна, ведущий геофизик, e-mail: ksv@ierp.ru
Sofia V. Kompaniets, Leading Geophysicist, e-mail: ksv@ierp.ru

^дЕмельянов Вячеслав Сергеевич, геофизик, e-mail: evs@ierp.ru
Vyacheslav S. Emelianov, Geophysicist, e-mail: evs@ierp.ru

CAPABILITIES OF ELECTROMAGNETIC INSTALLATIONS WHEN STUDYING THE FIELDS OF INDUCED POLARIZATION

© A.V. Pospeev, E.V. Murzina, S.V. Kompaniets, V.S. Emelianov

Irkutsk Scientific Center SB RAS,
134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation
Irkutsk Electroprospecting Company JSC,
2a Rabochaya St., Irkutsk 664011, Russian Federation
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federation

ABSTRACT. Purpose. The research is aimed at studying the behavior of space and time characteristics of the fields of induced polarization caused by electric and magnetic sources typical for geoelectric settings of the south of Siberian craton. **Methods.** Numerical simulation of the electromagnetic field is used to calculate the transient characteristics of a typical geoelectric model. The sensitivity of non-stationary electromagnetic sounding towards the measurement of induced polarization effects is estimated on the basis of model data analysis. To measure the depths of the polarized layers spatial inversion is applied. **Results.** Variations of the the polarizability coefficient and depth of the polarized layer have been analyzed for one of the 3D TEM sounding areas within the North-West part of the Nepa arch. **Conclusions.** The use of the magnetic source allows to improve the reliability of the studies of conductivity and polarizability of the geological section of the south of the Siberian craton.

Keywords: *electrical prospecting, electric and magnetic dipoles, induced polarization, electrical resistivity, automatic inversion*

Article info. Received 23 March 2018; accepted for publication 4 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Pospeev A.V., Murzina E.V., Kompaniets S.V., Emelianov V.S. Capabilities of electromagnetic installations when studying the fields of induced polarization. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopayemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 80–90. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-80-90. (In Russian).

Введение

Геоэлектрические условия юга Сибирской платформы определяются древним возрастом осадочных горных пород, высокой степенью их литификации и существенной засоленностью пород, особенно средней части разреза. Карбонатно-галогенный комплекс, сложенный переслаиванием карбонатов и солей, характеризуется крайне высоким поперечным сопротивлением (более 10^7 Ом·м²) и большой величиной поперечной анизотропии [1, 2]. Подобная геоэлектрическая структура осадочного чехла в значительной степени ограничивает возможности зондирования на постоянном токе (вертикальных, дипольных электрических зондирования), су-

щественно осложняет поведение магнитотеллурического поля [3] и предопределяет необходимость применения активных индукционных зондирования, ведущим из которых является метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ).

За исключением территории Присаяно-Енисейской синеклизы и северного склона Непско-Ботубинской антеклизы суммарная проводимость осадочного чехла юга Сибирской платформы составляет 25–100 См, что в целом благоприятно для изучения методом ЗСБ. Верхняя часть геоэлектрического разреза здесь умеренно неоднородна, что позволяет с достаточной для практики точностью использовать одномерную

инверсию данных. Наиболее частой причиной осложнения кривых ЗСБ являются эффекты частотной дисперсии сопротивления – магнитной вязкости и индукционно-вызванной поляризации (ВПИ) пород [4]. Эффекты частотной дисперсии сопротивления особенно заметно проявлены на поздних временах становления поля, где они накладываются на сигналы индукционной природы.

Ранее, когда геофизики не располагали средствами для расчета переходных характеристик с учетом индукционно-вызванной поляризации, ее проявления рассматривались исключительно как помеха, осложняющая изучение распределения «истинной» электропроводности. В этой связи прилагались и до сих пор прилагаются усилия, направленные на снижение или «подавление» эффектов ВПИ [5, 6].

Существует также точка зрения о том, что аномалии поляризационных параметров имеют поисковый интерес, так как и сами залежи углеводородов, и зоны, расположенные над ними, могут обладать повышенной поляризуемостью. В этой связи отметим работы методами электромагнитных зондирований, в которых изучение удельного электрического сопротивления среды носит второстепенный характер, а основное внимание уделяется картированию аномалий ВПИ [7].

С появлением алгоритмов и быстроскоростных программ, использующих для расчета переходных характеристик поля становления комплексную геоэлектрическую модель (Cole-Cole), влияние полей ВПИ стало поддаваться количественной оценке [8, 9]. На начальном этапе использования комплексных алгоритмов инверсии основное внимание уделялось оценке поляризуемости верхней части разреза, где, согласно гипотезе Пирсона [10], повышение поляризуемости горных пород происходит за счет миграции содержащихся в углево-

дородных флюидах сернистых соединений и их взаимодействия с окислами железа. Однако в значительной части случаев применение подобного подхода приводит к противоречивым данным.

В связи с этим перед авторами встала задача изучить чувствительность переходных характеристик электромагнитного поля при применении разных типов источников к наличию вызванной поляризуемости как в приповерхностных, так и в глубинных слоях разреза.

Постановка задачи

Для изучения пространственно-временных характеристик полей ВПИ проведено моделирование сигналов становления для двух типов установок: магнитной с разносами 0; 0,5 и 1 км (соответственно Qq, Q500q, Q1000q) и осевой электрической с конфигурацией A1200B900M600N, A1200B1500M600N. Расчеты проводились для установок, наиболее часто применяемых в геоэлектрических условиях юга Сибирской платформы, в частности для магнитной установки размер генераторной петли составил 600×600 м, момент приемной петли – ~10000 м².

Расчет переходных характеристик осуществлялся с использованием программных модулей решения прямой задачи становления поля, разработанных А.Е. Каминским [11]. В качестве референтной использовалась геоэлектрическая модель, по проводимости надсолевого, карбонатно-галогенного и подсолевого комплексов близкая к типичной геоэлектрической модели юга Сибирской платформы (таблица).

Отметим, что параметры высокоомных слоев задавались в соответствии со средней суммарной мощностью солей в ангарской, бельской и усольской свитах и с сопротивлением солей 50000 Ом·м.

Расчет синтетических сигналов изначально производился для базовой модели без поляризующегося слоя

Типичная геоэлектрическая модель
Typical geoelectrical model

Номер слоя / Layer no.	Сопротивление ρ , Ом·м / Resistivity ρ , Ohm·m	Мощность слоя h , м / Layer thickness h , m	Коэффициент поляризуемости Π / Polarizability coefficient Π	Время релаксации T , с / Relaxation time T , sec	Степень поляризации C / Polarization degree C
1	10	50	0	0,2	0,4
2	200	100	0	0,2	0,4
3	40	200	0	0,2	0,4
4	50000	300	0	0,2	0,4
5	20	100	0	0,2	0,4
6	50000	400	0	0,2	0,4
7	30	150	0	0,2	0,4
8	50000	400	0	0,2	0,4
9	50	250	0	0,2	0,4
10	2000	500	0	0,2	0,4

(Π_0 , рис. 1). Впоследствии каждому из слоев приписывалась поляризуемость. Как показало моделирование, задание поляризуемости в высокоомные слои не приводит к заметному изменению поля становления по сравнению с полем для неполяризующейся модели. Это связано с крайне малой величиной токов, индуцируемых в высокоомных слоях. Для иллюстрации характера проявления процессов ВПИ отобраны результаты расчетов для моделей со значением коэффициента поляризуемости $\Pi = 0,1$ в первом, пятом или девятом слоях (см. рис. 1).

Обсуждение результатов

Сигналы становления, рассчитанные от неполяризующейся модели для электрических и петлевых установок (см. рис. 1, черные кривые), различаются в своих левых и правых частях. Это связано с тем, что на ранних временах поле электрического источника и петлевых установок находится в дальней или промежуточной зоне. Правые ветви сигналов находятся преимущественно в ближней зоне, поскольку здесь сигналы не зависят от геометрического разноса,

и они практически смыкаются.

Используемая программа решения прямой задачи не рассчитывает отдельно индукционные и поляризационные сигналы. Понятно, что на временах, соответствующих эффективной глубине поляризованного слоя, энергия электромагнитного поля затрачивается на возбуждение не только индукционных сигналов, но и поляризуемости разреза. Поэтому оценка «чистых» сигналов ВПИ возможна лишь приближенно на поздних временах зондирования. Для этого может быть рассмотрена разность сигналов, рассчитанных от исходной и поляризованной моделей.

Наиболее сильно вызванная поляризация проявляется при использовании в качестве источника электромагнитного поля заземленного электрического диполя (см. рис. 1). Следует отметить, что электрический питающий диполь является источником сложного типа [12]. В режиме включенного тока происходит гальваническая зарядка поляризующихся элементов разреза. Эффективная глубина исследований при этом определяется разносом осевого дипольного

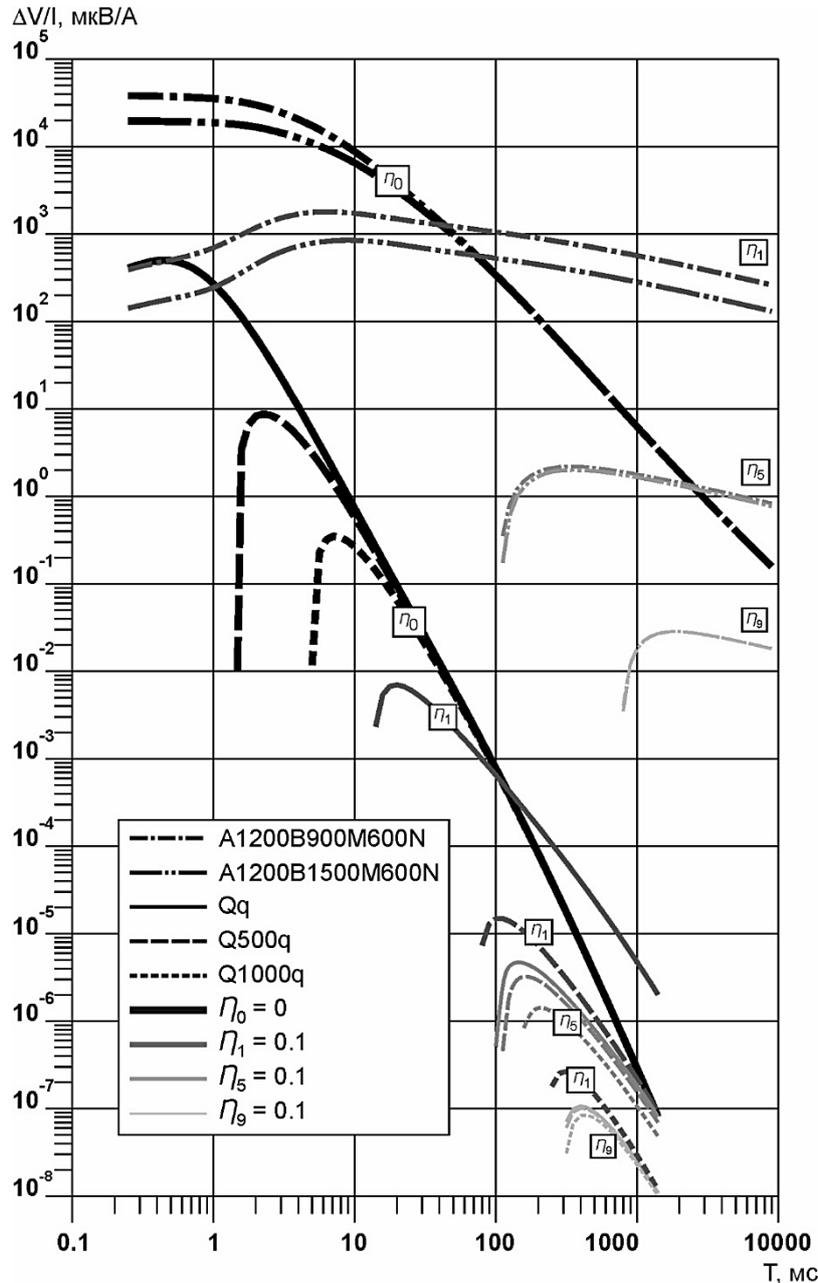


Рис. 1. Нормированные сигналы поля становления $\Delta V/I$ электрической (A1200B900M600N, A1200B1500M600N) и магнитной (Qq, Q500q, Q1000q) установок для неполяризуемого разреза (η_0) и с поляризуемостью $\eta = 0,1$ в первом, пятом и девятом слоях (соответственно η_1, η_5, η_9)
Fig. 1. Normalized transient TEM signals of electrical (A1200B900M600N, A1200B1500M600N) and magnetic (Qq, Q500q, Q1000q) units for the non-polarized section (η_0) and with the polarization of $\eta = 0.1$ in 1-st, 5-th and 9-th layers (η_1, η_5, η_9 accordingly)

зондирования. Гальванически возбужденное поле ВПИ первого горизонта имеет ту же полярность, что и сигнал индукционной природы, и достаточно большую амплитуду. При поляризуемости пятого и девятого слоев, располо-

женных соответственно в центре и под экраным комплексом, сигналы ВПИ носят индукционно-вызванную природу, они значительно меньше по уровню и характеризуются обратным по отношению к индукционному полю знаком.

Что касается магнитной установки, то возможность изучения поляризуемости горных пород связана с проявлением индукционно-вызванной поляризации [4]. Влияние ВПИ более отчетливо наблюдается на поздних временах зондирования, поскольку поляризационные токи протекают в противоположном направлении быстроисчезающим вихревым токам. Расхождения кривых соосной и разнесенных установок на поздних временах становления в этом случае тем больше, чем ближе к дневной поверхности находится поляризующийся слой (см. рис. 1). Проявление ВПИ в приповерхностных слоях, на кривых кажущегося сопротивления, выглядит как «завышение» левой восходящей части кривой, зарегистрированной на соосном пикете. Так, при расположении зоны ВПИ в первом горизонте с ростом разноса от 0 до 1000 м сигнал ВПИ убывает более чем на три порядка. Если поляризован межэкранный горизонт, сигналы ВПИ различаются примерно на полпорядка. Наконец, при поляризации проводящего горизонта, залегающего на фундаменте, сигналы ВПИ практически сливаются (см. рис. 1).

Различия в пространственно-временном проявлении сигналов ВПИ связаны с их приуроченностью к зоне расположения источника электромагнитного поля. Физически это совершенно понятно, поскольку именно гальванические или индукционно-вызванные токи, протекая в среде, возбуждают поля вызванной поляризации. Из этого следует, что электромагнитные зондирования, использующие дальнюю зону зондирования, почти свободны от влияния ВПИ.

Важно отметить следующую особенность формирования сигналов ВПИ для гальванического источника: наибольшую амплитуду здесь имеют сигналы ВПИ от объектов, расположенных над первым высокоомным экраном. Что касается гальванически возбужден-

ной части сигнала, то на ранних временах она на 1–2 порядка меньше индукционного отклика. На поздних временах отклик гальванически вызванного ВПИ уже преобладает над индукционным сигналом, полностью экранируя его. Если размещать поляризующийся слой ниже первого экрана, амплитуда сигналов ВПИ падает на несколько порядков. На поздних временах сигналы ВПИ пренебрежимо малы по сравнению не только с надэкранными сигналами, но и с индукционным откликом. Таким образом, наличие даже незначительной поляризации надэкранных слоев приводит к существенному экранированию как индукционного отклика разреза, так и вызываемых индукционными токами сигналов ВПИ от глубоких горизонтов.

Практический пример

Изучение возможности картирования глубокозалегающих поляризующихся слоев выполнено на одной из площадей, расположенных в северо-восточной части Непского свода.

Полевые данные ЗСБ получены в ходе решения нефтегазопроисловых геологических задач с помощью цифровой телеметрической электроразведочной станции SGS-TEM [13]. Измерения выполнены по высокоплотной регулярной сети (12 ф. н. на 1 км²). В качестве источника электромагнитного поля использовались генераторные петли размером 600×600 м.

Инверсия данных проводилась в ручном и автоматическом режимах с применением встроенного в программный комплекс SGS-TEM модуля 1D инверсии Model-3. Для учета параметров ВПИ при инверсии кривых ЗСБ в алгоритмах данного программного комплекса используется формула Cole-Cole [13].

В качестве функционала минимизации решения обратной задачи применялась среднеквадратическая невязка между эмпирической и модельной кривыми. Для снижения влияния эквива-

лентности инверсия проводилась с закрепленным (по сейсмическим и буровым данным) структурным каркасом.

Осадочный чехол здесь представлен породами венд-кембрийского возраста общей мощностью до 2 км. Его суммарная проводимость не превышает 30 См, что предопределяет достаточную эффективность использования нестационарных электромагнитных зондирований.

На площади получен полевой материал высокого качества. Его предварительный анализ показывает, что на большей части площади отмечается влияние вызванной поляризуемости разреза, выражающееся в появлении отрицательного прироста проводимости соосных кривых на поздних временах зондирований (рис. 2, b). В северной части площади отрицательный прирост характерен уже для всех кривых, зарегистрированных от одного источника (рис.

2, с). Для того чтобы учесть подобное поведение переходных характеристик, предложена методика инверсии данных, описанная далее.

Изначально для подбора правой части кривых параметры поляризуемости задавались в верхнюю часть разреза. В автоматическом режиме на основе ранее полученной модели проводимости проводился подбор поляризуемости. Параметры ВПИ последовательно задавались с верхнего по нижний горизонты. В качестве результата выбиралась та модель, средняя суммарная невязка решения которой была минимальна для всех кривых, записанных от одного источника. Таким образом, оценивались не только параметры проводимости разреза, но и глубина поляризуемого слоя. Далее также в автоматическом режиме осуществлялся окончательный подбор параметров электропроводности с минимизацией невязки по каждой кривой.

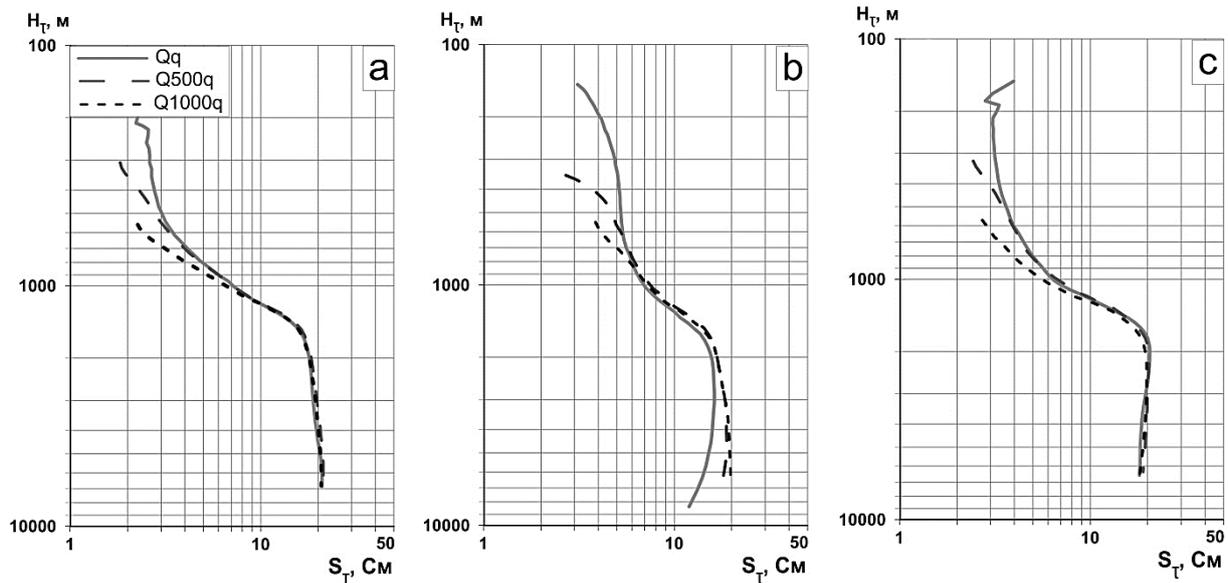


Рис. 2. Форма кривых кажущейся проводимости от кажущейся глубины $S_T(h_T)$ петлевых установок с разносами 0, 500, 1000 м (соответственно Qq , $Q500q$, $Q1000q$) в зависимости от положения поляризуемого слоя:

a – не подверженные влиянию ВПИ; b – при положении поляризуемого слоя в отложениях надсолевого комплекса; c – при положении поляризуемого слоя в отложениях подсолевого комплекса

Fig. 2. Shape of curves of apparent conductivity $S_T(h_T)$ from apparent depth $S_T(h_T)$ of loop installations with the offsets of 0, 500, 1000 m (accordingly Qq , $Q500q$, $Q1000q$) depending on the location of the polarization layer:

a – not affected by magnetic viscosity and induced polarization; b – polarization layer is located in the above-salt formation; c – polarization layer is located in the subsalt formation

Результаты использования данной технологии инверсии приведены на рис. 3. Выявленные зоны повышенной поляризуемости в целом распределены в пределах четырех уровней, отвечающих породам верхоленской, литвинцевской и ангарской, бельской и булайской свит и подсолевого комплекса.

При этом наибольшая площадь распространения аномалии ВПИ приурочена к самому верхнему уровню, где присутствуют зоны распространения юрских отложений, в которых отмечается наличие пирита и угленосных пропласт-

ков. В нижней части выделены зоны аномально высокой поляризуемости, пространственно совпадающие с зонами развития нефтегазонасыщенных подсолевых коллекторов. Что касается зон развития аномалий ВПИ в средней части разреза, то они могут иметь формальный характер. В случае наличия аномалий ВПИ одновременно в верхнем и нижнем слоях применяемая методика инверсии даст результат, отнесенный к средней части разреза. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

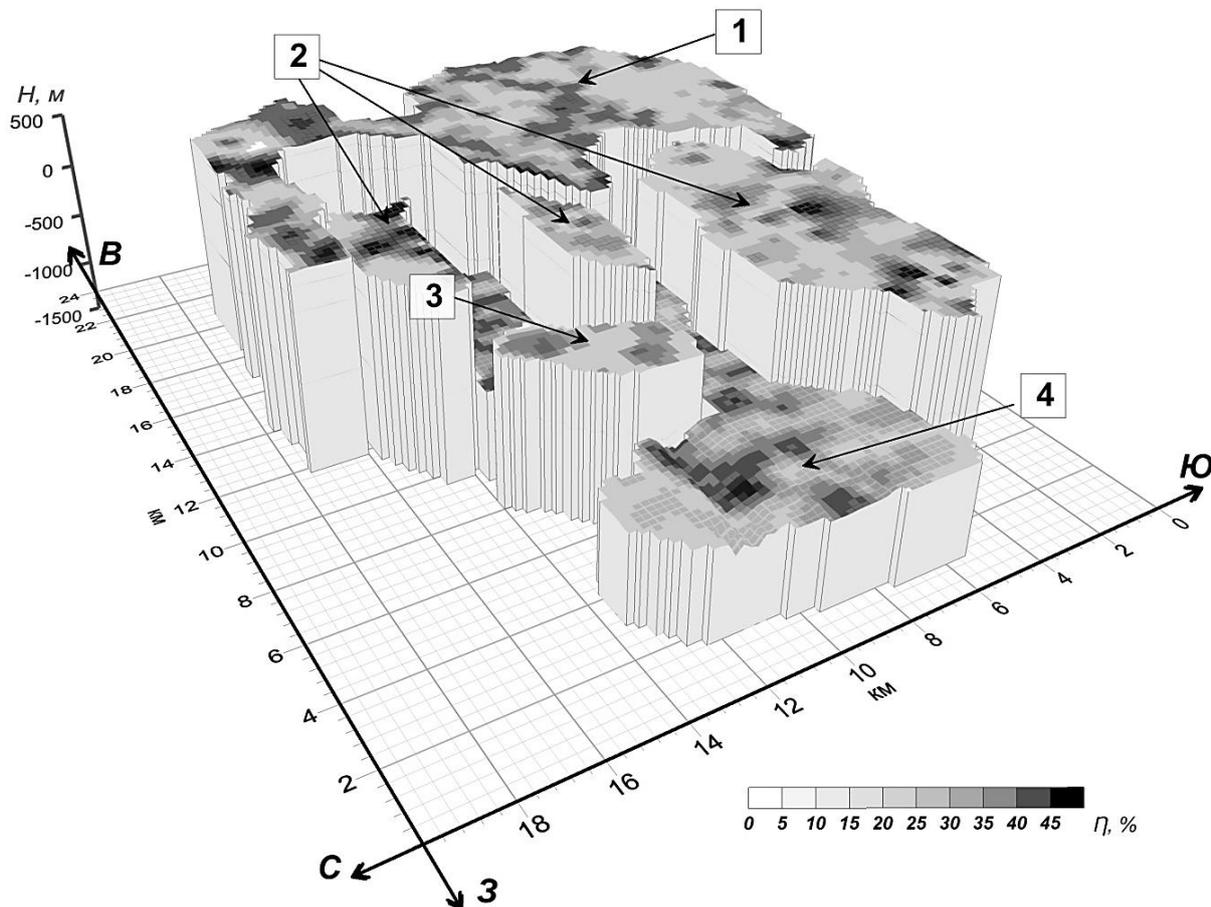


Рис. 3. Трехмерная модель поляризуемости:
1 – отложения верхоленской свиты; 2 – отложения литвинцевской и ангарской свит;
3 – отложения бельско-булайского комплекса; 4 – отложения подсолевого комплекса
H – абсолютная отметка, м; η – поляризуемость

Fig. 3. 3D polarization model:
1 – Verholenskaya formation; 2 – Litvintsevskaya and Angara formation;
3 – Belsko-Bulaisky formation; 4 – subsalt formation
H – elevation, m; η – polarizability

Выводы

1. Сигналы ВПИ, возбуждаемые поверхностным нестационарным источником, имеют гальванический (для надэкранных слоев, возбужденных электрическим источником) или индукционно-вызванный характер.

2. При использовании электрического источника в условиях высокого поперечного сопротивления карбонатно-галогенного комплекса верхние поляризованные горизонты оказывают существенное экранирующее влияние на гальванические и поляризационные сигналы более глубокой части разреза.

3. Магнитные многоразносные установки зондирования нестационарным полем в отличие от гальванического источника позволяют объективно изучать как проводимость разреза, так и поляризуемость отдельных слоев при их различном положении в разрезе.

4. Выявленные аномалии поляризуемости верхней части разреза приурочены к зонам развития юрских отложений, в которых по данным изучения керна отмечается присутствие пирита.

5. Выявление аномалий ВПИ в продуктивной части разреза позволяет предполагать, что они могут иметь практический поисковый интерес.

Библиографический список

1. Ваньян Л.Л. О моделях глубинной электропроводности (обзор) // Известия Академии наук СССР. Физика Земли. 1981. № 5. С. 57–66.

2. Поспеев А.В., Пашевин А.М. Результаты моделирования магнитотеллурического поля юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1990. № 2. С. 78–81.

3. Егоров И.В., Поспеев А.В. Сравнительный анализ источников нестационарного электромагнитного поля // Геофизика. 2015. № 1. С. 26–30.

4. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Импульсная индуктивная электроразведка поляризующихся сред // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 4. С. 104–118.

5. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Инверсия данных ММП с учетом быстро протекающей индукционно вызванной поляризации: численный эксперимент на основе модели однородного поляризуемого полупространства // Геофизика. 2007. № 1. С. 42–50.

6. Агеенков Е.В. Эквивалентность определения поляризуемости и времени релаксации слоя с частотной дисперсией проводимости // Третья уральская

молодежная научная школа по геофизике: сб. докл. Екатеринбург, 2002. С. 80–84.

7. Легейдо П.Ю., Мандельбуам М.М., Рыхлинский Н.И. Дифференциально-нормированные методы электроразведки при прямых поисках залежей углеводородов // Геофизика. 1995. № 4. С. 35–42.

8. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics // Journal of Chemical Physics. 1941. Vol. 9. № 4. P. 343–351.

9. Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelson P.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP // Geophysics. 1978. № 43. P. 58–609.

10. Pirson S.J. Significant advances in magneto-electric unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. Symp. II-1979 / ed. B.N. Gottlieb. Dallas: Southern Methodist University Press, 1981. P. 169–196.

11. Каминский А.Е. Зондирование становлением поля ZondTEM1d // ZOND [Электронный ресурс]. URL: <http://zond-geo.ru/software/electromagnetic-soundings/zondtem1d> (27.05.2016).

12. Могилатов В.С. Импульсная электроразведка: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. 208 с.
13. Агафонов Ю.А., Суров Л.В., Шарлов М.В. Принцип работы и основ-

ные компоненты аппаратно-программного комплекса цифровой телеметрической электроразведочной станции «Пикет» // Российский геофизический журнал. 2006. № 43. С. 98–102.

References

1. Van`yan L.L. On the models of deep electric conductivity (review). *Izvestiya Akademii nauk Soyuza Sovetskikh Sotsialisticheskikh Respublik. Fizika zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 1981, no. 5, pp. 57–66. (In Russian).

2. Pospeev A.V., Pashevin A.M. Modeling results of the magneto-telluric field of the South of Siberian platform. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1990, no. 2, pp. 78–81. (In Russian).

3. Egorov I.V., Pospeev A.V. Comparison analysis of transient electromagnetic field sources. *Geofizika* [The Russian Geophysics Journal], 2015, no. 1, pp. 26–30. (In Russian).

4. Kozhevnikov N.O., Antonov E.Yu. Pulsed induction electrical survey of polarizable media. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical Journal], 2009, no. 4, vol. 31, pp. 104–118. (In Russian).

5. Kozhevnikov N.O., Antonov E.Yu. TEM data inversion considering fast-decaying induced polarization: numerical experiment based on homogeneous polarizable half-space model. *Geofizika* [The Russian Geophysics Journal], 2007, no. 1, pp. 42–50. (In Russian).

6. Ageenkov E.V. *Ekvivalentnost` opredeleniya polyarizuemosti i vremeni relaksatsii sloya s chastotnoi dispersiei provodimosti* [Determination equivalence of polarizability and time relaxation of a layer with the frequency dispersion of conductivity]. *Tret`ya ural'skaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike* [The Third Scientific Youth School on Geophysics]. Ekaterinburg, 2002, pp. 80–84. (In Russian).

7. Legeido P.Yu., Mandel`buam M.M., Rykhliniskii N.I. Differential-normalized electrical measurements in direct exploration of hydrocarbon reservoirs. *Geofizika* [The Russian Geophysics Journal], 1995, no. 4, pp. 35–42. (In Russian).

8. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, 1941, vol. 9, no. 4, pp. 343–351.

9. Pelton W.H., Ward S.H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelson P.H. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP. *Geophysics*, 1978, no. 43, pp. 588–609.

10. Pirson S.J. Significant advances in magneto-electric unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. Symp. II-1979. Dallas: Southern Methodist University Press, 1981, pp. 169–196.

11. Kaminskii A.E. *Zondirovanie stanovleniem polya zondtem1d* [Sounding by the ZondTEM1d field formation]. ZOND [ZOND]. Available at: <http://zond-geo.ru/software/electromagnetic-soundings/zondtem1d> (accessed 27 May 2016).

12. Mogilatov V.S. *Impul'snaya elektrorazvedka* [Pulsed electroprospecting]. Novosibirsk: Novosibirsk State University Publ., 2002, 208 p. (In Russian).

13. Agafonov Yu.A., Surov L.V., Sharlov M.V. Operation principle and main components of the hardware and software complex of digital telemetric electroprospecting station "Piket". *Rossiiskii geofizicheskii zhurnal* [Russian Journal on Geophysics], 2006, no. 43, pp. 98–102. (In Russian).

Критерии авторства

Поспеев А.В., Мурзина Е.В., Компаниец С.В., Емельянов В.С. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Pospееv A.V., Murzina E.V., Kompaniets S.V., Emelianov V.S. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 551.243+550.837

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101>

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МОРФОЛОГИИ МОГОДСКОГО РАЗЛОМА В МОНГОЛИИ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

© А.Ю. Ескин^а, В.И. Джурик^б, С.П. Серебренников^с, Е.В. Брыжак^д

^{а-д}Институт земной коры СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

РЕЗЮМЕ. Цель. Очаги сильных землетрясений обычно приурочены к зонам разломов. Они генерируют смещения различного порядка, которые могут оказывать опасное воздействие на объекты промышленного и гражданского строительства. Поэтому обнаружение и изучение природных нарушений разного уровня с геолого-геофизической, сейсмологической и сейсмотектонической точек зрения – важная задача при проектировании зданий и сооружений на более ранних стадиях. **Методы.** На примере Могодского разлома в Монголии отмеченная задача была решена путем постановки малоглубинной электроразведки на постоянном токе. **Результаты.** По результатам интерпретации полученных геофизических данных рассмотрены элементы геометрии и кинематики изучаемого крупного разлома в верхних горизонтах земной коры. **Выводы.** Определены критерии выделения тектонических нарушений, изучена анизотропия грунтов по удельному электрическому сопротивлению.

Ключевые слова: разломная зона, метод вертикального электрического зондирования, удельное электрическое сопротивление, анизотропия.

Информация о статье. Дата поступления 28 ноября 2017 г.; дата принятия к печати 21 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Изучение элементов морфологии Могодского разлома в Монголии по данным электроразведки // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 91–101. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101

STUDY OF MOGOD FAULT MORPHOLOGICAL ELEMENTS (MONGOLIA) BY ELECTRICAL EXPLORATION DATA

© A.Yu. Eskin, V.I. Dzhurik, S.P. Serebrennikov, E.V. Bryzhak

Institute of the Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russian Federation

^аЕскин Александр Юрьевич, научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: eskin@crust.irk.ru

Alexander Yu. Eskin, Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: eskin@crust.irk.ru

^бДжурик Василий Иванович, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

Vasily I. Dzhurik, head of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: dzhurik@crust.irk.ru

^сСеребренников Сергей Петрович, старший научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии, e-mail: serebr@crust.irk.ru

Sergey P. Serebrennikov, Senior Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: serebr@crust.irk.ru

^дБрыжак Евгений Вадимович, научный сотрудник лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмогеологии,
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

Evgeniy V. Bryzhak, Researcher of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology,
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru

ABSTRACT. Purpose. The focuses of strong earthquakes are usually confined to fault zones. They generate the displacements of various orders having a dangerous effect on the objects of industrial and civil construction. Therefore, the detection and study of the natural disturbances of different levels in terms of geological and geophysical, seismological and seismotectonic viewpoints is important when designing buildings and structures at earlier stages.

Methods. On example of the Mogod fault in Mongolia the problem is solved using a direct current shallow electrical sounding. **Results.** Based on the interpretation results of the obtained geophysical data the elements of geometry and kinematics of the large fault in the upper horizons of the earth crust have been examined. **Conclusion.** The criteria for distinguishing tectonic disturbances have been determined. The anisotropy of soils has been studied by the specific electrical resistance.

Keywords: *fault zone, method of vertical electrical sounding, specific electrical resistance, anisotropy*

Article info. Received 28 November 2017; accepted for publication 21 May 2018; available online 29 June 2018.

For citation: Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. Study of Mogod fault morphological elements (Mongolia) by electrical exploration data. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 91–101. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-91-101. (In Russian).

Введение

Интерес к изучению территории Монголии заключается в том, что она, находясь в нескольких тысячах километров от плитных границ, где известны многочисленные, в том числе и сильные землетрясения, все же характеризуется сильнейшей сейсмической активностью. Только в XX в. произошло четыре мощнейших землетрясения с магнитудой свыше 8 баллов в пределах западной Монголии и в непосредственной близости от ее границ. Во время этих катастрофических событий образовались весьма протяженные поверхностные разрывы, измеряемые сотнями километров. Такая сейсмическая активность территории объясняется особенностью расположения района. Он находится в переходной зоне сил трансжатия, исходящих от коллизийного фронта между Индостанской и Евразийской плитами, и сил растяжения, исходящих от Байкальской рифтовой зоны. Граница между этими противоположными силами сжатия и растяжения проводится весьма условно.

По геологическим данным тектонические нарушения разного ранга отчетливо выражены в рельефе. Зоны наиболее крупных тектонических нарушений прослеживаются в виде долин современных рек территории Монголии. Разломы

более низкого порядка также используются речной сетью и, как правило, хорошо документируются в виде спрямленных фрагментов долин ручьев, линейно вытянутых участков временных водотоков [1–3].

Развитие процессов эрозии является основным элементом проявления на поверхности тектонических разрывов. Линейное чередование распадков и седловин в пределах горных образований, протяженные линии рвов, уступов на склонах, у подошвы склонов – это основные признаки дешифрирования разломных зон.

Тектоническую ситуацию региона дополняют также более древние погребенные под осадочными породами тектонические нарушения, представляющие не меньшую опасность для существующих и вновь возводимых строительных объектов.

В последнее время изучению разломов и ослабленных зон в горных массивах уделяется огромное значение, так как данная проблема является весьма актуальной, особенно в современных условиях.

Цель исследований

В зонах разломов чаще всего предполагаются очаги сильных землетрясений. В них происходят подвижки грунта на

поверхности с большими градиентами вертикальных и горизонтальных движений. Даже в более спокойных в тектоническом плане областях они генерируют медленные смещения, которые также могут оказывать опасное воздействие на объекты промышленного и гражданского строительства. Поэтому при проектировании зданий и сооружений необходимо на более ранних стадиях обнаружение и изучение с геолого-геофизической, сейсмологической и сейсмотектонической точек зрения тектонических нарушений любого порядка.

Материалы и методы исследований

Задача выявления разломов с успехом решается комплексированием геофизических методов, поскольку зоны тектонических нарушений хорошо выделяются при интерпретации различных геофизических полей, как естественных, так и искусственных. Особенно плодотворно применяются различные методы электроразведки (электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и др.) при определении зон разломов и зон повышенной трещиноватости [4]. Метод ВЭЗ следует отметить особо: он наиболее эффективен при прослеживании как вышедших на поверхность, так и погребенных тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости [5].

Предпосылки использования геофизических (мало- и среднеглубинных) методов для решения поставленных задач заключаются в том, что зоны тектонических нарушений в пределах кристаллического фундамента (30–50 м) характеризуются аномально низкими значениями скоростей сейсмических волн и удельного электрического сопротивления (УЭС) по сравнению с вмещающими грунтами [6]. Дифференцируемость грунтов по УЭС значительно выше, чем по скоростям, особенно для грунтов фундамента из-за наличия конкретно выраженных по физико-механическим свойствам зон

тектонических нарушений (разломов). Зоны, выполненные продуктами разрушения с размерами от блоков и глыб до тектонической глинки, служат естественными водотоками и относительно лучшими проводниками электрического тока. Их УЭС, выраженное в Ом·м, на 1–2 порядка ниже УЭС вмещающих скальных пород. В то же время результативность геофизических измерений определяется различными внешними факторами, такими как рельеф местности, климатические условия, характер заземления для электроразведочных методов, и другими приповерхностными условиями.

При постановке работ методом ВЭЗ в полевых условиях для выделения зон разломов и зон повышенной трещиноватости обычно используют два вида съемки: площадную и профильную – вкрест простирания предполагаемой осевой зоны.

С целью районирования территории в Монголии проводились различные виды работ геолого-геофизического изучения зон тектонических нарушений комплексом геофизических методов от регионального уровня (Орхонский район, Монголия) до конкретных населенных пунктов (г. Эрдэнэт, Монголия) [7–10].

Типичным и хорошо выделенным на местности примером является Могодский разлом, образовавшийся в результате одноименного землетрясения, произошедшего в 1967 г.

Могодский разлом является составной частью Тулэтской тектонической системы. При Могодском землетрясении возникла непрерывная система сейсмогенных разрывов протяженностью до 45 км, отчетливо выраженная в рельефе. Сам разлом расположен в 360 км от г. Улан-Батора и 80 км от г. Булгана (рис. 1). Высотные отметки составляют 1500–1800 м. Климат в районе исследований резко континентальный. Среднегодовая температура – 1,9 °С, количество осадков – в среднем 265 мм в год.

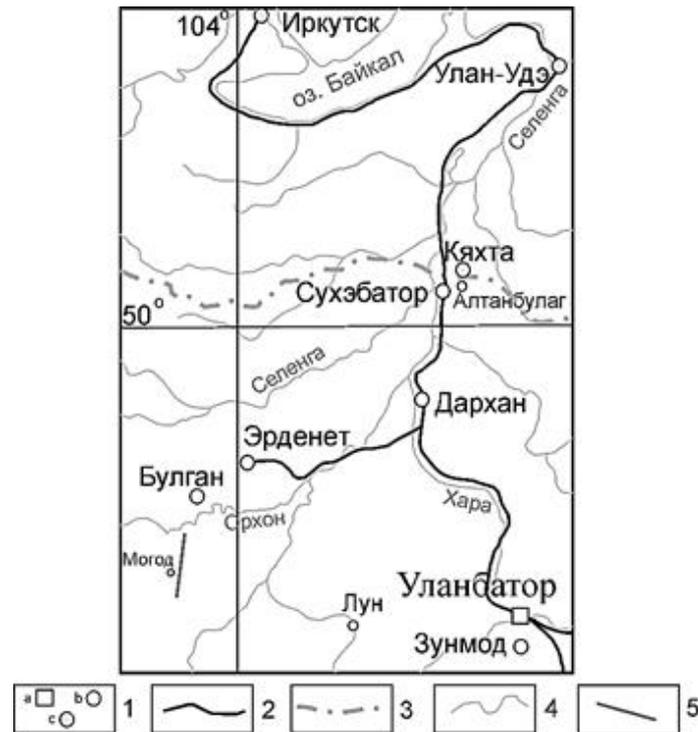


Рис. 1. Обзорная карта с выделением Могодского разлома:

1 – столица Монголии Улан-Батор (а), города Монголии (b) и России (с); 2 – железная дорога;
3 – государственная граница между Россией и Монголией; 4 – реки; 5 – Могодский разлом

Fig. 1. Location map with the identification of the Mogod fault:

1 – Ulaanbaatar – the capital of Mongolia (a), cities of Mongolia (b) and Russia (c); 2 – railway;
3 – state border between Russia and Mongolia; 4 – rivers; 5 – Mogod fault

Электроразведочные измерения по изучению Могодского разлома выполнялись методом ВЭЗ при помощи цифровой электроразведочной аппаратуры «Электротест-С» (Россия).

Эта аппаратура со встроенным питанием для линии АВ может работать в режимах постоянного и переменного тока. Она имеет три режима накопления, что позволяет выполнять исследования в условиях электрических помех и запоминать данные измерений в энергозависимой памяти. Для выполнения работ была использована симметричная установка АМВN, разносы которой выбирались в зависимости от условий заземления и рельефа местности и достигали АВ/2 – 225 м, что при благоприятных геоэлектрических условиях дает возможность изучать распределение электрических сопротивлений на глубину 50 м и более. Шаг измерений между точками зондирования по

профилю составил 25, 40 и 65 м в зависимости от удаленности от оси тектонического нарушения.

Для заземления линии АВ применялись стальные электроды длиной 1,2 м и толщиной 12 мм, для устройства линии MN использовались латунные электроды длиной 0,4 м и толщиной 22 мм. При измерениях использовались разносы линии АВ/2 – 1,5; 3; 4,5; 6; 9; 15; 25; 40; 65; 100; 150; 225 м, линии MN/2 – 0,5; 5 м. На разносах питающей линии АВ/2 – 15 и 25 м выполнены двойные измерения (так называемые «ворота») для перехода с линии MN/2 – 0,5 м на линию MN/2 – 5 м. Данный переход предназначен для получения более уверенного измеряемого сигнала. Результаты измерений заносились в полевой журнал, а для дальнейшей обработки фиксировались в таблицах Excel. Схема работ приведена на рис. 2.

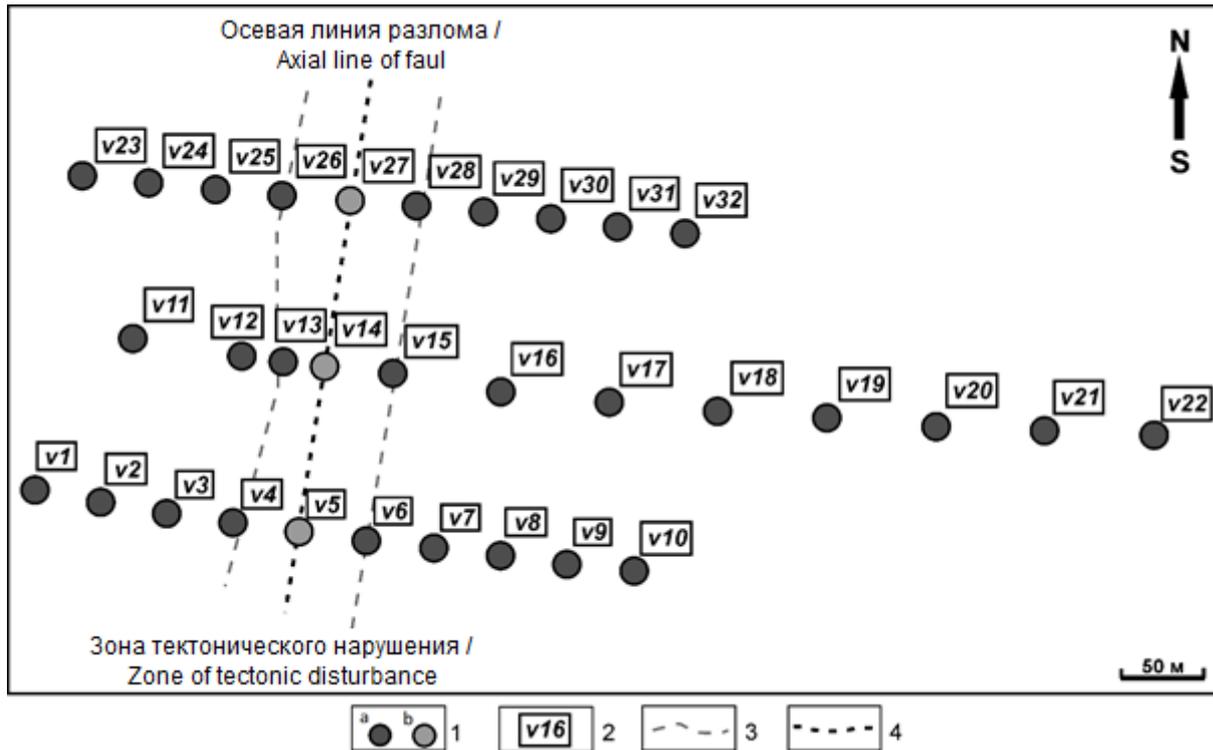


Рис. 2. Схема расположения профилей проведения электроразведочных работ на участке Могодского разлома:
1 – точки измерений методом вертикального электрического зондирования:
a – вне зоны разлома, b – по оси разлома; 2 – номера точек вертикального электрического зондирования; 3 – граница зоны тектонического нарушения на поверхности; 4 – ось разлома

Fig. 2. Location diagram of electrical exploration profiles on the Mogod fault site:

1 – trial points by the vertical electrical sounding method:
a – outside the fault zone, b – along the fault axis; 2 – numbers of vertical electrical sounding points; 3 – boundary of the tectonic disturbance zone on the surface; 4 – fault axis

Результаты исследований и их обсуждение

Интерпретация полученных результатов производилась с помощью программного обеспечения IPI2.Win, разработанного в Московском государственном университете. Пример полученных геоэлектрических разрезов представлен на рис. 3 по трем профилям. Кроме того, на одном из профилей были выполнены три круговых ВЭЗ для фиксации направления линии разлома и изучения анизотропии. Ошибка измерений не более 5% обеспечивалась путем повторных замеров, а также независимым контролем сравнения данных измерений разных операторов. Привязка точек наблюдений осуществлялась с помощью GPS-гео-

дезии и мерной ленты на местности.

Геофизические измерения проводились по профилям, ориентированным вкрест основных тектонических структур [11].

На полученных геоэлектрических разрезах отчетливо выделяется зона с пониженным УЭС, имеющая 30 Ом·м в верхней части и 800 Ом·м в нижней. Кроме того, по профилям в верхней части разреза до глубины 60–80 м выделено три горизонта, которые сложены супесями и суглинками слегка обводненными, с УЭС, изменяющимися незначительно (от 30 до 130 Ом·м). Ниже находятся коренные породы, имеющие УЭС порядка 10000 Ом·м. Зона тектонического нарушения по УЭС в коренных

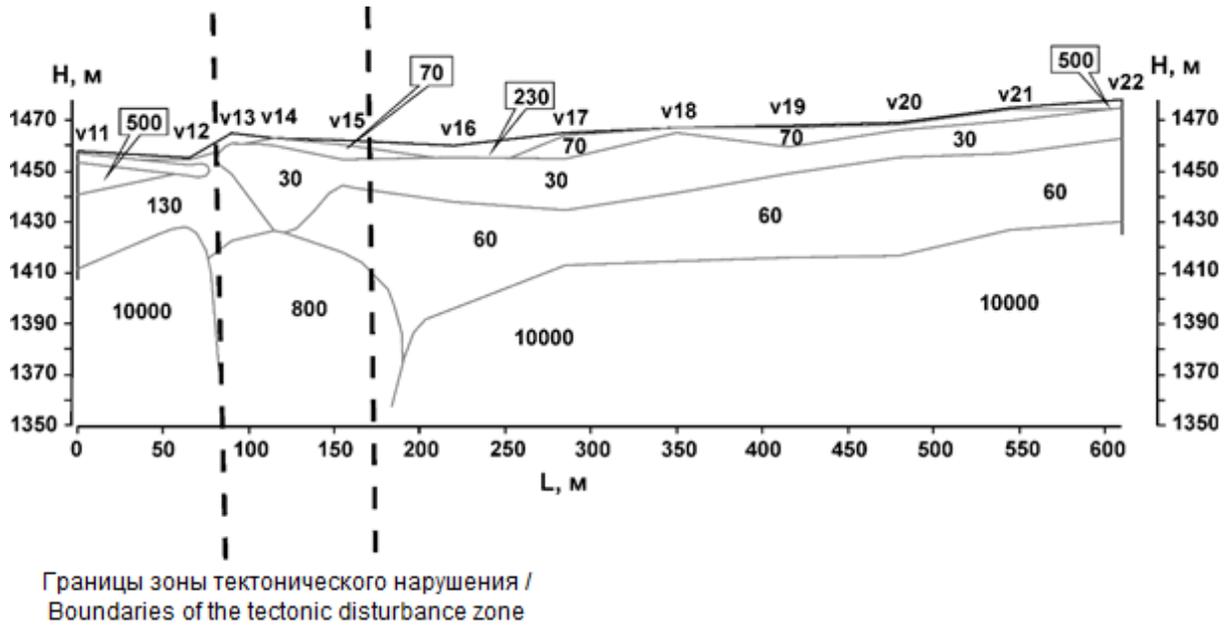


Рис. 3. Разрез по профилю № 2, полученный по данным интерпретации электроразведочных измерений (Могод, Монголия)

Цифры на разрезе – удельное электрическое сопротивление, Ом·м

Fig. 3. Section of the profile 2 obtained by the interpretation of electrical exploration data (Mogod, Mongolia)

Figures on the section represent specific electrical resistivity, Ohm·m

породах проявляется более явно, чем в верхней части разреза. Скорее всего, это связано с литологическим составом пород и климатическими условиями в районе расположения тектонического нарушения, то есть породы, слагающие верхнюю часть зоны разлома, имеют такой же состав, как и их окружающие разновидности. Они отличаются только большей трещиноватостью и раздробленностью и, как следствие, имеют практически такое же УЭС, как и вмещающие породы. Однако, как выяснилось впоследствии при изучении анизотропии, зоны имеют относительно высокие сопротивления только в одном направлении – перпендикулярном оси разлома. По другим азимутам УЭС зоны разлома оказалось ниже, что дало возможность ее выделения в верхней части геоэлектрического разреза. С глубиной обводненность зоны разлома увеличивается, соответственно, УЭС понижается по отношению к породам, в которых данная зона находится. Во вмещающих породах наблюдается обратный

процесс ввиду более слабой фильтрации в них воды на глубину.

В ходе дальнейшей интерпретации для визуализации разлома посчитаны и представлены на рис. 4 срезы по УЭС на различных глубинах (1 и 100 м). На рисунке видно уверенное выделение зоны разлома как по площади, так и в глубину. Поэтому можно говорить о положительном результате применения метода ВЭС для изучения зон разломов и зон повышенной трещиноватости, имеющих выход на поверхность и погребенных под осадочными породами.

В большинстве горных пород проявляется такое явление, как анизотропия. В нашем случае представляет интерес электрическая анизотропия по УЭС горных пород – это различие сопротивлений таких пород в зависимости от направления прохождения тока [12]. В качестве электрической характеристики анизотропной породы используют продольное ρ_t , поперечное ρ_n , среднеквадратичное ρ_m сопротивления и коэффициент

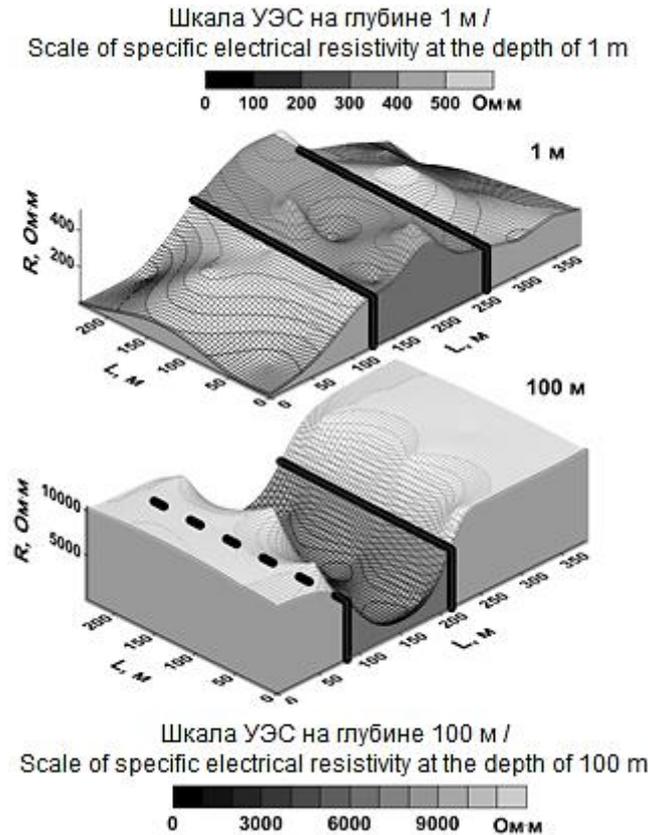


Рис. 4. Удельное электрическое сопротивление Могодского разлома на глубинах 1 м и 100 м
Черными линиями выделена зона тектонического нарушения
Fig. 4. Specific electrical resistivity of the Mogod fault at the depths of 1 m and 100 m
Black lines indicate the zone of tectonic disturbance

анизотропии λ , связанные между собой следующими соотношениями:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_t \rho_n},$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}} = \frac{\rho_n}{\rho_m} = \frac{\rho_m}{\rho_t}.$$

Для определения анизотропии пород были поставлены круговые ВЭЗ в трех опорных точках: в зоне тектонического нарушения и за ее пределами во вмещающих породах (рис. 5). По результатам измерений построены диаграммы распределения кажущихся сопротивлений в различных направлениях по отношению к оси разлома.

На диаграммы вынесены зависимости кажущегося сопротивления только по четырем разносам питающей линии по

двум причинам. Во-первых, на других разносах результат аналогичен представленному, во-вторых, рисунок будет сильно перегружен и плохо читаем. По данным круговых ВЭЗ для каждого разноса и направления измерения рассчитан коэффициент анизотропии, который равен 1 на левой диаграмме; варьирует в пределах от 1,41 до 1,76 на центральной и изменяется от 0,97 до 1,03 на правой. Соответственно, можно сказать, что в зоне разлома имеет место быть такое явление, как электрическая анизотропия пород, слагающих данный массив.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что кажущееся сопротивление пород вдоль оси разлома меньше, чем кажущееся сопротивление, измеренное вкрест простирания, что говорит о

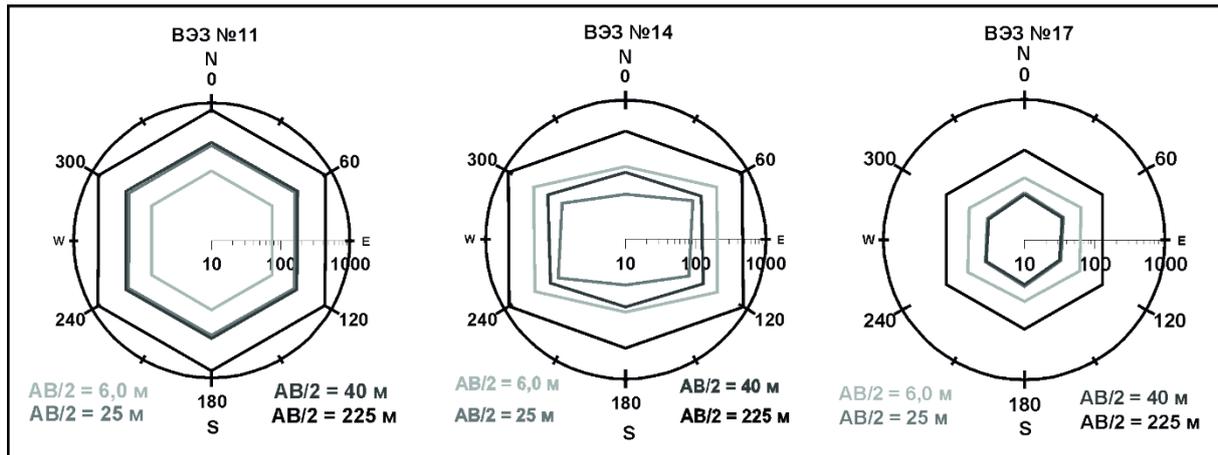


Рис. 5. Примеры диаграмм распределения кажущегося сопротивления в зависимости от полуразноса питающей линии в зоне разлома (центр) и за ее пределами (слева и справа), см. схему работ рис. 2

Диаграммы ориентированы по сторонам света. По оси абсцисс в логарифмическом масштабе – кажущееся сопротивление в Ом·м. По окружности диаграммы расположены азимуты, в направлении которых проводились измерения, в градусах

Fig. 5. Examples of the distribution diagrams of apparent resistivity as a function of the supply circuit half-separation in the fault zone (center) and beyond it (on the left and right), see the operation scheme on Fig. 2

Diagrams are oriented according to the cardinal points. The apparent resistivity in Ohm·m is located on the abscissa axis in the logarithmic scale. The azimuths in degrees, in the direction of which the measurements were made are located along the circle of the diagram

приоритетном азимуте распространения трещиноватости вдоль зоны разлома.

Подобные исследования проводились и на других тектонических нарушениях Монголии (район Эмээлт, Гуджин, Хустай и др.), в том числе и погребенных [4, 6]. По ним также получены положительные результаты, которые позволяют сделать вывод о перспективах электро-разведки при проведении исследований, направленных на выявление нарушений в осадочных и в неглубоко залегающих коренных породах с целью их использования при оценке сейсмической опасности грунтов в пределах активных разломов.

Заклучение

Электроразведка в модификации ВЭЗ была выполнена на одном из участков Могодского разлома по трем профилям. Интерпретация полученных результатов и их анализ дали возможность прийти к решению поставленной задачи.

1. Зона Могодского разлома на

обследованном участке выполнена продуктами разрушения размерами от блоков и глыб до тектонической глинки, которые служат естественными водотоками и относительно лучшими проводниками электрического тока. Их УЭС, выраженное в Ом·м, на 1–2 порядка ниже УЭС вмещающих скальных пород.

2. Могодский разлом достаточно уверенно выделяется по УЭС как по площади, так и на глубину. В верхней зоне геоэлектрического разреза УЭС пород, слагающих зону тектонического нарушения, не сильно отличается от УЭС вмещающих пород. Это десятки Ом·м. В нижней части различие по УЭС достигает уже тысяч и даже десятков тысяч Ом·м, что свидетельствует о более эффективном определении тектонических нарушений и сильно трещиноватых зон в кристаллическом фундаменте.

3. В зоне разлома присутствует такое явления, как анизотропия пород. Кажущееся сопротивление вдоль зоны

тектонического нарушения значительно меньше, чем вкрест простирания. По этому свойству пород можно определять как азимуты распространения трещин в зоне разлома, так и направление самого разлома.

В целом данная методика геофизических исследований отработана на

объектах гражданского и промышленного строительства Монголо-Сибирского региона. Модернизация программного обеспечения и улучшение качественных характеристик электроразведочной аппаратуры позволили увеличить возможности интерпретации полученных данных в процессе полевых исследований.

Библиографический список

1. Пейве А.В. Избранные труды: Глубинные разломы и их роль в строении и развитии земной коры / отв. ред. А.Л. Книппер, А.В. Лукьянов. М.: Наука, 1990. 352 с.

2. Макаров В.И., Щукин Ю.К. Оценка активности скрытых разломов // Геотектоника. 1979. № 1. С. 96–109.

3. Хренов П.М. Скрытые зоны глубинных разломов складчатых областей и платформ (на примере юга Восточной Сибири) // Глубинные разломы юга Восточной Сибири и их металлогеническое значение. М.: Наука, 1971. С. 5–38.

4. Ескин А.Ю., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. Результаты современных геофизических измерений в зоне Могодского разлома // Материалы III Всероссийского совещания и II Всероссийской молодежной школы по современной геодинамике. Иркутск, 2016. С. 85.

5. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.

6. Джурик В.И., Серебренников С.П., Батсайхан Ц. [и др.]. Отражение приповерхностных зон крупных разломов Сибири и Монголии в геофизических полях // XXXVII тектоническое совещание: сб. науч. тр. Т. 2. М.: ГЕОС, 2005. С. 202–205.

7. Джурик В.И., Ескин А.Ю., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., Усынин Л.А., Батсайхан Ц. Выявление зон разломов и ослабленных участков горных пород в районах Монголии с помощью малоглубинной геофизики // Тезисы докладов IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск, 2011. С. 19.

8. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г. Разломообразование в литосфере. Новосибирск: Наука, 1992. 240 с.

9. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology // Journal of Applied Geophysics. 1993. Vol. 29. P. 211–226.

10. Kuria Z.N., Woldai T., van der Meer F.D., Barongo J.O. Active fault segments as potential earthquake sources: Inferences from integrated geophysical mapping of the Magadi fault system, southern Kenya Rift // Journal of African Earth Sciences. 2010. Vol. 57. P. 345–359.

11. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.

12. Пылаев А.М. Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. М.: Недра, 1968. 148 с.

Reference

1. Peive A.V. *Izbrannyye trudy: Glubinye razlomyy i ikh rol' v stroenii i razviti zemnoi kory* [Deep faults and their role in the

structure and development of the Earth crust]. Moscow: Nauka Publ., 1990, 352 p. (In Russian).

2. Makarov V.I., Shchukin Yu.K. Evaluation of hidden fault activity. *Geotektonika* [Geotectonics], 1979, no. 1, pp. 96–109. (In Russian).

3. Khrenov P.M. *Skrytye zony glubinnykh razlomov skladchatykh oblastei i platform (na primere yuga Vostochnoi Sibiri)* [Hidden zones of deep faults in folded areas and platforms (on example of the south of Eastern Siberia)]. *Glubinnye razlomy yuga Vostochnoi Sibiri i ikh metallogenicheskoe znachenie* [Deep faults of the south of Eastern Siberia and their metallogenic significance]. Moscow: Nauka Publ., 1971, pp. 5–38. (In Russian).

4. Eskin A.Yu., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. *Rezultaty sovremennykh geofizicheskikh izmerenii v zone mogodskogo razloma* [Results of modern geophysical measurements in the zone of the Mogod fault]. *Materialy III Vserossiiskogo soveshchaniya i II Vserossiiskoi molodezhnoi shkoly po sovremennoi geodinamike* [Proceedings of III All-Russian Meeting and II All-Russian Youth School on Contemporary Geodynamics]. Irkutsk, 2016, p. 85. (In Russian).

5. Lyakhovitskii F.M., Khmelevskoi V.K., Yashchenko Z.G. *Inzhenernaya geofizika* [Engineering geophysics]. Moscow: Nedra Publ., 1989, 252 p. (In Russian).

6. Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Batsajhan C. *Otazhenie pripoverhnostnykh zon krupnykh razlomov Sibiri i Mongolii v geofizicheskikh poljah* [Reflection of near-surface large fault zones of Siberia and Mongolia in geophysical fields]. *XXXVII tektonicheskoe soveshchanie: sbornik nauchnykh trudov* [XXXVII Tectonic Meeting: Collection of scientific articles]. Vol. 2. Moscow: GEOS Publ., 2005, pp. 202–205.

(In Russian).

7. Dzhurik V.I., Eskin A.Yu., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V., Usynin L.A., Batsaikhan Ts. *Vyyavlenie zon razlomov i oslablennykh uchastkov gornyykh porod v raionakh Mongolii s pomoshch'yu maloglubinnoi geofiziki* [Using shallow geophysics to identify fault zones and weakened sections of rocks in the regions of Mongolia]. *Tezisy dokladov IX Rossiisko-Mongol'skoi konferentsii po astronomii i geofizike* [Abstracts of the reports of IX Russian-Mongolian Conference on Astronomy and Geophysics.]. Irkutsk, 2011, p. 19. (In Russian).

8. Sherman S.I., Seminskii K.Zh., Bornyakov S.A., Adamovich A.N., Lobatskaya R.M., Lysak S.V., Levi K.G. *Razlo-moobrazovanie v litosfere* [Faulting in lithosphere]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992, 240 p. (In Russian).

9. Griffiths D.H., Barker R.D. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 1993, vol. 29, pp. 211–226.

10. Kuria Z.N., Woldai T., van der Meer F.D., Barongo J.O. Active fault segments as potential earthquake sources: Inferences from integrated geophysical mapping of the Magadi fault system, southern Kenya Rift. *Journal of African Earth Sciences*, 2010, vol. 57, pp. 345–359.

11. Ogil'vi A.A. *Osnovy inzhenernoi geofiziki* [Fundamentals of engineering geophysics]. Moscow: Nedra Publ., 1990, 501 p. (In Russian).

12. Pylaev A.M. *Rukovodstvo po interpretatsii vertikal'nykh elektricheskikh zondirovaniy* [Guide to the interpretation of vertical electrical sounding]. Moscow: Nedra Publ., 1968, 148 p. (In Russian).

Критерии авторства

Ескин А.Ю., Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Eskin A.Yu., Dzhurik V.I., Serebrennikov S.P., Bryzhak E.V. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.221

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-102-110>

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПОДГОТОВЛЕННЫХ И ВСКРЫТЫХ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© Б.Л. Тальгамер^a, Ю.Г. Рославцева^b, Н.В. Мурзин^c

^{a-c}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. Цель. Разработка методики определения объема вскрытых и подготовленных запасов для сложноструктурных рудных месторождений на примере месторождения Голец Электрический. **Методы.** Анализ существующих понятий подготовленных и вскрытых запасов, известных методик их определения, а также документации, нормирующей объемы этих запасов. Анализ горно-геологических условий залегания рудных тел на сложноструктурном месторождении Голец Электрический, а также технологии и параметров его разработки. Обоснование методики определения объемов подготовленных и вскрытых запасов. **Результаты.** Апробирована предложенная методика определения вскрытых и подготовленных запасов применительно к условиям месторождения Голец Электрический. Установлено оптимальное соотношение длин экскаваторных блоков для каждого из горизонтов, вовлеченных в одновременную отработку. **Выводы.** Обоснование длины экскаваторных блоков на горизонтах должно осуществляться с учетом конкретных условий эксплуатации месторождения, а также условий залегания рудного тела. Так как в данной статье объемы подготовленных запасов принимались по нормативным документам, то в дальнейшем необходимо разработать методику определения непосредственно объемов подготовленных запасов для каждого из горизонтов, вовлеченных в одновременную отработку.

Ключевые слова: открытые горные работы, категории запасов по степени готовности к выемке, подготовленные, вскрытые, готовые к выемке запасы.

Информация о статье. Дата поступления 27 февраля 2018 г.; дата принятия к печати 21 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Тальгамер Б.Л., Рославцева Ю.Г., Мурзин Н.В. Обоснование объемов подготовленных и вскрытых запасов полезных ископаемых сложноструктурных рудных месторождений // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 102–110. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-102-110

SUBSTANTIATION OF THE VOLUMES OF PREPARED AND ACCESSED RESERVES OF MINERALS FROM COMPLEX STRUCTURE ORE DEPOSITS

© B.L. Talgamer, Yu.G. Roslavtseva, N.V. Murzin

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federation

^aТальгамер Борис Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, тел.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu
Boris L. Talgamer, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Mineral Deposits Development, tel.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu

^bРославцева Юлия Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, тел.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu
Yulia G. Roslavtseva, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development, tel.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu

^cМурзин Николай Владимирович, инженер научно-исследовательской части, тел.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu
Nikolay V. Murzin, Engineer of the Research Department, tel.: 8 (3952) 405104, e-mail: go_gor@istu.edu

ABSTRACT. The **Purpose** of the paper is development of the methodology for determining the volume of accessed and prepared reserves for complex structure ore deposits on example of the Golets Electrichestkiy field. **Methods.** The study involves the following methods: analysis of existing concepts of prepared and accessed reserves, known methods of their determination, documentation rating the volumes of these reserves; analysis of mining and geological conditions of ore body occurrence in the complex structure ore field Golets Electrichestkiy, deposit development technology and parameters; justification of the methodology for determining the volumes of prepared and accessed reserves. **Results.** The proposed methodology for determining the accessed and prepared reserves has been tested as applied to the conditions of the deposit Golets Electrichestkiy. The optimal ratio of the lengths of excavating blocks for each of the horizons involved in simultaneous mining is determined. **Conclusions.** The length of excavating blocks on the horizons should be justified taking into account the specific operating conditions of the deposit, as well as the conditions of ore body occurrence. Since this paper takes the volumes of the prepared reserves according to the normative documents it is necessary to develop a methodology for determining the volumes of prepared reserves for each horizon involved in simultaneous mining.

Keywords: open-cast mining, categories of reserves according to the readiness degree for excavation, prepared, accessed, ready for excavation reserves

Article info. Received 27 February 2018; accepted for publication 21 May 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Talgamer B.L., Roslavtseva Yu.G., Murzin N.V. Substantiation of the volumes of prepared and accessed reserves of minerals from complex structure ore deposits. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 102–110. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-102-110. (In Russian).

Введение

При проектировании разработки одного из небольших золоторудных месторождений Голец Электрический возникла необходимость обоснования объемов подготовленных и вскрытых запасов. Однозначных рекомендаций по расчету этих параметров для условий залегания и эксплуатации данного сложноструктурного месторождения нет.

Месторождение Голец Электрический расположено на территории Артемовского муниципального образования Бодайбинского района Иркутской области, в междуречье р. Большой Чанчик и Большой Догалдын. Месторождение представлено средними и мелкими по размерам телами полезного ископаемого с интенсивно нарушенным залеганием.

Под месторождением Голец Электрический понимается зона шириной до 500–650 м и длиной более 2 км в различной степени минерализованных, золотосодержащих пород и кварцевых жил, приуроченных к замковой части субширотной антиклинали Электрической. Ее ядро и крылья представлены отложениями

третьей и четвертой подсвит догалдынской свиты венда. Зона протягивается вдоль водораздела р. Большой Догалдын и Большой Чанчик и постепенно сужается до 140–200 м на западной границе лицензионной площади, повторяя контур периклинального замыкания антиклинали. Характеризуется очень изменчивой мощностью и внутренним строением рудных тел, а также неравномерным распределением основных ценных компонентов.

В морфологическом плане структура рудовмещающей антиклинали представляет собой асимметричную складку с падением осевой поверхности 84–88° на СВ 3–17°. Углы простирания и падения крыльев антиклинали составляют соответственно: северного СВ 0–12° и 30–42°; южного ЮЗ 185–205° и 45–73°. Шарнир складки полого погружается на ЗСЗ по азимуту 274–284° с углами 4–7° на восточном фланге и 13–14° на западном фланге месторождения. Вдоль северного и южного крыльев складки опробованы протяженные субсогласные тектонические зоны взбросо-надвигового типа, участками минерализованные: Северо-

Электрическая – в северном крыле; Южно-Электрическая – в южном. Зоны (от 2–8 до 10–15 м) представляют собой рассланцованные породы, вмещающие одиночные кварцевые жилы и зоны пиритизации и окварцевания.

Породы третьей подсвиты в отличие от практически не деформированных пород четвертой подсвиты интенсивно кливажированы согласно общему простиранию структуры, образуют дивергентный (расходящийся кверху) веер кливажных поверхностей. Вдоль осевой плоскости антиклинали развиты узкие (около 3–4 м) зоны интенсивного субвертикального рассланцевания.

Руды и вмещающие породы месторождения отнесены к категории крепких скальных пород с пределом прочности на сжатие от 944 до 2175 кг/см² или 94,4–217,5 МПа. По этим данным определены коэффициенты крепости f по М.М. Протодьяконову в диапазоне 9–20 ед. при расчетном среднем значении 12 ед. К числу наиболее крепких относятся жильный кварц и кварцитовидные песчаники.

Морфология, значительная мощность рудных тел, выход рудных тел на дневную поверхность, а также сложное внутреннее строение рудных тел, пониженная устойчивость руды и вмещающих пород в приповерхностной части определяют применение открытого способа разработки.

Основные параметры карьера:

- максимальная глубина карьера – 105 м;
- средняя глубина карьера – 85 м;
- общая площадь карьера – 62,5 тыс. м²;
- длина карьера по дну – 872 м;
- ширина карьера по дну – 20 м;
- длина карьера по поверхности – 1000 м;
- ширина карьера по поверхности – 235 м;
- геологический коэффициент вскрыши – 4,6 м³/т;

– эксплуатационный коэффициент вскрыши – 3,8 м³/т.

На месторождении принята транспортная система. Подготовка горных пород к выемке осуществляется буровзрывным способом. Взорванные вскрышные породы гидравлическим экскаватором типа прямая лопата ЭКГ-5А грузятся на автосамосвалы БелАЗ-7540 (грузоподъемность 30 т) и транспортируются на отвал пустых пород. Взорванная рудная масса гидравлическим экскаватором типа обратная лопата Doosan DX300 (емкость ковша 0,8 м³) грузится на автосамосвалы и транспортируется к обогатительной фабрике, внутренняя вскрыша (породные прослои) разрабатывается экскаватором Doosan DX300 и транспортируется в отвал автосамосвалами.

Методы обоснования

В настоящее время в горном деле существует несколько определений вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезного ископаемого.

А.И. Арсентьев [1] и Я.М. Адигамов [2] предложили связывать определение вскрытых запасов со вскрытием горизонтов, подготовленных – с завершением для них горно-подготовительных работ, готовых к выемке – с освобождением запасов от расположенного на них оборудования и сооружений. Вскрытые запасы – запасы, к которым обеспечен транспортный доступ. Выемка таких запасов полезного ископаемого может быть осуществлена в результате проходки разрезных траншей и производства вскрышных и добычных работ без проведения вскрышающих выработок (обычно въездных траншей). Подготовленные запасы – это часть вскрытых запасов, для которой возможно выполнение добычных работ без проведения разрезных траншей и вскрышных работ. Готовые к выемке запасы – это часть подготовленных на каждом горизонте запасов, которые можно извлечь без проведения горных работ на

вышележащем уступе.

В.В. Ржевский [3] под подготовленными запасами горной массы уступа понимает те объемы, которые могут быть вовлечены в начальные технологические процессы (бурение, взрывание, механическое рыхление и др.), предшествующие выемочно-погрузочным работам, или хотя бы в один из начальных процессов. Для выполнения основных процессов – выемки, погрузки и перемещения пород из забоев к пунктам приема грузов – необходимо вскрыть уступ, то есть провести вскрывающую выработку, уложить транспортные коммуникации, создать первоначальный забой для выемки пород. Часть подготовленных запасов горной массы, к которым обеспечен транспортный доступ, необходимый для выемки и перемещения пород, считается вскрытыми запасами горной массы уступа. Часть вскрытых запасов составляют готовые к выемке запасы уступа. К ним относятся запасы, которые готовы к выемке, погрузке и перемещению непосредственно из массива (мягкие и часто плотные породы) или после взрывания, механического рыхления (скальные, полускальные и иногда плотные породы).

Согласно предложению К.Н. Трубецкого [4], вскрытыми следует называть запасы полезного ископаемого месторождения или его части из числа балансовых запасов предприятия, освобожденные от покрывающих пород или обнаженные вследствие естественных условий залегания, для разработки которых пройдена въездная траншея и выполнены горно-капитальные работы, предусмотренные техническим проектом. К подготовленным относятся запасы уступов (из

объема вскрытых) с обнаженными верхней и боковой поверхностями (выполнены горно-подготовительные работы, предусмотренные проектом). Готовыми к выемке считаются запасы из числа подготовленных, которые могут быть отработаны независимо от подвигания смежного верхнего уступа с оставлением минимальной ширины рабочей площадки.

Б.Р. Ракишев и Е.Б. Ракишев [5] предложили вскрытыми назвать запасы горных пород, которые могут быть извлечены из рабочей зоны карьера до момента достижения бортами уступов текущих предельных положений в тылу массива, подготовленные запасы исключить, а под готовыми к выемке, по их мнению, следует понимать те запасы из числа вскрытых, которые готовы к выемке, погрузке и перемещению непосредственно из массива или после взрывания, механического рыхления и т. д.

Как видно, подготовленные запасы в одном случае предшествуют вскрытым [3], в других случаях являются частью вскрытых запасов [1, 2, 4, 5]. В данной работе определения вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов приняты в соответствии с классификацией, предложенной К.Н. Трубецким.

В настоящее время нормирование объемов вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов осуществляется по нормативным документам:

1. ВНТП 35-86 горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки¹ (табл. 1).

2. ВНТП 13-86 горнорудных предприятий черной металлургии с открытым способом разработки² (табл. 2).

¹Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки. М.: Минцветмет СССР, 1986. 40 с. / Technological design standards of mining enterprises of non-ferrous metallurgy with an open-cut mining method. M.: Mintsvetmet USSR, 1986. 40 p.

²Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий черной металлургии с открытым способом разработки. М.: Минчермет СССР, 1986. 264 с. / Technological design standards of mining enterprises of iron and steel industry with an open-cut mining method. M.: Minchermet USSR, 1986. 264 p.

Таблица 1

Обеспеченность карьера запасами руды по степени готовности к добыче

Table 1

Open-cast mine ore reserves according to the degree of readiness for production

Период эксплуатации карьера / Open-cast mine life-cycle	Обеспеченность запасами, мес. / Reserve life, month		
	Вскрытыми / Accessed reserves	Подготовленными / Prepared reserves	Готовыми к выемке / Ready for excavation
Ввод в эксплуатацию / Commissioning	12–6	6–4	1,5–0,5
Работа с проектной мощностью / Operation with design capacity	7–4,5	3–2	1,5–1
Затухание горных работ / Attenuation of mining operations	5,4–3,5	3,5–1,5	1–0,5

Таблица 2

Обеспеченность карьера готовыми к выемке запасами

Table 2

Open-cast mine reserves ready for excavation

Категория запасов / Reserve category	Обеспеченность запасами, мес. / Reserve life, month		
	Руда / Ore	Скальные вскрышные породы / Rock overburden	Рыхлые вскрышные породы / Loose overburden
Готовые к выемке / Ready for excavation	>2,5	>2,5	>1,8

3. Для угольных и сланцевых разрезов³:

- при круглогодичном режиме работы на вскрыше при транспортной системе разработки объем подготовленных к выемке запасов полезного ископаемого должен быть равен двухмесячной производительности разреза в год эксплуатации;
- при круглогодичном режиме работы на вскрыше при бестранспортной и

транспортно-отвальной системах разработки – 15-суточной производительности разреза;

- при сезонном режиме работы готовые к выемке запасы должны обеспечивать работу разреза на период остановки вскрышных работ.

4. Для предприятий цветной металлургии по разработке россыпных месторождений⁴:

³Правила технической эксплуатации при разработке угольных и сланцевых месторождений открытым способом. М.: Недра, 1972. 145 с. / Operating instructions under development of coal and shale deposits by the open-cut mining method. М.: Nedra, 1972. 145 p.

⁴Нормы технологического проектирования предприятий цветной металлургии по разработке россыпных месторождений. М.: Минцветмет СССР, 1976. 91 с. / Technological design standards of non-ferrous metallurgy enterprises for the development of placer deposits. М.: Mintsvetmet USSR, 1976. 91 p.

– на талых россыпях малой (до 5 м) и средней (5–15 м) глубины залегания добычное оборудование должно быть обеспечено запасами на 2–3 месяца;

– на мерзлых россыпях – на сезон.

5. Для предприятий нерудных строительных материалов⁵:

– при круглогодичном режиме работы обеспеченность запасами должна быть не менее 3 месяцев производительности разреза в год эксплуатации;

– при сезонном режиме работы – не менее 2 месяцев установленной производительности разреза в год эксплуатации.

Существует несколько методов обоснования количества подготовленных запасов, однако все они рассчитаны на мощные пласты либо на рудные тела правильной геометрической формы, в связи с чем возникает проблема определения оптимального количества подготовленных запасов для сложноструктурных рудных месторождений, а также угольных месторождений с небольшой мощностью пласта.

Целью данной работы является разработка методики определения объема подготовленных запасов для сложноструктурных рудных месторождений.

Результаты исследований

По результатам анализа известных методик определения объемов вскрытых и подготовленных запасов применительно к сложноструктурным рудным месторождениям установлено, что обоснование объемов подготовленных запасов должно осуществляться в следующей последовательности:

– обосновываются параметры элементов системы разработки;

– определяется необходимый объем подготовленных запасов;

– рассчитывается площадь поперечного сечения горной массы $S_{ГМ}$ и площадь поперечного сечения полезного ископаемого $S_{ПИ}$, включаемые в горизонты отработки (рис. 1).

4. Определяется длина экскаваторного блока по горизонтам. Для этого

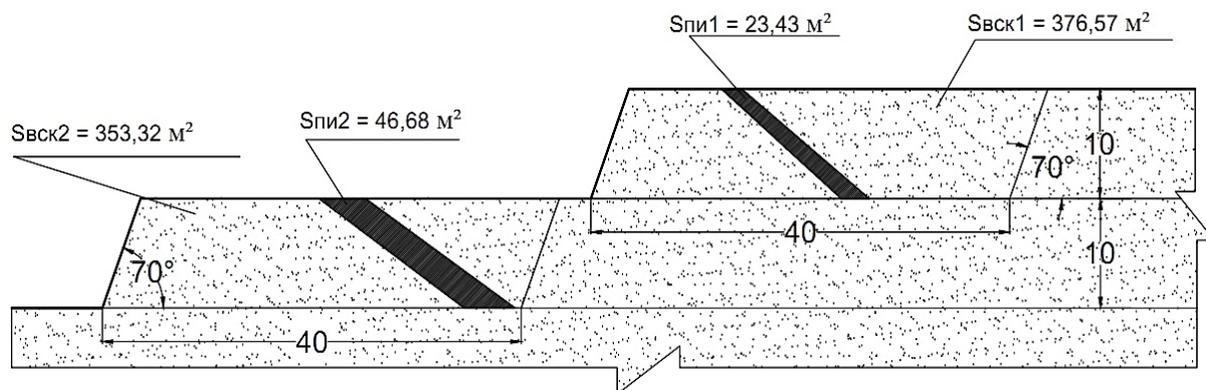


Рис. 1. Схема горизонтов, включенных в одновременную отработку, используемая для подсчета подготовленных запасов:

$S_{вск1}, S_{вск2}$ – площадь вскрышных пород на 1 и 2 горизонте;

$S_{пи1}, S_{пи2}$ – площадь полезного ископаемого на 1 и 2 горизонте

Fig. 1. Diagram of horizons included in the simultaneous mining used to calculate the prepared reserves:

$S_{вск1}, S_{вск2}$ – area of overburden on 1 and 2 horizons;

$S_{пи1}, S_{пи2}$ – area of mineral on 1 and 2 horizons

⁵Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий нерудных строительных материалов. Л.: Минпром СССР, 1988. 41 с. /

National technological design standards of non-metallic building material enterprises. L.: Minprom of the USSR, 1988. 41 p.

методом вариантов для каждой длины горизонта рассчитывается объем вскрышных пород и полезного ископаемого, устанавливается текущий коэффициент вскрыши. Расчет ведется на всю длину карьерного поля в несколько этапов подготовки запасов.

5. Находится среднее отклонение текущего коэффициента вскрыши от эталонного на данном этапе.

6. По критерию минимального среднеквадратического отклонения коэффициента вскрыши определяется рациональное соотношение длин экскаваторных блоков на каждом из горизонтов.

В соответствии с вышеуказанным порядком обоснования объемов вскрытых и подготовленных запасов были выполнены расчеты для условий разработки месторождения Голец Электрический.

Принятое направление развития фронта горных работ на данном месторождении – продольное двубортовое (развитие работ от висячего борта). Отработка уступов производится продольными заходками. Движение транспорта осуществляется по маятниковой схеме. Вскрышные породы будут обрабатываться по мере необходимости создания готовых к выемке запасов на добычных горизонтах.

Высота уступов принята исходя из характеристик рекомендуемого горно-транспортного оборудования и технологии отработки с учетом уменьшения потерь и разубоживания и составляет 5 м в контурах рудной залежи на добычных работах и 10 м на вскрышных работах.

Количество одновременно разрабатываемых уступов n_o для продольных систем разработки в условиях наклонных и крутопадающих залежей рассчитывается по формуле

$$n_o = \frac{m_T - b_{PT}}{B_{PT} + h \cdot (ctg\alpha \pm ctg\beta)},$$

где m_T – горизонтальная мощность залежи; b_{PT} – ширина разрезной траншеи;

B_{PT} – ширина рабочей площадки, установленная в соответствии с расстановкой горнотранспортного оборудования и кольцевой схемой подъезда автосамосвалов при ведении взрывных работ; h – высота уступа; α – угол откоса уступа; β – угол падения залежи.

$$n_o = \frac{100 - 25}{42,1 + 5(0,364 + 1,1918)} = 1,5.$$

Принимается два горизонта, находящихся в одновременной отработке.

Схема горизонтов, включенных в одновременную отработку, используемая для подсчета подготовленных запасов в условиях месторождения Голец Электрический, приведена выше (см. рис. 1).

Для данного месторождения выполнены расчеты длины экскаваторного блока по горизонтам, а также среднего отклонения текущего коэффициента вскрыши.

График зависимости длин подготовленных горизонтов от среднеквадратического отклонения текущего коэффициента вскрыши представлен на рис. 2.

Выводы

По результатам расчетов установлено, что при нормативе объема подготовленных запасов, принятом равным двухмесячной производительности карьера по полезному ископаемому (21,7 тыс. м³), оптимальная длина первого подготовленного горизонта составляет 350 м, второго – 289 м при среднеквадратичном отклонении текущего коэффициента вскрыши 0,109.

В ходе исследований определено оптимальное соотношение длин экскаваторных блоков на каждом из горизонтов, включенных в одновременную отработку, что позволяет оптимизировать производительность экскаватора и транспорта, сократить время рейса и тем самым снизить себестоимость транспортирования.

В данной работе с целью расчета оптимальных длин экскаваторных блоков объемы подготовленных запасов

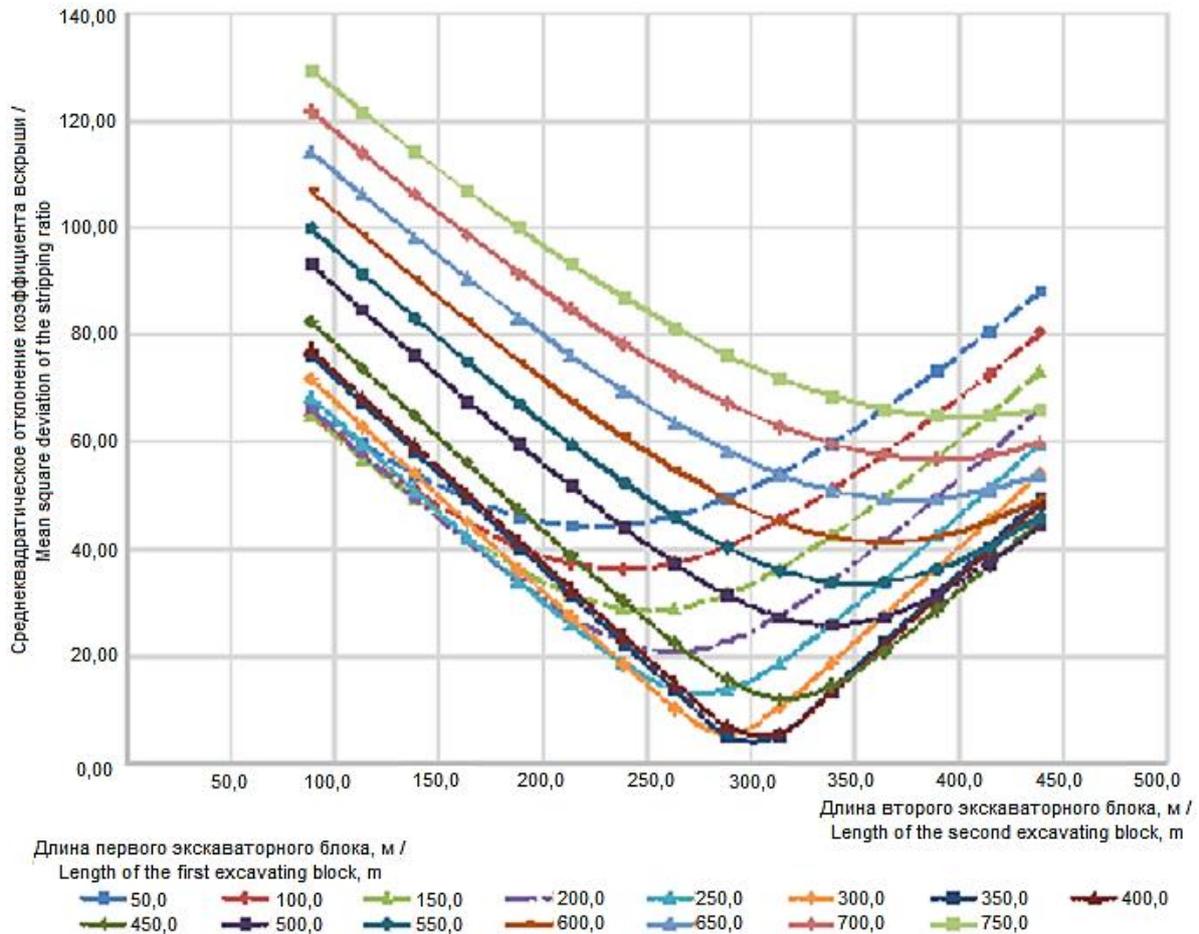


Рис. 2. График зависимости длин подготовленных горизонтов от среднеквадратического отклонения коэффициента вскрыши
Fig. 2. Dependency graph of the lengths of prepared horizons on the mean-square deviation of the stripping ratio

принимались по нормативным документам, что не учитывает особенностей залегания рудной залежи. В дальнейшем необходимо разработать методику опре-

деления непосредственно объемов подготовленных запасов для каждого из горизонтов, вовлеченных в одновременную отработку.

Библиографический список

1. Арсентьев А.И., Богачев А.Ф., Оводенко Б.К., Сиртюк Г.Н., Сигачев А.Е. Управление запасами горной массы в карьерах. Мурманск: Кн. изд-во, 1972. 144 с.
2. Адигамов Я.М., Зарайский В.П. Нормирование запасов руд по степени подготовленности к добыче. М.: Недра, 1978. 264 с.
3. Ржевский В.В. Открытые горные работы: учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 2. М.: Недра, 1985. 550 с.

4. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. В 2 т. Т. 1. М.: Из-во Академии горных наук, 2001. 519 с.
5. Ракишев Б.Р., Ракишев Е.Б. Целесообразное соотношение между видами запасов горных пород на открытых разработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 4. С. 270–276.

References

1. Arsent'ev A.I., Bogachev A.F., Ovodenko B.K., Sirtyuk G.N., Sigachev A.E. *Upravlenie zapasami gornoj massy v kar'erakh* [Management of rock mass reserves in open-pit mines]. Murmansk: Knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1972, 144 p. (In Russian).

2. Adigamov Ya.M., Zaraiskii V.P. *Normirovanie zapasov rud po stepeni podgotovlennosti k dobyche* [Rating of ore reserves in terms of readiness for mining]. Moscow: Nedra Publ., 1978, 264 p. (In Russian).

3. Rzhetskii V.V. *Otkrytye gornye*

raboty [Open mining]. In 2 p. P. 2. Moscow: Nedra Publ., 1985, 550 p. (In Russian).

4. Trubetskoi K.N., Krasnyanskii G.L., Khronin V.V. *Proektirovanie kar'erov* [Design of open-pit mines]. In 2 vol. Vol. 1. Moscow: Academy of Mining Sciences Publ., 2001, 519 p. (In Russian).

5. Rakishev B.R., Rakishev E.B. Efficient ratio between rock reserve types in open-cast mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2007, no. 4, pp. 270–276. (In Russian).

Критерии авторства

Тальгамер Б.Л., Рославцева Ю.Г., Мурзин Н.В. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authorship criteria

Talgamer B.L., Roslavitseva Yu.G., Murzin N.V. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.243.1

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-111-117>

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕССА ВЫНОСА РАЗРУШЕННОЙ ПОРОДЫ ИЗ СКВАЖИНЫ

© А.И. Ламбин^а

^аИркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. Цель. Классической задачей гидромеханики является изучение течения жидкости в эксцентричном канале, имеющей, в частности, практическое применение при промывке наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием. Транспортирование частиц разрушенной горной породы из скважины указанного профиля потоком промывочной жидкости является сложной теоретической и практической задачей. Изучение транспорта бурового шлама путем промысловых и лабораторных исследований показало разнонаправленность воздействий таких показателей промывочной жидкости, как ее вязкость и плотность при турбулентном режиме течения. Целью исследования является изучение указанной разнонаправленности на примере исследований транспортирующей способности бурового раствора отдельных авторов. **Методы.** Использован сравнительный анализ влияния реологических параметров и плотности полимерсодержащей промывочной жидкости на минимальный расход промывочной жидкости, при котором не происходит возникновение осадка. **Результаты.** Сопоставлено влияние плотности изучаемых промывочных жидкостей и их вязкости на параметр оптимизации, за который принят минимальный расход промывочной жидкости, полностью извлекающей твердые частицы из эксцентричного кольцевого пространства экспериментальной установки. Для этого по информации о вязкости растворов вычислены их плотности. В рассмотрение были приняты водные растворы карбоксиметилцеллюлозы и ее производные, а также водные растворы глицерина. **Выводы.** Выявлено, что водные растворы глицерина в качестве промывочных жидкостей увеличивают их выносную способность благодаря большей плотности по сравнению с растворами карбоксиметилцеллюлозы. Эксперименты, определяющие несущую способность буровых растворов, необходимо ставить с учетом не только реологических параметров жидкости, но и ее плотности, для этого можно использовать приведенную вязкость растворов с переводом ее значений в плотность.

Ключевые слова: буровой раствор, транспортирование шлама, вязкость жидкости, плотность, выносная способность раствора.

Информация о статье. Дата поступления 24 апреля 2018 г.; дата принятия к печати 4 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Ламбин А.И. Составляющие процесса выноса разрушенной породы из скважины // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 111–117. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-111-117

COMPONENTS OF THE PROCESS OF BROKEN ROCK REMOVAL FROM THE WELL

© A.I. Lambin

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federation

^аЛамбин Анатолий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, e-mail: alambin@ex.istu.edu

Anatoliy I. Lambin, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business, e-mail: alambin@ex.istu.edu

ABSTRACT. Purpose. A classical problem of fluid mechanics involving the study of liquid flow in the eccentric channel has, in particular, the practical application in the process of flushing of controlled directional wells with horizontal ending. Transport of destroyed rock particles from the wells of the specified profile by the flow of flushing fluid is a challenging theoretical and practical task. The study of mud transport in field and laboratory studies has showed the multidirectional impacts of such characteristics of the flushing fluid as its viscosity and density in the turbulent flow regime. The purpose of the article is to study the specified multidirectionality on example of researches of different authors devoted to drilling mud carrying capacity. The **Methods** used include a comparative analysis of the influence of rheological parameters and density of polymer-containing flushing fluid on the minimum flow rate of the flushing fluid at which the precipitate is not formed. **Results.** Comparison is given to the influence of density of the studied flushing fluids and their viscosity on the optimization parameter which is taken as the minimum flow rate of the flushing fluid that fully extracts solid particles from the eccentric annular space of the experimental installation. The densities of solutions are calculated by the data on solution viscosity. Consideration is given to the aqueous solutions of carboxymethyl cellulose (CMC) and its derivatives as well as aqueous solutions of glycerine. **Conclusions.** It has been found out that the use of aqueous glycerin solutions as flushing fluids increase the carrying capacity of the latter due to higher density as compared with the solutions of CMC. The experiments that determine the carrying capacity of drilling fluids should be set taking into account both rheological parameters of the liquid and its density. The reduced viscosity of solutions can be used for this purpose by transforming its values into density.

Keywords: *drilling mud, mud transport, liquid viscosity, density, solution carrying capacity*

Article info. Received 24 April 2018; accepted for publication 4 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Lambin A.I. Components of the process of broken rock removal from the well. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 111–117. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-111-117. (In Russian).

Введение

Задача о течении жидкости в канале между двумя цилиндрическими трубами является классической задачей гидродинамики, имеющей широкое практическое применение. На практике важно знать характеристики течений в широком диапазоне параметров (геометрия канала, свойства жидкости и режим течения), а также их зависимость от этих параметров. Задачу существенно усложняет неньютоновская реология рабочей среды, вязкость которой нелинейно зависит от скорости деформации течения.

Транспортирование частиц разрушенной породы в скважине или процесс выноса выбуренной породы из скважины является сложной теоретической и практической задачей. Несмотря на схожесть с процессами гидротранспорта, имеющими достаточно разработанную теоретическую базу, транспорт шлама имеет свои особенности.

Во-первых, массовая концентрация разрушенной породы в буровом растворе

значительно меньше концентрации твердой фазы при гидротранспорте, что определяет неравномерность распределения частиц по гранулометрическому составу в поперечном сечении потока бурового раствора. Во-вторых, при гидротранспорте используется вода, а буровые растворы представляют собой неньютоновские жидкости, различающиеся по реологическому фактору.

Кроме того, гидротранспорт осуществляется преимущественно при турбулентном режиме течения потока, тогда как условия в скважине заставляют применять разные режимы течения.

Наконец, геометрия поперечного сечения потоков определяет характер движения твердой фазы. Нарушение осевой симметрии течения вследствие эксцентриситета усложняет задачу, так как в этом случае могут одновременно осуществляться и ламинарный, и переходный, и турбулентный режимы.

Все перечисленное затрудняет использование теоретических разработок

гидротранспорта для оптимизации выноса разрушенной породы из скважины. Поэтому изучение процесса транспортирования шлама из скважины ведется путем промысловых и лабораторных исследований.

Характер движения выносящего потока существенно влияет на содержание твердых частиц в единице объема потока, которые в условиях скважины находятся под влиянием сил тяжести. Следует отметить, что это содержание обычно не превышает 5 %, что позволяет рассматривать двухфазный суспензионный поток как поток с невзаимодействующими частицами. Этот факт позволяет рассматривать динамику движения отдельных твердых частиц в потоке.

В настоящее время повышенному вниманию исследователей подвергаются поперечные перемещения частиц относительно оси потока. Возникновение поперечной силы обусловлено возмущениями, которые вносит сама частица в несущий поток. Одной из причин возмущений может быть различие скоростей частицы и жидкости вдали от нее – проскальзывание частицы. Оно возникает, например, в результате действия силы тяжести на не нейтрально плавучие частицы, имеющие плотность вещества, отличную от плотности несущей фазы. При этом возникает сила Сафмена. Проскальзывание частиц относительно жидкости или газа может быть результатом действия не только гравитации, но и ускоренного движения несущей фазы. В этом случае инерция частиц [1] определяет их обтекание потоком жидкости¹.

Другой причиной поперечной миграции частицы в потоке может быть ее вращение, что вызывает силу Магнуса [2].

Модель, в которой частица прямолинейно и равномерно движется вместе с потоком среды, является сильной идеализацией, однако она позволяет обратиться в ноль практически все описанные в гидродинамике силы, вызывающие миграцию частицы поперек ламинарного потока. Это позволяет выделить и описать в чистом виде аналог выталкивающей силы Архимеда для многофазных гидродинамических потоков. Из термодинамического описания следует, что эта сила как одна из составляющих существует в общем случае при любых перемещениях частиц в ламинарном потоке [3].

Несмотря на значительное влияние сил вязкости на выносную способность раствора при ламинарном режиме течения необходимо учитывать и вклад выталкивающей силы раствора. При турбулентном режиме течения характер взаимодействия твердой частицы с потоком жидкости несколько иной.

Целью настоящего исследования является определение вклада силы Архимеда при турбулентном режиме течения потока бурового раствора.

С ростом числа Рейнольдса увеличиваются гидродинамические потери, связанные с турбулентностью потока, влекущего выделенную частицу разрушенной горной породы. Вихревой характер турбулентности определяет перенос массы, импульса и энергии жидкими частицами вихревого происхождения, благодаря чему некоторая часть частиц шлама не стокового размера будет находиться во взвешенном состоянии. Интенсивность пульсаций в жидкости влияет на движение взвешенных частиц. В результате пульсации скоростей и давления, турбулентного перемешивания жидкости происходит поддержание во взвешенном состоянии твердых частиц,

¹ Асмолов Е.С. Поперечная миграция малых сферических частиц в сдвиговых и нестационарных потоках: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 2015. 206 с. / Asmolov E.S. Transverse migration

of small spherical particles in shear and nonstationary flows: the author's abstract of Doctoral Dissertation in Physical and Mathematical sciences. M., 2015. 206 p.

переносимых потоком. Скорость пульсационного вихря может достигать 14 % средней скорости потока, что определяет интенсивность его воздействия на частицу по сравнению с интенсивностью воздействия основного потока.

Поддержание обратного потока циркулирующего бурового раствора в режиме турбулентности только частично улучшает процесс очистки скважины при ее бурении. Однако, как известно, вязкость бурового раствора тормозит возникновение и распространение пульсаций, а следовательно, уменьшает процент выноса шлама.

В настоящее время промывочные жидкости в своем составе изобилуют наличием высокомолекулярных полимеров, увеличивающих вязкость циркулирующей жидкости.

Методы

Отечественные и зарубежные авторы исследуют влияние реологических параметров бурового раствора на удаление шлама из скважины. Так, например, авторы работы [4] исследовали процесс транспортирования твердых частиц при изменении эксцентриситета кольцевого пространства при использовании жидкостей с различными реологическими параметрами. В качестве промывочных жидкостей применялись вода и водные растворы карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), полианионной целлюлозы (ПАЦ) и глицерина. В качестве частиц шлама использовался кварцевый песок и пропант с плотностями 2300 и 3600 кг/м³ соответственно. За параметр оптимизации был принят минимальный расход циркулирующей жидкости, при котором не происходило образование осадка.

Столь подробное описание проведенного эксперимента требуется для обоснования некорректности выводов в части влияния реологии на транспортирующую способность различных жидкостей. Авторы отмечают, что увеличение вязкости растворов КМЦ и ПАЦ требует

увеличения минимального расхода жидкости, при котором не происходит выпадение осадка на нижнюю стенку стеклянной трубы, имитирующей горизонтальную скважину, то есть с увеличением вязкости жидкости ее несущая способность уменьшается. Но при использовании высоковязких водных растворов глицерина получился обратный, «казалось бы, парадоксальный результат». Авторы, ссылаясь на модель Оствальда-де Ваале, делают вывод: «В то же время высокая структурная вязкость раствора при одинаковых показателях нелинейности n способствует транспорту шлама».

Здесь парадоксальности нет, все закономерно, и вывод со ссылкой на показатель нелинейности в модели псевдопластичной жидкости также ошибочен.

При постановке подобных экспериментов, определяющих несущую способность буровых растворов, необходимо использовать не только реологические параметры жидкости, но и ее плотность.

Для подтверждения покажем несколько купированную приведенную авторами таблицу реологических параметров примененных жидкостей (табл. 1). Для описания течения жидкости авторами использовалась формула Оствальда-де Ваале $\tau = K\dot{\gamma}^n$, где τ – напряжение сдвига; K – показатель консистенции жидкости, $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, n – показатель нелинейности.

Задачей исследования является сравнение влияния эффекта вязкости и эффекта плотности циркулирующего раствора. Для этого рассмотрим таблицу зависимости вязкости водных растворов глицерина от его содержания в растворе (табл. 2).

Результаты

Анализ таблиц показывает, что при вязкости раствора глицерина, равной 0,015 Па·с, его плотность составит даже при 25 °С 1140 кг/м³, в то время как плотность раствора КМЦ при концентрации 1,5 % составляет 1009 кг/м³. Отсюда сила

Таблица 1

Вязкость водных растворов

Table 1

Viscosity of aqueous solutions

Вид жидкости / Type of liquid	Условная вязкость, с / Funnel viscosity, s	Модель Оствальда-де Ваале / Ostwald-de Waele model		Эффективная вязкость $\mu_{эф}$, Па·с / Effective viscosity $\mu_{эф}$, Pa·s
		Показатель консистенции жидкости K , Па·с ^m / Liquid consistency index K , Pa·s ^m	Показатель нелинейности n / Nonlinearity index n	
Вода / Water	15	0,001	1	0,001
1 %-й раствор КМЦ / 1% solution of CMC	25	0,05	0,8	0,028
1,5 %-й раствор КМЦ / 1.5% solution of CMC	35	0,14	0,7	0,043
Раствор ПАЦ / Solution PAC	35	0,41	0,5	0,056
Раствор глицерина / Glycerin solution	25	0,009	1,0	0,009
Раствор глицерина / Glycerin solution	35	0,015	1,0	0,015

Примечание. КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза, ПАЦ – полианионная целлюлоза.
Note. CMC – carboxymethyl cellulose, PAC – polyanionic cellulose.

Таблица 2

Вязкость водных растворов глицерина

Table 2

Viscosity of aqueous solutions of glycerin

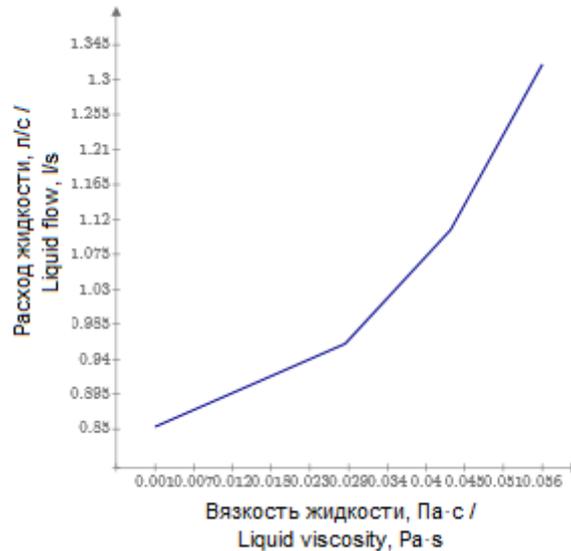
Удельный вес, г/см ³ / Specific weight, g/sm ³	Весовой процент глицерина / Weight percentage of glycerin	Вязкость, спз (25 °С) / Viscosity, centipoise
1,20925	80	45,72
1,12720	50	5,024
1,06115	25	1,805
1,02370	10	1,149

Архимеда больше у раствора глицерина, что и определяет положительный эффект в выносной способности водного раствора глицерина.

Можно показать, насколько эффективна в данном случае разность плотностей рассматриваемых растворов в выносной способности циркулирующей жидкости по предложенному авторами параметру оптимизации: минимальный расход жидкости, при котором не происходит осаждения твердой фазы. Для

этого необходимо принять установленный многими авторами факт отрицательного влияния вязкости растворов на их выносную способность при турбулентном режиме циркулирующей жидкости.

С этой целью построим по данным авторов график влияния вязкости на установленный ими же параметр оптимизации, взятый из построенного авторами графика при максимальном эксцентриситете (рисунок).



Влияние вязкости жидкости на ее выносную способность

Линией обозначена величина расхода жидкости, при котором не образуется осадка на нижней стенке

Effect of liquid viscosity on its carrying capacity

The line indicates the amount of fluid flow under which the precipitate on the bottom wall is not formed

Из графика видно, что с увеличением вязкости расход, требуемый для обеспечения отсутствия осадка шлама, растет.

Далее, опираясь на тот же параметр оптимизации, что выдвинули авторы, оценим эффективность архимедовой силы. Необходимо отметить, что водный раствор глицерина вязкостью 0,015 Па·с имеет удельную вязкость, равную 14, показывающую, во сколько раз увеличивается вязкость растворителя при добавлении к нему полимера, не говоря уже о растворах КМЦ и ее производных.

Сравнение уменьшения расхода только за счет изменения плотности производится с водой (растворителем). При использовании воды ее расход должен быть не менее 0,853 л/с, чтобы не образовывалось осадка при ее циркуляции. Раствор глицерина вязкостью 0,015 должен течь с производительностью не менее 0,57 л/с (данные берутся из тех же графиков, предложенных авторами). Но этот раствор имеет повышенную вязкость по сравнению с водой. Повышение

вязкости воды до 0,015 Па·с по нашему графику влечет повышение требуемого расхода на 0,063 л/с, то есть увеличение плотности растворителя на 114 кг/м³ без роста вязкости потребует расход жидкости, равный 0,51 л/с для невыпадения осадка. Разница в расходах 0,853 - 0,51 = 0,343 л/с, выраженная в процентах, составит эффективность изменения плотности жидкости без изменения ее вязкости.

Заключение

Выявлено, что водные растворы глицерина в качестве промывочных жидкостей увеличивают их выносную способность благодаря большей плотности по сравнению с растворами КМЦ. Таким образом, при постановке подобных экспериментов, определяющих несущую способность буровых растворов, необходимо ставить с учетом не только реологических параметров жидкости, но и ее плотности, для этого можно использовать приведенную вязкость растворов с переводом ее значений в значения плотности.

Библиографический список

1. P.G. Saffman. The Lift on a Small Sphere in a Slow Shear Flow" // Journal of Fluid Mechanics. 1965. № 22. P. 385.

2. Архипов В.А., Усанина А.С. Движение аэрозольных частиц в потоке. Томск: Изд-во ТГУ, 2013. 92 с.

3. Федосеев В.Б. Выталкивающая сила, действующая на частицу,двигающуюся в ламинарном потоке вместе со

средой // Вестник научно-технического развития. 2011. № 9 (49). С. 14–20.

4. Акбулатов Т.О., Исмаков Р.А., Хабibuлин И.А. [и др.]. К вопросу о влиянии реологических параметров промывочной жидкости на транспорт шлама по стволу горизонтальной скважины // Территория НЕФТЕГАЗ. 2012. № 4. С. 12–15.

References

1. P.G. Saffman. The Lift on a Small Sphere in a Slow Shear Flow". Journal of Fluid Mechanics, 1965, no. 22, pp. 385.

2. Arkhipov V.A., Usanina A.S. *Dvizhenie aerazol'nykh chastits v potoke* [Aerosol particles motion in flow]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 2013, 92 p. (In Russian).

3. Fedoseev V.B. Buoyancy force acting on a particle moving in a laminar flow

together with the media. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Bulletin of scientific and technological development], 2011, no. 9 (49), pp. 14–20. (In Russian).

4. Akbulatov T.O., Ismakov R.A., Khabibulin I.A. To the question of washing liquid rheological parameters effect on slurry transport along the horizontal wellbore. *Territoriya NEFTEGAZ* [Oil and Gas Territory], 2012, no. 4, pp. 12–15. (In Russian).

Критерии авторства

Ламбин А.И. написал статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Lambin A.I. has written the article, has all author's rights and bear the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declares that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Оригинальная статья / Original article

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-2-118-125>

ВИКТОР ДАВЫДОВИЧ МАЦ – К 91-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

© А.П. Кочнев^а, Р.М. Лобацкая^б

^{а,б}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Информация о статье. Дата поступления 20 июня 2018 г.; дата принятия к печати 22 июня 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Кочнев А.П., Лобацкая Р.М. Виктор Давыдович Мац – к 91-летию со дня рождения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 2. С. 118–125. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-118-125

VIKTOR DAVYDOVICH MATZ – ON THE 91TH BIRTH ANNIVERSARY

© A.P. Kochnev, R.M. Lobatskaya

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federation

Article info. Received 20 June 2018; accepted for publication 22 June 2018; available online 29 June 2018.

For citation. Kochnev A.P., Lobatskaya R.M. Viktor Davydovich Matz – on the 91th birth anniversary. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2018, vol. 41, no. 2, pp. 118–125. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-2-118-125. (In Russian).

10 августа 2018 г. доктору геолого-минералогических наук, профессору Иркутского национального исследовательского технического университета **Виктору Давыдовичу Мацу** исполнился бы 91 год.

После окончания в 1949 г. Черновицкого государственного университета В.Д. Мац был направлен в Иркутское геологическое управление и назначен геологом Ольхонской геологоразведочной экспедиции. Это и определило его производственный и творческий путь.

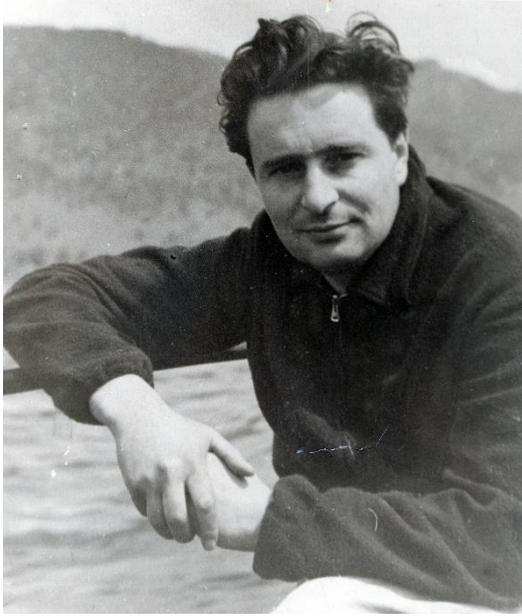
Вся его профессиональная деятельность тесно связана с Байкалом. Геология Прибайкалья на долгие годы стала основным объектом его научных исследований. В Прибайкалье он начал свои первые геологические маршруты, работал начальником партии и главным геологом экспедиции, участвовал в геологической съемке и поисках масштабов 1:200000 и 1:50000. Он автор и редактор ряда листов Государственной геологической карты СССР масштаба 1:200000 Западного и Северного Прибай-

^аКочнев Анатолий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геологии, тел.: 8 (3952) 405114, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

Anatoly P. Kochnev, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Applied Geology, tel.: 8 (3952) 405114, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

^бЛобацкая Раиса Моисеевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой геммологии, тел.: 8 (3952) 405115, e-mail: lobatskaya@gmail.com

Raisa M. Lobatskaya, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, Head of the Gemology Department, tel.: 8 (3952) 405114, e-mail: lobatskaya@gmail.com



калья, один из авторов первой геологической карты Иркутской области (1964).

Долгое время Виктор Давыдович изучал геологическое строение Прибайкалья: сначала в процессе проведения геологической съемки, а затем при научных исследованиях как сотрудник Иркутского государственного университета, Института земной коры СО РАН и Лимнологического института СО РАН, Иркутского политехнического института (позднее Иркутского государственного технического университета, ныне Иркутского национального исследовательского технического университета).

В техническом университете Виктор Давыдович проработал более 20 лет профессором, заведующим кафедрой общей геологии, а затем заведующим кафедрой геологической съемки, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, где читал курсы общей и региональной геологии, геотектоники и геодинамики, руководил геологическими практиками, дипломным проектированием.

Его научные интересы охватывали широкий круг вопросов геологии – от стратиграфии глубокометаморфизованных толщ докембрия Прибайкалья до процессов кайнозойского рифтогенеза,

геодинамики, неотектоники, стратиграфии и геоэкологии этого уникального региона Земли.

По материалам исследований докембрийских комплексов Прибайкалья в 1965 г. им подготовлена и защищена в Новосибирском государственном университете кандидатская диссертация на тему «Верхний докембрий Западного Прибайкалья и западной окраины Северо-Байкальского нагорья (стратиграфия, геологическая история)».

Результаты исследований кайнозойских комплексов Байкальской горной области обобщены В.Д. Мацем в его докторской диссертации «Кайнозой Байкальской рифтовой впадины», которую он защитил в 1987 г. в Институте земной коры СО АН СССР.

Широкий научный кругозор Виктора Давыдовича и весомые результаты его исследований позволили ему стать ведущим исследователем геологии Прибайкалья, широко известным не только в нашей стране, но и за рубежом.

Он был постоянным членом межведомственного стратиграфического комитета СССР (по секции докембрия и четвертичной системы). В 1990 г. возглавил многолетние исследования, проводившиеся международным коллективом ученых из Иркутского политехнического института, Китайского геологического университета в Пекине и Ухане, Китайской академии наук по сравнительной характеристике континентальных рифтовых зон – Байкальской и провинции Шанси. В течение нескольких лет научные коллективы этих организаций осуществляли экспедиционное изучение на территории российской и китайской рифтовых зон, результаты которых были опубликованы в крупной монографии, написанной этим международным коллективом и изданной в Китае.

В.Д. Мац неоднократно участвовал в международных геологических конгрессах в Москве, Праге, Вашингтоне,

Пекине, а также в Бельгии, Японии, Израиле. Готовил объекты и был гидом полевой геологической экскурсии на Байкал во время Международного конгресса по четвертичной геологии (INQVA). В течение десяти лет читал лекции в Китайском геологическом университете в Пекине и Ухане, многократно выступал с докладами в Геологическом институте Сейсмологического бюро Китайской академии наук.

Виктор Давыдович активно участвовал в подготовке специалистов высшей квалификации, был членом Диссертационных советов Иркутского государственного технического университета и Института земной коры СО РАН по защитах кандидатских и докторских диссертаций, руководил аспирантурой. Под его руководством защищено более десяти кандидатских диссертаций.

Он постоянно занимался общественной работой и пропагандой научно-технических знаний, организовывал и возглавлял семинары и конференции, выступал на них с докладами.

В.Д. Мац – заслуженный деятель науки Российской Федерации, за трудовые достижения был награжден почетными грамотами президиума Академии наук СССР, Сибирского отделения Российской академии наук, медалью «Ветеран труда». Имел гранты Российского фонда фундаментальных исследований, дважды был удостоен почетного звания соросовский профессор, являлся дипломантом Всесоюзного географического общества, действительным членом Нью-Йоркской академии наук, членом-корреспондентом Российской академии естественных наук.

Яркая, плодотворная, до предела наполненная жизнь Виктора Давыдовича Маца навсегда останется в памяти его коллег и учеников лучшим примером преданности науке в области как геологии, так и обеспечения экологической безопасности уникального природного

объекта – озера Байкал, изучению которого он посвятил свою жизнь.

В.Д. Мац – автор более 200 научных работ, включая монографии, статьи и другие работы, опубликованные в различных изданиях, в том числе зарубежных. Его последняя статья вышла из печати в журнале «Природа» за несколько недель до его ухода из жизни, а фотография байкальского побережья – любви и дела всей его жизни – украсила обложку последнего для него номера журнала.

На помещенной в этой статье фотографии В.Д. Мац запечатлен в одной из давних байкальских полевых экспедиций. Незадолго до ухода из жизни он прислал ее нескольким своим друзьям с припиской: «Хочу в Вашей памяти навсегда быть таким». Когда-то Микеланджело, закончив капеллу Медичи, на упрек: «Лоренцо недостаточно похож на себя», – ответил: «Кто через сто лет будет помнить, как он выглядел?» Люди уходят, не внешность будоражит память потомков, а оставленное нам нетленное интеллектуальное наследие. В нем – вечная память и искренняя благодарность за отданное людям.

Наиболее значимые работы В.Д. Маца:

Мац В.Д., Егорова О.И., Бабкин А.К. О находках фосфоритов в верхнепротерозойских отложениях Западного Прибайкалья // Доклады Академии наук СССР. 1956. Т. 110. № 2. С. 24–36.

Мац В.Д., Егорова О.П. Стратиграфия Байкальского комплекса и некоторые данные по его фосфоритности // Материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Сибири. Вып. 1 (XXII). Иркутск: Изд-во ИГУ, 1957. С. 47–58.

Мац В.Д. Протерозой Западного Прибайкалья, стратиграфия // Геология СССР. Т. XVII. М.: Недра, 1962. С. 77–101.

Мац В.Д. Бухаров А.А. К стратиграфии верхнего докембрия западной

Байкальской горной области // Стратиграфия докембрия и кембрия Средней Сибири: труды межведомственного совещания по разработке унифицированных схем докембрия Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1967. С. 339–349.

Мац В.Д., Егорова О.П. Стратиграфия и некоторые литологические особенности терригенно-вулканических толщ Северо-Байкальского вулканического пояса // Материалы по геологии и геофизике Сибирской платформы. Вып. 1. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1968. С. 116–139.

Мац В.Д. Докембрийские коры выветривания Сибири и Русской платформы // Доклады Академии наук СССР. 1971. Т. 200. № 3. С. 682–685.

Мац В.Д., Белова В.А. Новые данные о стратиграфии кайнозойских отложений Северного Байкала // Геологические и гидрологические исследования озер Средней Сибири. Листвничное на Байкале: Изд-во Лимнологического института СО РАН, 1973. С. 26–31.

Мац В.Д., Покатилов А.Г. Стратиграфия кайнозоя средней части Байкальской впадины // Геология и полезные ископаемые Сибири. Стратиграфия и палеонтология. Т. 1. Томск: Изд-во ТПИ, 1974. С. 102–103.

Мац В.Д. Байкальские террасы низкого комплекса // Природа Байкала. Л.: Изд-во Лимнологического института СО РАН, 1974. С. 31–56.

Мац В.Д., Галкин В.И., Мизандронцев И.Б. Песчаная свита и возраст Байкальской впадины // Проблемы рифтогенеза: материалы к симпозиуму по рифтовым зонам Земли. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 1975. С. 45–46.

Мац В.Д., Корнутова Е.И., Покатилов А.Г., Бабанский В.Н., Белова В.А. К стратиграфии четвертичных отложений Северного Байкала // Динамика Байкальской впадины. Новосибирск: Наука, 1975. С. 258–273.

Мац В.Д., Кравчинский А.Я. Палеомагнитная и палеонтологическая харак-

теристика неоген-четвертичных отложений оз. Байкал и Околобайкалья // Главное геомагнитное поле и проблемы палеомагнетизма: тез. докл. X Всесоюзн. съезда по геомагнетизму. Ч. 1. М.: Наука, 1976. С. 62–66.

Павлов С.Ф., Кашик А.С., **Мац В.Д.** [и др.]. Кайнозойские коры выветривания и осадочные формации Западного Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1976. 160 с.

Мац В.Д., Покатилов А.Г. Кайнозойские отложения о. Ольхон на Байкале // Геология и геофизика. 1976. № 11. С. 55–67.

Мац В.Д., Шимараева М.К., Ломоносова Т.К. Особенности кайнозойского континентального осадконакопления на о. Ольхон // Континентальный литогенез. Новосибирск: Наука, 1976. С. 123–135.

Мац В.Д., Покатилов А.Г. Стратиграфия четвертичных отложений в береговой полосе озера Байкал // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1976. № 3. С. 133–139.

Мац В.Д., Покатилов А.Г. Стратиграфия кайнозойских отложений средней части Байкальской впадины (о. Ольхон) // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1976. № 4. С. 133–137.

Мац В.Д., Плешанов С.П., Покатилов А.Г., Ромазина А.А. Стратиграфия кайнозоя и неотектоника центральной части Байкальского рифта // Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых. 1980. С. 33–45.

Мац В.Д., Покатилов А.Г., Попова С.М., Кравчинский А.Я., Кулагина Н.В., Шимараева М.К. Плиоцен и плейстоцен Среднего Байкала. Новосибирск: Наука, 1982. 192 с.

Мац В.Д. Новые данные по стратиграфии миоценовых и плиоценовых отложений на юге Байкала // Вопросы геологии и палеогеографии Сибири и Дальнего Востока. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1985. С. 36–53.

Мац В.Д. Протерозойские отложе-

ния зоны сочленения Сибирской платформ и Байкальской горной области // Проблемы стратиграфии раннего докембрия Средней Сибири. М.: Наука, 1986. С. 30–38.

Кононов Е.Е., **Мац В.Д.** История формирования стока вод Байкала // Известия вузов. Геология и разведка. 1986. № 6. С. 91–98.

Мац В.Д. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: дис. ... д-ра геолог.-минералог. наук. Иркутск: Изд-во ИПИ, ИЗК АН СССР, 1986. 523 с.

Мац В.Д., Александров В.К., Мазукабзов А.М. Надвиги и их роль в геологической структуре западной окраины Байкальской горной области // Геология, тектоника, петрология и рудоносность докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Иркутск: Изд-во ИЗК СО АН СССР, 1987. С. 153–159.

Мац В.Д. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: автореф. дис. ... д-ра геолог.-минералог. наук. Иркутск: Изд-во ИЗК СО АН СССР, 1987. 42 с.

Воробьева Г.А., **Мац В.Д.**, Шимараева М.К. Плиоцен-эоплейстоценовое почвообразование на Байкале // Геология и геофизика. 1987. № 9. С. 20–28.

Александров В.К., **Мац В.Д.**, Мазукабзов А.М. Надвиги в бассейне р. Иликты (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 1988. № 9. С. 11–18.

Мац В.Д., Воробьева Г.А., Попова С.М. Стратиграфия плиоцен-четвертичных отложений Байкальской впадины и основные геологические события // Четвертичный период: стратиграфия. М.: Наука, 1989. С. 131–138.

Попова С.М., **Мац В.Д.**, Черняева Г.П. [и др.]. Палеолим-нологические реконструкции: Байкальская рифтовая зона. Новосибирск: Наука, 1989. 111 с.

Мац В.Д. Происхождение и развитие Байкальской впадины // История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / под ред. Д.Д. Квасова, Г.Г. Мартинсона, А.В. Раукаса. Л.: Наука, 1990. С. 165–191.

Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression. Irkutsk: BAICER, 1992. 78 p.

Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression // Earth – Science Review. 1993. Vol. 34. P. 81–118.

Хатчинсон Д.Р., Гольмшток А.Ю., Зоненшайн Л.П., **Мац В.Д.** [и др.]. Особенности строения осадочной толщи озера Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 10–11. С. 25–36.

Мац В.Д., Тимошкин О.А., Гранина Л.З. [и др.]. Совещание Байкальского международного центра экологических исследований (БМЦЭИ) // Геология и геофизика. 1993. № 4. С. 146–152.

Мац В.Д., Кульчицкий А.А., Базаров Д.Б., Резанов И.А. Карта кайнозойских отложений // Атлас Байкала. М.: Изд-во РАН, ФСГК, 1993. С. 28–29.

Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression. Earth – Science Reviews. 1993. Vol. 34. P. 81–118.

Зоненшайн Л.П., Казьмин В.Г., Кузьмин М.И., Добрецов Н.Л., Баранов Б.В., Кононов М.В., **Мац В.Д.**, Балла З., Фиалков В.А., Харченко В.В. Геология дна Байкала, изученная с подводных аппаратов «Пайсис» // Доклады Российской академии наук. 1993. Т. 330. № 1. С. 84–88.

Мац В.Д. Маломорский рифт как модель ранних этапов развития континентальных рифтов // Байкал и горы вокруг него: тез. докл. иркутского геоморфологического семинара. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 1994. С. 32–34.

Мац В.Д., Кульчицкий А.А. Свидетельства новейшей тектоники в Байкальской рифтовой зоне // Байкал и горы вокруг него: тез. докл. иркутского геоморфологического семинара. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 1994. С. 23–25.

Воробьева Г.А., **Мац В.Д.**, Шимараева М.К. Палеоклиматы позднего кайнозоя Байкальского региона // Геология и

геофизика. 1995. Т. 36 (8). С. 82–96.

Воробьева Г.А., **Мац В.Д.**, Шимараева М.К. Палеоклиматы позднего миоцена, плиоцена и эоплейстоцена // Геология и геофизика. 1995. Т. 38. № 8. С. 82–96.

Мац В.Д. Развитие Байкальской впадины: хронология трансформаций зоогеографических барьеров // Вторая Междунар. Верещагинская конф.: тез. докл. Иркутск, 1995. С. 130–131.

Mats V.D. Is the Baikal depression a rift // 5th Zonenshain conference on plate tectonics. Abstract. GEOMAR. Research Center for Marine Geosciences, Christian Albrachts-Universitat, KIEL, Germany, 1995. P. 158–159.

Mats V.D. Rifean rift genesis on Southern Boundaries of Sibiria. GEOMAR. Research Center for Marine Geosciences, Christian Albrachts-Universitat, KIEL, Germany, 1995. С. 159.

Кашик С.А., Ломоносова Т.К., **Мац В.Д.** Аутигенный дравит в палеогеновых глинах Прибайкалья // Доклады Академии наук. 1999. Т. 369. № 5. С. 671–673.

Mats V.D., Khlystov O.M., De Batist M., Ceramicola S., Lomonosova T.K., Klimansky A.V. Evolution of the Academician Ridge Accommodation Zone in the central part of the Baikal Rift, from high-resolution reflection seismic profiling and geological field investigations // International Journal of Earth Sciences. 2000. Vol. 89. № 2. P. 229–250.

Mats V.D., Fujii S., Mashiko K., Osipov E.Jr., Yefimova I.M., Klimansky A.V. Changes of Baikal water levels and runoff direction in the Quaternary period // Lake Baikal / ed. K. Minoura. 2000. P. 15–34.

Хлыстов О.М., **Мац В.Д.**, Марк де Батист. Юго-западное окончание Северо-Байкальской впадины: геологическое строение и корреляция с кайнозойскими разрезами о. Ольхон и кернами BDP-96 и BDP-98 // Геология и геофизика. 2001. Т. 42 (1–2). С. 373–383.

Александров В.К., Сизых В.И., **Мац**

В.Д., Бухаров А.А. Новые данные о покровном строении Байкальского хребта // Доклады Российской академии наук. 2001. Т. 380. № 4. С. 511–516.

Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М., Алакшин А.М., Поспеев А.В., Шимараев М.Н., Хлыстов О.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Гео, 2001. 252 с.

Мац В.Д., Фудзии Ш., Машико К., Гранина Л.З., Осипов Э.Ю., Ефимова И.М., Климанский А.В. К палеогидрологии Байкала в связи с неотектоникой // Геология и геофизика. 2002. Т. 43 (2). С. 142–154.

Mats V.D., Fujii S., Mashiko K. [et al.]. Paleohydrology of Lake Baikal in relation to neotectonics // Russian Geology and Geophysics. 2002. Vol. 43. № 2. P. 129–142.

Александров В.К., Сизых В.И., Бухаров А.А., **Мац В.Д.** Тектонические покровы Южной части Байкальского хребта // Геотектоника. 2003. № 4. С. 35–50.

Yefimova I.M., **Mats V.D.** Change of Baikal level substantiated by analysis of terraces // Berliner Paleo-biologische Abhandlungen. Berlin, 2003. Band 4. P. 77–87.

Mats V.D., Lomonosova T.K., Vorobyova G.A., Granina L.Z. Upper Cretaceous-Cenozoic clay minerals of the Baikal region (eastern Siberia) // Applied Clay Science. 2004. Vol. 24. № 3–4. P. 327–336.

Международный проект «Байкал-бурение». Высокорастворимая осадочная запись из нового керна BDP-99 глубоководного бурения на Посольской банке в озере Байкал // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 2. С. 163–193.

Mats V.D., Lobatskaya R.M., Khlystov O.M. Evolution of faults in a continental rift: morphotectonik evidence from the southwestern termination of the North Baikal basin // Earth Science Frontiers. 2007. Vol. 14. № 1. P. 207–219.

Мац В.Д., Лобацкая Р.М., Хлыстов О.М. Механизм разрастания Байкальской впадины в ходе эволюции прибортовых

морфоструктур // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле: материалы науч.-практ. конф. (Листвянка, 18–20 марта 2008 г.). Новосибирск, 2008. С. 141–154.

Мац В.Д., Ефимова И.М. Морфоструктура западного поднятого плеча Байкальского рифта // Геоморфология. 2010. № 1. С. 67–76.

Гранина Л.З., **Мац В.Д.**, Федорин М.А. Железомарганцевые образования в регионе озера Байкал // Геология и геофизика. 2010. Т. 51 (6). С. 835–848.

Мац В.Д. Этапы развития Байкальского рифта: стратиграфия и литология отложений // Кайнозойский континентальный рифтогенез: материалы Всерос. симпозиума, посвящ. памяти Н.А. Логачева. Т. 1. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. С. 227–230.

Мац В.Д., Ефимова И.М. Морфоструктура западного поднятого плеча Байкальского рифта // Геоморфология. 2010. № 1. С. 67–76.

Мац В.Д., Кульчицкий А.А., Ефимова И.М. Древние долины Западного Прибайкалья // Геоморфология. 2010. № 2. С. 91–101.

Мац В.Д., Ломоносова Т.К., Воробьева Г.А., Вологина Е.Г. Позднемеловые-кайнозойские отложения Байкальской рифтовой впадины в связи с меняющимися природными обстановками // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 1. С. 75–86.

Мац В.Д. Геологические факторы формирования уникального биоразнообразия экосистемы Байкала // Справочники и определители по фауне и флоре озера Байкал и его водосборного бассейна. Т. 2. Новосибирск: Наука, 2010–

2011. С. 1008–1020.

Мац В.Д., Ефимова И.М. Палеогеографический сценарий позднего мела – кайнозоя центральной части Байкальского региона // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 6. С. 175–193.

Мац В.Д. Геологические факторы формирования уникального биоразнообразия оз. Байкал // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / ред. О.А. Тимошкин. Т. II. Кн. 2. Новосибирск: Наука, 2011. С. 1406–1419.

Mats V.D., Perepelova T.I. A new perspective on evolution of the Baikal Rift // Geoscience Frontiers. 2011. Vol. 2. № 3. P. 349–365.

Мац В.Д., Щербаков Д.Ю., Ефимова И.М. Позднемеловая – кайнозойская история Байкальской впадины и формирование уникального биоразнообразия Байкала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 4. С. 40–61.

Мац В.Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 9. С. 1219–1244.

Мац В.Д. Стратиграфия отложений позднего мела – кайнозоя Байкальского рифта // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. Т. 21. № 6. С. 72–81.

Мац В.Д. Байкальский рифт: плиоцен (миоцен) – четвертичный период или продукт длительного развития с позднего мела под воздействием различных тектонических факторов. Обзор представлений // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 4. С. 467–489.

Мац В.Д., Ефимова И.М. Геологическая история Байкала // Природа. 2017. № 3 (1219). С. 13–27.

Критерии авторства

Кочнев А.П., Лобацкая Р.М. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Kochnev A.P., Lobatskaya R.M. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Уважаемые коллеги!

1. В журнале публикуются статьи по следующей тематике:
 - геологическое строение рудных, нерудных, в том числе горючих, месторождений полезных ископаемых (вмещающие комплексы пород, связь оруденения с магматизмом, метаморфизмом, осадконакоплением);
 - тектоника месторождений, рудных узлов, районов;
 - минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых;
 - генетические проблемы формирования месторождений полезных ископаемых;
 - минерагения (металлогения): рудные зоны, районы, пояса, металлогенические карты;
 - методы и методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых;
 - экономическая оценка месторождений полезных ископаемых, правовые основы недропользования;
 - физико-геологические модели месторождений полезных ископаемых;
 - геофизические, геохимические и другие методы поисков месторождений полезных ископаемых;
 - геоинформационные технологии в науках о Земле;
 - технология и техника горно-буровых работ;
 - технология и техника разработки месторождений полезных ископаемых;
 - технология обогащения и переработки минерального сырья;
 - геммология;
 - гидрогеология и инженерная геология;
 - безопасность жизнедеятельности;
 - геоэкология.
2. Статьи принимаются от авторов, работающих в российских и иностранных вузах, академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, а также производственных горно-геологических организациях.
3. Объем статьи должен быть не более 15 с. машинописного текста, включая библиографический список, таблицы и иллюстрации.
4. Статьи принимаются ответственным секретарем в электронном виде в формате Microsoft Word для Windows на CD-диске или по электронной почте geo_info@istu.edu. В обязательном порядке в ауд. Ж-04 предоставляется два экземпляра в распечатанном виде на листах формата А4. Электронный и печатный варианты должны быть полностью идентичны. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта – 14 (строки через 1,0 интервал), перенос слов – автоматический. Параметры страницы: отступы сверху, снизу, слева и справа – 2,5 см, абзацный отступ – 1 см, ориентация страницы – книжная.
5. В структуру статьи должны входить: индекс УДК, название статьи, фамилия, имя, отчество авторов, название учреждения, где выполнена работа, аннотация и ключевые слова на русском и по возможности английском языках, введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, библиографический список и references, критерии авторства (вся информация предоставляется одним файлом).
6. Аннотация по объему должна быть 200–250 слов и композиционно содержать следующие разделы с их наименованиями: цель, методы, результаты, выводы.
7. Статья должна сопровождаться актом экспертизы, сведениями обо всех авторах (название вуза, организации, учреждения, должность и структурное подразделение, наличие ученой степени, ученого звания, контактные рабочие (для публикации) и сотовый

(по возможности для связи) телефоны, почтовый и электронный адреса) на русском и английском языках. Образец оформления первого разворота статьи приводится ниже.

8. Текст статьи формируется в одну строку. Рисунки и таблицы помещаются в тексте непосредственно после абзаца с первой ссылкой на них.

9. Формулы в тексте должны быть набраны в специальном редакторе формул, например MathType или Microsoft Equation Editor. Все экспликации элементов формул необходимо также выполнять в редакторе формул.

10. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком. Формат таблиц – книжный, направление шрифта – по горизонтали. Дополнительно должны приводиться переводы названий таблиц на английский язык.

11. Графические материалы к статье (рисунки и фотографии) представляются в минимальном количестве (не более 5 рисунков). Они должны быть выполнены чисто и аккуратно в соответствии с требованиями к геологической графике, в оттенках черно-серого цвета. Масштаб их должен быть пригодным для тиражирования, а размер – не более 160×245 мм. Графические материалы должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Каждый рисунок должен иметь подпись (под рисунком), в которой дается объяснение всех его элементов. В электронном варианте статьи рисунки дополнительно предоставляются в виде отдельных файлов с расширением *JPEG. Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу Microsoft Office Excel. Дополнительно должны приводиться переводы названий рисунков на английский язык.

12. Ссылки на литературные источники приводятся в тексте в квадратных скобках в порядке возрастания. Библиографический список формируется по мере обращения к источникам литературы. Минимальное количество источников в библиографическом списке – не менее 12. При этом самоцитирование автора не должно превышать 30 % от общего количества источников, не допускаются ссылки на диссертации и авторефераты. Желательно ссылаться на оригинальные источники (первоисточники), на статьи и монографии по данной тематике, на публикации из высокорейтинговых источников. Редакционная коллегия рекомендует в списке литературы ссылаться на статьи из журналов по глобальным индексам цитирования (Scopus, Web of Science – не менее 3 источников); кроме того, рекомендуем ознакомиться с трудами ученых ИРНТУ по тематике работы, это можно сделать на сайте журнала или в системе РИНЦ, осуществив поиск по ключевым словам. Также в списке литературы должно быть не менее 30 % ссылок на иностранные источники.

13. Список литературы составляется в двух вариантах*.

Первый вариант (библиографический список) оформляется на языке источника в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008.

Второй вариант (References) оформляется в виде транслитерации русского текста в латиницу с переводом на английский язык и служит для отслеживания цитируемости авторов. Он оформляется в том же порядке, что и в библиографическом списке. На сайте translit.net можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста на латиницу. В вариантах транслитерации необходимо предварительно выбрать вариант BSI.

*В библиографическом описании статьи необходимо указывать всех авторов, не сокращая их на трех, четырех. Правильное описание используемых источников является залогом того, что цитируемая публикация будет учтена при оценке научной деятельности ее авторов (и, соответственно, организации, региона, страны). По цитированию журнала определяется его научный уровень, авторитетность, эффективность деятельности его редакционного совета и т.д.

Для русскоязычных статей из журналов, сборников, материалов конференций следует использовать следующий вариант структуры библиографической ссылки: авторы (транслитерация), перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках, название источника (транслитерация и перевод на английский язык в квадратных скобках), выходные данные с обозначениями на английском языке. Перевод названия статьи на английский язык обязательно должен соответствовать опубликованному переводу в цитируемом журнале, если таковой имеется. Описание статей, материалов конференций и книг на русском языке заканчиваются описанием языка источника (для русского – In Russian). Если есть, обязательно указывается DOI.

Описание нормативных документов необходимо приводить в транслитерации и в переводе на английский язык в квадратных скобках.

В иных источниках также в дополнение к транслитерации приводится перевод названия источника на английский язык, место издания обязательно должно быть переведено, название издательства остается транслитерированным и обозначается добавлением слова Publ. В получившемся описании заменяются обязательные элементы – «том» на «vol.», «№» на «no.», «с.» на «p.» (для общего количества страниц) и «pp.» для диапазона страниц.

Ссылки на источники на иностранном языке приводятся без изменения.

Примеры оформления источников в References можно посмотреть на нашем сайте в разделе «Требования к статьям».

14. Статья должна быть подписана всеми авторами (количество авторов должно быть не более пяти). Подписи авторов заверяются в канцелярии учреждения или вуза. Статьи аспирантов и магистрантов должны быть подписаны научным руководителем.

15. Желательно, чтобы к статье были приложены выписка из протокола заседания кафедры (лаборатории) о рекомендации публикации статьи и рецензия одного из членов редколлегии журнала.

16. Авторы статей, публикуемых в сборнике, обязуются содействовать его популяризации в своих организациях и содействовать подписке.

17. Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям. Поступающие в редакцию материалы возврату не подлежат.

18. Редакция оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

19. Представленные статьи проходят проверку на антиплагиат.

20. Журнал выпускается с периодичностью 4 номера в год.

Внимание! Публикация статей является бесплатной, включая один авторский экземпляр. Стоимость каждого дополнительного экземпляра журнала – 300 рублей.

Статьи, опубликованные в журнале «Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых», реферируются и рецензируются.

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей.

По вопросам публикации обращаться по адресу: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Иркутский национальный исследовательский технический университет, редколлегия, аудитория Е-310:

главный редактор Снетков Вячеслав Иванович, тел.: (3952) 405273, e-mail: snetkov@istu.edu

Статьи необходимо направлять ответственному секретарю Храмовских Виталию Александровичу, тел.: (3952) 405069, e-mail: geo_info@istu.edu, аудитория Ж-04.

Образец оформления статьи

УДК 549.09

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУД ТОМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© Е.М. Курчевская^а, М.В. Яхно^б, А.Е. Сенченко^с

^{а,с}НИИПИ «Технологии обогащения минерального сырья»,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83а.

^бИркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ. Цель. Исследование технологических типов руд Томинского месторождения меди. Изучение минерального состава вмещающих пород и руд каждого из трех типов. Выявление минералогических и структурно-текстурных особенностей руд. Выявления взаимосвязи изменения рудной минерализации и степени метаморфизма для каждого типа руд. **Методы.** Рудные тела Томинского медно-порфирового месторождения, залегающие в диоритах и кварцевых диоритах, представляют собой прожилковые и прожилково-вкрапленные скопления в зонах дробления. На месторождении широко развиты метасоматиты кварц-серицитовой формации. Изучение типов руд проводилось с использованием микроскопов. **Результаты.** Выделено три геолого-технологических типа руд в пределах Томинского месторождения. Первый тип представлен первичными сульфидными рудами, которые наблюдаются в среднем ниже глубины 50–55 м. По составу это хлорит-мусковит-кварцевые метасоматиты. Вмещающие породы представлены серицитизированными, хлоритизированными и карбонатизированными диоритами. В составе руд преобладают халькопирит и пирит. Практически вся медь содержится в халькопирите. Второй тип – это рудные зоны вторичного сульфидного обогащения. Этот тип сложен первичными и вторичными сульфидами меди. Все породы аргиллизированные и представлены метасоматитами различного состава. Все виды пород несут в себе рудную минерализацию. К третьему типу относятся окисленные руды, которые образуют зону окисления месторождения. Они делятся на три подтипа: глинистые, глинисто-щелочистые и щелочистые руды. Глинистые руды залегают в самых верхних частях коры выветривания, глинисто-щелочистые руды слагают центральную ее часть, а руды в щелочистых образованиях отмечены в нижних горизонтах. Представлено петрографическое описание каждого из типов. Выявлены минералогические и структурно-текстурные особенности руд. В результате изучения петрографического состава каждого типа руд установлена различная степень метаморфизма и вследствие этого – изменение рудной минерализации. **Выводы.** Прослеживается влияние метасоматических процессов, изменивших строение и минеральный состав руд. Для первого типа руды характерно наличие первичных пород – диоритов с насыщенной сульфидной вкрапленностью и с незначительными метасоматическими изменениями. В зоне вторичного обогащения породы претерпели интенсивное метасоматическое изменение. Породы этой зоны насыщены гидроксидами железа. Для зоны интенсивного выветривания характерны глинистые и хлоритизированные породы. Рудная минерализация представлена исключительно окисленными минералами. Сульфиды единичны. Различия в минеральном составе трех типов руд влияют на выбор способов переработки руды в пределах Томинского месторождения.

Ключевые слова: Томинское месторождение, медно-порфировое оруденение, метаморфизм, технологические типы руд.

Формат цитирования. Курчевская Е.М., Яхно М.В., Сенченко А.Е. Минералого-технологические типы руд Томинского месторождения меди (Южный Урал) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 3. С. 42–47.

^аКурчевская Елена Михайловна, старший научный сотрудник, e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru
Elena M. Kurchevskaya, Senior Researcher, e-mail: kurchevskaya@tomsgroup.ru

^бЯхно Марина Владиславовна, старший преподаватель кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, e-mail: ymar@istu.edu
Marina V. Yakhno, Senior Lecturer of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, e-mail: ymar@istu.edu

^сСенченко Аркадий Евгеньевич, генеральный директор, e-mail: senchenko@tomsgroup.ru
Arkady E. Senchenko, CEO, e-mail: senchenko@tomsgroup.ru

MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL TYPES OF TOMINSKOYE DEPOSIT COPPER ORES (SOUTHERN URAL)

E.M. Kurchevskaya, M.V. Yakhno, A.Y. Senchenko

NIPI TOMS (Scientific Research and Design Institute "Technologies of Minerals Separation"),
83a Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federatoin
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russian Federatoin

ABSTRACT. Purpose. The purpose of the article is investigation of the technological types of Tominskoe copper deposit ores; examination of the mineral composition of the host rocks and ores of each of the three types; identification of mineralogical and structural-textural features of ores, research of the relationship of mineralization and metamorphism intensity alteration for each type of ore. **Methods.** Ore bodies of the Tominskoye porphyry copper deposit occurring in the diorites and quartz diorites are veinlet and porphyry-stringer clusters in crush zones. The deposit is characterized with the predominant metasomatic rocks of quartz-sericite formation. **Results.** Three geological and technological ore types are distinguished within the Tominskoye field. The first type is represented by primary sulfide ores, which occur on average lower than 50–55 m depth. By composition they are chlorite-muscovite-quartz metasomatic rocks. The host rocks are represented by sericitized, chloritized and carbonated diorites. Chalcopyrite and pyrite are predominant elements in ore composition. Chalcopyrite contains carbonated diorites. Chalcopyrite and pyrite are predominant elements in ore composition. Chalcopyrite contains almost all of the copper. The second type includes the ore zones of secondary sulfide concentration. This type is composed of primary and secondary copper sulfides. All the rocks are dirty argillaceous and are represented by metasomatic rocks of different composition. All types of rocks feature ore mineralization. The third type covers oxidized ores, which form the oxidation zone of the deposit. They are divided into three subtypes: clay, claydetrital and detrital ores. Clay ores occur in the uppermost parts of the crust of weathering. Clay-detrital ores compose its central part, while ores in detrital formations have been found in the lower horizons. Each of the type is given a petrographic description. Mineralogical and structural-textural features of ores are identified. The study of the petrographic composition of each type of ores showed a varying degree of metamorphism that resulted in changes in ore mineralization. **Main conclusions.** The influence of metasomatic processes is indicated. The last have changed the structure and mineral composition of ores. The presence of primary rocks – diorites with saturated sulfide impregnation and insignificant metasomatic alterations is typical for the first type of ore. The rocks in the zone of secondary concentration have undergone intense metasomatic alteration. These rocks are saturated with iron hydroxides. The presence of clay and chloritized rocks characterize the zone of intense weathering. Ore mineralization is represented exclusively by oxidized minerals. Sulfides are rare. Variations in the mineral composition of the three types of ores influence the choice of ore processing methods at Tominskoye ore deposit.

Keywords: *Tominskoye field, porphyry copper mineralization, metamorphism, technological ore types*

For citation. Kurchevskaya E.M., Yakhno M.V., Senchenko A.Y. Mineralogical and technological types of Tominskoye deposit copper ores (Southern Ural). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits, 2017, vol. 40, no. 3, pp. 42–47. (In Russian).

Далее идут **текст статьи** (в виде: введение, цель исследования, материалы и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы (заключение)), **библиографический список** (references), **критерии авторства** (authorship criteria) и **конфликт интересов** (conflict of interests).

ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ГЕОЛОГИЯ, РАЗВЕДКА И РАЗРАБОТКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научный журнал

№ 2 (63) 2018

Редактор Ф.А. Посысоева
Компьютерная верстка В.А. Храмовских
Перевод на английский язык В.В. Батицкой

Издание распространяется бесплатно

Выход в свет 27.06.2018 г. Формат 60×90/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 17.
Тираж 500 экз. Зак. 189. Поз. плана 4н.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83