

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 0130-108X

**ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

№ 1 (42)



ИЗДАТЕЛЬСТВО

Иркутского государственного технического университета

2013



УДК 550: 553 **ИЗВЕСТИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. Геология, поиски и разведка рудных месторождений.** – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – № 1 (42). – 172 с.

Журнал «Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений» включен в **Перечень ВАК для публикации работ по содержанию докторских диссертаций**, имеет государственную регистрацию и распространяется по подписке (Каталог «Роспечать»).

Опубликованы статьи по металлогении, геологии и геохимии рудных районов и месторождений, а также по технологиям геологоразведочных работ. Значительная часть статей посвящена закономерностям формирования и рудоносности структурно-вещественных комплексов восточных регионов России – Прибайкалья и Забайкалья, Якутии и Красноярского края.

Материалы предназначены для научных работников вузов, НИИ, геологов-практиков, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия

Главный редактор – проф. Ж.В. Семинский, действительный член РАЕН, ИрГТУ.

Заместитель главного редактора – проф. А.П. Кочнев, член-корр. РАЕН, ИрГТУ.

Члены редколлегии:

проф. В.И. Старостин, действительный член РАЕН, Московский государственный университет; проф. Ю.В. Лир, С-Петербургский государственный горный институт (технический университет); проф. Р.М. Лобацкая, действительный член РАЕН, ИрГТУ; проф. А.Г. Дмитриев, член-корр. РАЕН, ИрГТУ; проф. В.А. Филонюк, член-корр. РАЕН, ИрГТУ; проф. Н.А. Буглов, член-корр. РАЕН, ИрГТУ; проф. И.И. Верховзин, ИрГТУ; проф. А.И. Сизых, Иркутский государственный университет; проф. В.А. Душин, Уральский государственный горный университет; проф. А.Ф. Коробейников, Томский политехнический университет; проф. А.И. Трубачев, Читинский государственный университет; проф. В.А. Макаров, Институт горного дела, геологии и геотехнологии Сибирского федерального университета; проф. В.Ю. Фридовский, действительный член РАЕН, Якутский государственный университет.

Ответственный редактор выпуска – проф. А.П. Кочнев, член-корр. РАЕН.

Ответственный секретарь – ст. преподаватель М.В. Яхно.

Рекомендован к изданию редакционно-издательским советом Иркутского государственного технического университета.

Адрес редакции: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Иркутский государственный технический университет.

© Иркутский государственный
технический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Геология и геохимия месторождений полезных ископаемых

Гордиенко И.В., Нефедьев М.А., Платов В.С. Строение, минеральные типы рудных месторождений и перспективы освоения Еравнинского рудного района Западного Забайкалья.....	7
Монгуш А-Д.О., Лебедев В.И. Ак-Сугское медно-молибден-порфировое месторождение: вещественный состав пород и руд.....	22
Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф. Прогнозирование оловянного и золотого оруденения на основе геофизической информации с применением ГИС-технологий (на примере Юга Дальнего Востока России).....	30
Кочнев А.П., Шульга В.В. Оценка потенциальной рудоносности гранитоидов куандинского комплекса Байкальской горно-складчатой области по петрохимическим данным.....	45
Аксенов В.Н., Сарелайнен Б.В. Структура участка «Горелый» (Хамар-Дабан) и его рудоносность.....	57
Хрусталеv В.К., Жатнуев Н.С. Сферические минеральные образования в горных породах и рудах Саяно-Байкальской складчатой области.....	63
Мезенцев С.Е., Яхно М.В. Минеральные ассоциации медных руд участка «Западный» Удоканского месторождения и закономерности их распределения во вмещающих породах.....	77
Павлов С.Х., Чудненко К.В. Физико-химические взаимодействия в системе «вода-порода» в условиях формирования азотных термальных вод.....	82
Цыкин Р.А. Редкометалльные и редкоземельные охры карбонатитовых месторождений Нижнего Приангарья.....	96

Технологии геологической разведки и разработки полезных ископаемых

Целюк О.И., Целюк Д.И. Перспективы применения кучного выщелачивания золота для вовлечения в промышленное освоение лежалых хвостов золотоизвлекающих фабрик Восточной Сибири.....	103
Буглов Н.А., Карпиков А.В., Гриб П.С. Области эффективной эксплуатации технических средств направленного бурения, реализующих разные принципы стабилизации направления стволов геологоразведочных скважин.....	111

Нескоромных В.В., Пушмин П.С. Критерий поиска оптимальных условий разрушения горных пород при бурении.....	119
Сверкунов С.А. Оптимизация конструкции эксплуатационных скважин на Юрубчено-Тохомском месторождении.....	123
Качин В.А., Чертовских Е.О., Карпиков А.В. Влияние засоленных песчаников верхнечонского горизонта на процесс добычи нефти на Верхнечонском месторождении методом поддержания пластового давления...	129
Неверов А.Л., Минеев А.В., Баталина Л.С. Синергизм биополимерных растворов при взаимодействии с бентонитом.....	135
Дроздов А.В. Оценка перспективности участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов трубки «Удачной».....	146
Худякова Л.И., Тимофеева С.С. Ультраосновные породы месторождений сульфидных Cu-Ni руд и их практическое использование (Северо-Байкальская провинция).....	157

Гипотезы, идеи, дискуссия

Семинский Ж.В. Металлогенический анализ на основе современных концепций развития и строения Земли (Об учебнике «Металлогения», автор проф. В.И.Старостин, МГУ).....	164
--	-----

Память о них сохраним

Тугарина М.А., Верховин И.И. Вадим Михайлович Степанов – к 90-летию со дня рождения.....	167
К сведению авторов	169

C O N T E N T S

Geology and geochemistry of mineral deposits

Gordienko I.V., Nefedyev M.A., Platov V.S. Structure, mineral types of ore deposits and development prospects of Eravnisky ore district (West Transbaikalia)...	7
Mongush A-D.O., Lebedev V.I. Ak-Sug copper-molibdenum-porphyry deposit: mineral composition of rocks and ores.....	22
Ivolga E.G., Manilov Yu.F. Tin and gold mineralization predicted from geophysical data with GIS technologies applied for South of Russia's Far East.....	30
Kochnev A.P., Shulga V.V. Assessment of potential ore resource of kuandinsky granitoids in the Baikal foldbelt using petrochemical data.....	45
Aksenov V.N., Sarelaynen B.V. Structure and ore potential of Goreliy site in the Khamar-Daban range.....	57
Khrustalev V.K., Zhatnuev N.S. Spherical mineral formations in rocks of Sayan-Baikal folded area.....	63
Mezentsev S.E., Yakhno M.V. Mineral associations of copper ore in «Zapadny» site of the Udokan field, pattern of their distribution in host rocks.....	77
Pavlov S.Kh., Chudnenko K.V. Physico-chemical «water-rock» interaction in formation of nitric thermal waters.....	82
Tsykin R.A. Rare-metal and rare-earth ochers of carbonatite deposits in the Angara river downstream.....	96

Technology of exploration and development of minerals

Tselyuk O.I., Tselyuk D.I. Heap leaching of gold for commercial utilization of old tailings of gold concentration plants in East Siberia.....	103
Buglov N.A., Karpikov A.V., Grib P.S. Effective operation of tools for directional drilling to stabilize direction of exploration boreholes.....	111
Neskoromnykh V.V., Pushmin P.S. Criterion to select optimal conditions for rock destruction while drillingКритерий поиска	119

Sverkunov C.S. Production well optimization in Yurubchen-Tokhonsky field	123
Kachin V.A., Chertowskich E.O., Karpikov A.V. Halite sedimentation during oil and gas extraction on the Verchnechonsk's oil and gas condensate field	129
Neverov A.L., Mineev A.V., Batalina L.S. Biopolymer solution synergism when interacting with bentonite.....	135
Drozdov A.V. Evaluation of «Levoberezhny» site perspective for burying drainage brines of pipe «Udachnaya».....	146
Khudyakova L.I., Timofeeva S.S. Ultrabasic rocks of sulphide Cu-Ni ores in North-Baikal and their practical use.....	157
Hypotheses, ideas, discussion	
Seminskiy Zh.V. Metallogenic analysis based on recent concepts of the Earth structure development.....	164
Preserve the memory of them	
Tugarina M.A., Verkhozin I.I. Vadim Mikhailovich Stepanov – dedicated to his 90 th anniversary	167
For authors	169

Геология и геохимия месторождений полезных ископаемых

УДК 550.3+553(551.54)

СТРОЕНИЕ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ЕРАВНИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© И.В. Гордиенко¹, М.А. Нефедьев², В.С. Платов³

Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

По результатам комплексных исследований установлено, что Еравнинский рудный район сформировался в условиях нижнепалеозойской вулканической дуги. Проведен рудно-формационный анализ, выделены новые минеральные типы рудной минерализации, составлены схемы гравитационного и прогнозно-металлогенического районирования. Перспективы освоения Еравнинского рудного района предусматривают расширение поисково-разведочных работ на стратегическое минеральное сырье и создание новых производств на строящемся Озернинском ГОКе.

Библиогр. 15 назв. Ил. 4.

Ключевые слова: геологическое строение; рудный район; рудный узел; рудные формации и месторождения; гравитационное и прогнозно-металлогеническое районирование; перспективы освоения.

STRUCTURE, MINERAL TYPES OF ORE DEPOSITS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF ERAVNINSKY ORE DISTRICT (WEST TRANSBAIKALIA)

I.V. Gordienko, M.A. Nefedyev, V.S. Platov

Geological Institute, SB RAS, 6a Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

The comprehensive research revealed that the Eravninsky ore district was formed in the volcanic arc setting of Lower Paleozoic age. The ore formation analysis recognized new types of ore mineralization. The schemes of gravitational and forecast metallogenic zoning have been compiled. Development of the Eravninsky ore region implies strategic exploration of mineral resources and setting up new enterprises around Ozerny Mining and Processing Plant under construction.

15 references. 4 figures.

Key words: geological structure; ore district; ore cluster; ore formations and ore deposits; gravitational and forecasting metallogenic zoning; development prospects.

Долгое время Западное Забайкалье относилось к «древнему темени Азии» и считалось бесперспективным на поиски полезных ископаемых, несмотря на то

что в конце XVIII в. здесь уже добывали золото, серебро, полиметаллы, медь, асбест, графит, нефрит и другие полезные ископаемые. Однако поисковые

¹Гордиенко Иван Власович, член-корреспондент РАН, советник РАН, главный научный сотрудник, профессор кафедры геологии Бурятского государственного университета, тел.: 8(3012) 433891, e-mail: gord@pres.bscnet.ru

Gordienko Ivan, Corresponding Member of RAS, Counsellor of RAS, Chief Researcher, Professor of the Geology Department of Buryat State University, tel.: 8(3012) 433891, e-mail: gord@pres.bscnet.ru

²Нефедьев Михаил Андреевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел.: 8(3012) 433955, e-mail: nefedyevma@mail.ru

Nefedyev Mikhail, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher, tel.: 8(3012) 433955, e-mail: nefedyevma@mail.ru

³Платов Виктор Степанович, инженер-геолог, тел.: 8(3012) 433955, e-mail: vsplatov@rambler.ru

Platov Victor, Engineer-Geologist, tel.: 8(3012) 416820, e-mail: vsplatov@rambler.ru

работы развивались очень медленно. Только после создания в 1957–1958 гг. в г. Улан-Удэ Бурятского геологического управления и подключения к этим работам других организаций Министерства геологии, а также академических институтов РАН объем их значительно увеличился, в результате чего были открыты и изучены новые перспективные колчеданно-полиметаллические, железорудные, золоторудные, медно-никелевые, флюоритовые и редкометалльные районы. За последние пятьдесят лет на территории Республики Бурятия открыто около 700 месторождений и проявлений железа, меди, полиметаллов, серебра, золота, марганца, серы, фосфора, фтора, бария, урана, редких и других металлов и более 110 из них в

Еравнинском рудном районе (рис. 1). В работах по изучению Еравнинского рудного района участвовали большие коллективы геологов и геофизиков (И.Н. Бабкин, И.Л. Васильев, В.А. Варламов, Б.К. Виноградов, Э.Г. Дистанов, Г.И. Дорошкевич, Э.Н. Зеленый, Л.Л. Зоричева, Б.А. Литвиновский, Н.Е. Матюхин, М.А. Нефедьев, А.С. Мартос, Э.П. Перинова, А.А. Постников, Г.С. Рипп, Р.С. Тарасова, В.К. Хрусталева, Л.П. Хрянина, Д.И. Царев, Ю.А. Чернов, М.М. Язмир, Ю.М. Янов и др.). В настоящее время этот район рассматривается как потенциально крупный промышленный узел минерально-сырьевого профиля, который в будущем сможет стать основой для формирования Восточно-Бурятско-

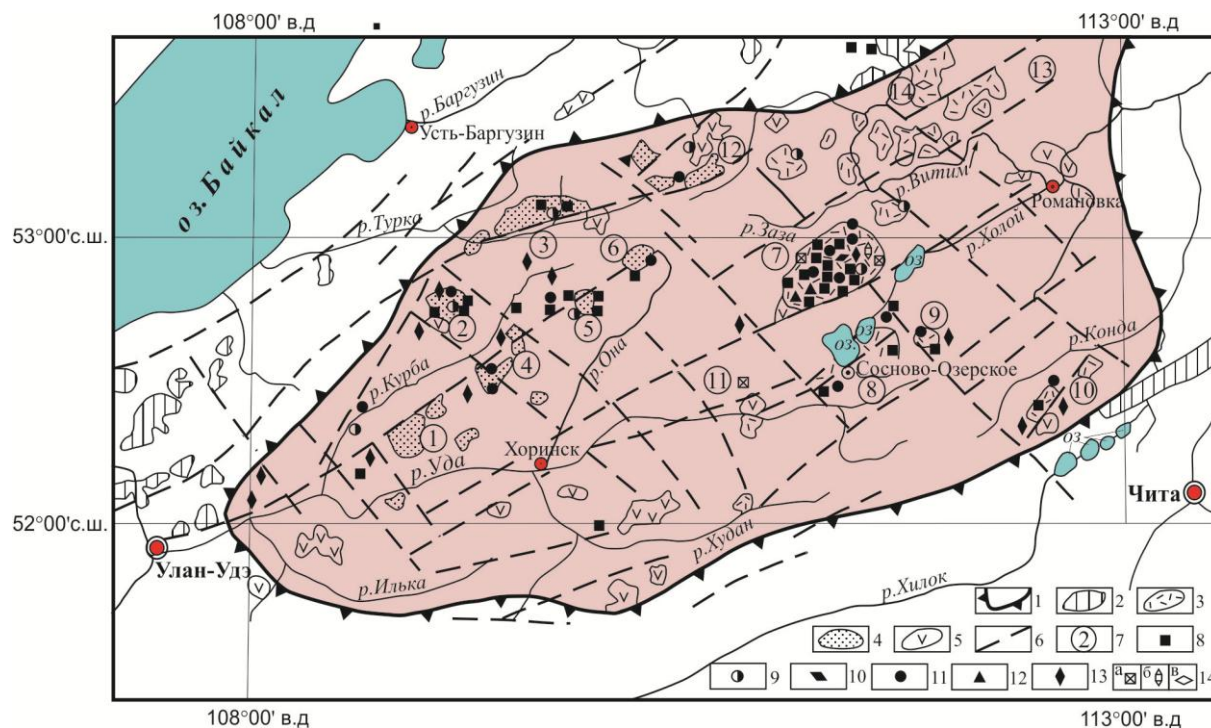


Рис. 1. Схема размещения рудных узлов и полезных ископаемых Еравнинского рудного района:

1 – границы рудного района; 2-4 – останцы (ксенолиты) вмещающих пород: 2 – неопротерозойских осадочно-метаморфических, 3 – нижнекембрийских преимущественно карбонатно-вулканогенных, 4 – нижнекембрийских и девон-каменноугольных терригенных и существенно карбонатных; 5 – верхнепалеозойские габброидные интрузии и ксенолиты пород основного состава среди гранитоидов Ангаро-Витимского батолита; 6 – разломы; 7 – рудные узлы (цифры в кружках): 1 – Атхинский, 2 – Абагинский, 3 – Туркинский (Ямбуиский), 4 – Курбинский, 5 – Мылдыгенский, 6 – Верхне-Онинский, 7 – Озёрнинский, 8 – Сосново-Озёрский, 9 – Харасанский, 10 – Кондинский, 11 – Эгитинский, 12 – Кыджимитский, 13 – Хиагдинский; 8-14 – полезные ископаемые: 8 – железо, 9 – золото, 10 – марганец, 11 – полиметаллы, 12 – медь, 13 – молибден, 14 – флюорит и бор

го территориально-промышленного комплекса [1].

Геолого-структурное положение и глубинное строение Еравнинского рудного района и Озернинского рудного узла. В результате проведенных в последние годы геологических исследований в пределах Западно-Забайкальской зоны каледонид выделена и изучена Удино-Витимская островодужная система (УВОС), сформировавшаяся в зоне активного взаимодействия Сибирского кратона (континента) и Палеоазиатского океана.

В истории геодинамического развития УВОС выделено два главных этапа: 1) венд-нижнепалеозойский или каледонский, связанный с формированием главных структур островной дуги, островодужного и аккреционно-коллизийного магматизма и осадконакопления в преддуговых и задуговых прогибах; 2) средне-верхнепалеозойский или герцинский, характеризующийся денудацией (разрушением) структур УВОС и формированием наложенных остаточных прогибов, отдельных вулканотектонических структур и внутриплитных гранитоидов. Эти два этапа сыграли основную роль в формировании палеозойских структурно-вещественных комплексов и металлогении Еравнинского рудного района [3, 4, 15].

Венд-раннепалеозойская Удино-Витимская островодужная система (УВОС) включала преддуговой осадочный бассейн, аккреционную призму с глубоководным желобом и собственно вулканическую дугу. В настоящее время сохранился только ряд фрагментов островодужной системы, которые образуют разного размера ксенолиты (провесы кровли) нижнепалеозойских осадочно-вулканогенных и субвулканических пород среди обширных полей верхнепалеозойских гранитоидов и габброидов. Именно к этим провесам кровли и ксенолитам приурочено большинство месторождений полезных ископаемых Еравнинского рудного района. Выделяются следующие наиболее крупные (бо-

лее 100 км²) вулканотектонические структуры (ВТС) Удино-Витимской островодужной системы, являющиеся одновременно крупными рудными узлами: Еравнинская (Озёрнинская), Олдындинская, Кыджимитская, Мэлдэлгенская, Туркинская (Ямбульская), Абагинская (см. рис. 1). Из них наиболее изученной является Еравнинская ВТС, включающая *Озёрнинский рудный узел*. В ее пределах общая площадь, занимаемая раннепалеозойскими осадочно-вулканогенными образованиями, составляет около 250 км² (рис. 2). Традиционно считалось, что Озёрнинский рудный узел сложен раннепалеозойскими вулканитами и осадочными породами олдындинской свиты, вмещающей основной объем рудных залежей. В последние годы дополнительно к ранее выполненным биостратиграфическим исследованиям были проведены специализированные работы с использованием современных методов палеонтологического и палинологического анализов, а также изотопно-геохронологические исследования. В результате были выделены осадочные, вулканогенно-осадочные отложения среднего и верхнего палеозоя [4, 6, 10, 13].

Установлено, что основу Еравнинского островодужного структурно-вещественного комплекса составляют мощные шлейфы вулканокластитов и лав среднего, кислого и смешанного составов. Шлейфы вулканокластитов расчленяются на две зоны вулканизма и седиментации: ближнюю (проксимальную), сложенную в основном псефитовыми и смешанными псефитопсаммитовыми тефроидами, лавами среднего и кислого составов, и дальнюю (дистальную), сложенную сериями мелких конусов средних, кислых и смешанных вулканокластитов, терригенно-вулканогенными отложениями с рядом небольших рифовых карбонатных построек, с водорослями, археоциатами и трилобитами нижнего кембрия. Обе зоны тесно связаны между собой латеральными переходами. В настоящее

время к олдындинской свите общей мощностью более 2000 м относятся островодужные вулканы андезит-дацит-риолитового ряда, перемежающиеся с вулканокластитами и биогермными известняками.

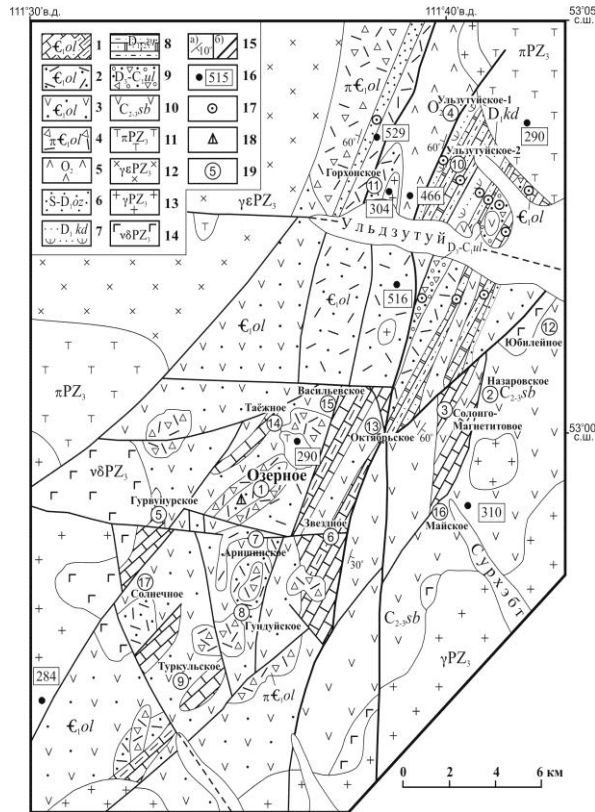


Рис. 2. Схема геологического строения Озёрнинского рудного узла.

Островодужный комплекс: 1-4 – олдындинская свита (E₁ol): 1 – терригенно-карбонатная толща – вулканомиктовые песчаники, туфоалевролиты, туффиты, горизонты археоциатовых и водорослевых известняков нижнего кембрия, 2 – осадочно-вулканогенная толща (турхульская, гурвунурская пачки) – плагиориолиты, плагиориодациты, плагиодациты и их туфы, вулканокластиты, редкие линзы и горизонты известняков, лав и туфов андезитов, 3 – осадочно-вулканогенная толща (озернинская пачка) – андезиты, дациты и их туфы, плагиориодациты и их туфы, вулканокластиты смешанного состава, 4 – олдындинский субвулканический комплекс (pE₁ol) – автомагматические брекчи, кластолавы и субвулканические тела плагиориолитов, плагиодацитов, андезитов; 5 – позднеордовикские андезиты (O₂).

Комплекс наложенных рифтогенных структур: 6 – озернинская толща (S₂?);

7 – кыджимитская толща (D₁kd) – туфоалевролиты, туфы смешанного состава, вулканомиктовые песчаники с прослоями песчаных известняков с мианками; 8 – равнинская толща (D₁₋₂er); 9 – ульзутуйская толща (D₃-C₁ul) – карбонатно-терригенно-туфогенная с линзами туфов андезибазальтов, риолитов и дацитов; 10 – сурхэбтинская толща (C₂₋₃sb) – андезиты, андезибазальты, базальты и их туфы, редкие линзы игнимбриоподобных лав и вулканокластитов риолитового состава.

Магматические комплексы верхнего палеозоя: 11 – кластолавы и эруптивные брекчи трахиориолитов (pPZ₃); 12 – кварцево-сиенитовый комплекс (yPZ₃); 13 – гранит-граносиенитовый комплекс (yPZ₃); 14 – верхнепалеозойское пироксен- и биотит-роговообманковое габбро, диориты, габбро-долериты, диабазовые порфириты; 15 – элементы залегания (а), разрывные нарушения разного масштаба (б); 16 – место отбора проб магматических пород и их U-Pb и Ar-Ar изотопный возраст по данным авторов; 17 – места находок фауны и флоры; 18 – местоположение опорной скважины № 32; 19 – месторождения и рудопроявления (цифры в кружках): 1 – Озерное, 2 – Назаровское, 3 – Солонго-Магнетитовое, 4 – Ульзутуйское-1, 5 – Гурвунурское, 6 – Звездное, 7 – Аришинское, 8 – Гундуйское, 9 – Туркульское, 10 – Ульзутуйское-2, 11 – Горхонское, 12 – Юбилейное, 13 – Октябрьское, 14 – Таежное, 15 – Васильевское, 16 – Майское, 17 – Солнечное

В опорной скважине № 32 глубиной 1600 м в районе Озерного месторождения вскрыт практически полный разрез олдындинской свиты, где вулканогенные породы занимают более 70 %, что указывает на огромные масштабы нижнекембрийского островодужного вулканизма. Для вулканогенных пород получен раннекембрийский и среднеордовикский изотопный возраст 529±3, 530.8±2.6 и 466 млн лет (U-Pb SHRIMP II по цирконам, ЦИИ ВСЕГЕИ). Раннекембрийский возраст (атдабанский и ботомский ярусы) известняков определяется по многочисленным находкам фауны археоциат, водорослей и трилобитов [2]. Широким распространением

в рассматриваемом районе пользуются риолитовые порфиры, гранит-порфиры, аплитовидные граниты субвулканического комплекса. Их возраст (517–510 млн лет) позволяет рассматривать их как комагматы олдындинских вулканистов. Петролого-геохимические и минералогические особенности исследованных вулканистов позволяют сделать вывод о том, что их формирование происходило в условиях зрелой островной дуги, современным аналогом которой является Курило-Камчатская островодужная система [4, 6].

Таким образом, было установлено, что формирование Еравнинского рудного района связано с полициклическим развитием региона в каледонскую (S_1), раннегерцинскую (S_2-C_1) и позднегерцинскую ($C_{2-3}-P$) стадии, которые представляют собой комбинацию последовательно менявшихся островодужных и наложенных рифтогенных геодинамических обстановок [3, 4].

Известно, что большинство месторождений Еравнинского рудного района открыто в основном *геофизическими методами*. Так, все железорудные месторождения обнаружены по данным гравиразведки и магниторазведки, полиметаллические и медно-баритовые – по данным вариометрии и электроразведки. На начальном этапе в результате детальной наземной проверки аэромагнитных аномалий выявлены железорудные месторождения: Магнетитовое, Гематитовое, Гурвунур, Аришинское, Туркул, Гундуй, Соухусан, Укыр, Балбагар, Мухор-Горхон, Шара-Бугутуй, Абага, Мылдылген и ряд рудопроявлений.

М.А.Нефедьевым [11] были внедрены вариометрическая съемка и электроразведка методом КЭП, по результатам которых было открыто уникальное Озерное колчеданно-полиметаллическое месторождение. Было установлено, что Еравнинский рудный район картируется относительно повышенными значениями гравитационного поля. Как указывалось выше, для него характерно

широкое развитие вулканогенных, осадочно-вулканогенных пород нижнего, среднего и верхнего палеозоя и прорывающих их гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. На карте расположения глубинных рудоконтролирующих структур и перспективных локальных гравитационных аномалий в пределах Еравнинского рудного района выделено 5 основных рудных узлов: Озернинский, Мылдылгенский, Ямбуйский (Туркинский), Абагинский, Нижнебурульзайский, – характеризующихся положительными гравитационными аномалиями [8, 11].

По данным М.А. Нефедьева [11] в поле силы тяжести Озернинский рудный узел выделяется аномальной областью интенсивностью до 16 мГл (рис. 3), разделенной на аномальные зоны высокого, низкого и среднего значений, приуроченные соответственно к Юго-Западному (Озернинскому), Центральному и Северо-Восточному (Ульзутуйскому) блокам. Понижение поля силы тяжести над Центральным блоком объясняется уменьшением в нём мощности рудовмещающих пород. Местами они прорываются гранитами или граниты подходят близко к дневной поверхности. Купола гранитов однозначно картируются по минимумам Δg . Отдельные максимумы Δg обусловлены увеличением мощности рудовмещающих пород до 1–1,5 км и наличием месторождений и проявлений. Центральная зона разделена «гранитовой» гравитационной ступенью на две подзоны: Назаровско-Магнетитовскую (А-2-1) – пониженных и Майско-Октябрьскую (А-2-2) повышенных значений поля силы тяжести. Гравитационные зоны делятся на участки локальных аномалий, каждая из которых приурочена к блокам II–IV порядка, вмещающим известные месторождения и проявления. В рудном узле выделена 61 комплексная аномалия, из них 34 приурочены к известным месторождениям и проявлениям.

Рассчитанная М.А. Нефедьевым [11] объёмная модель Озернинского

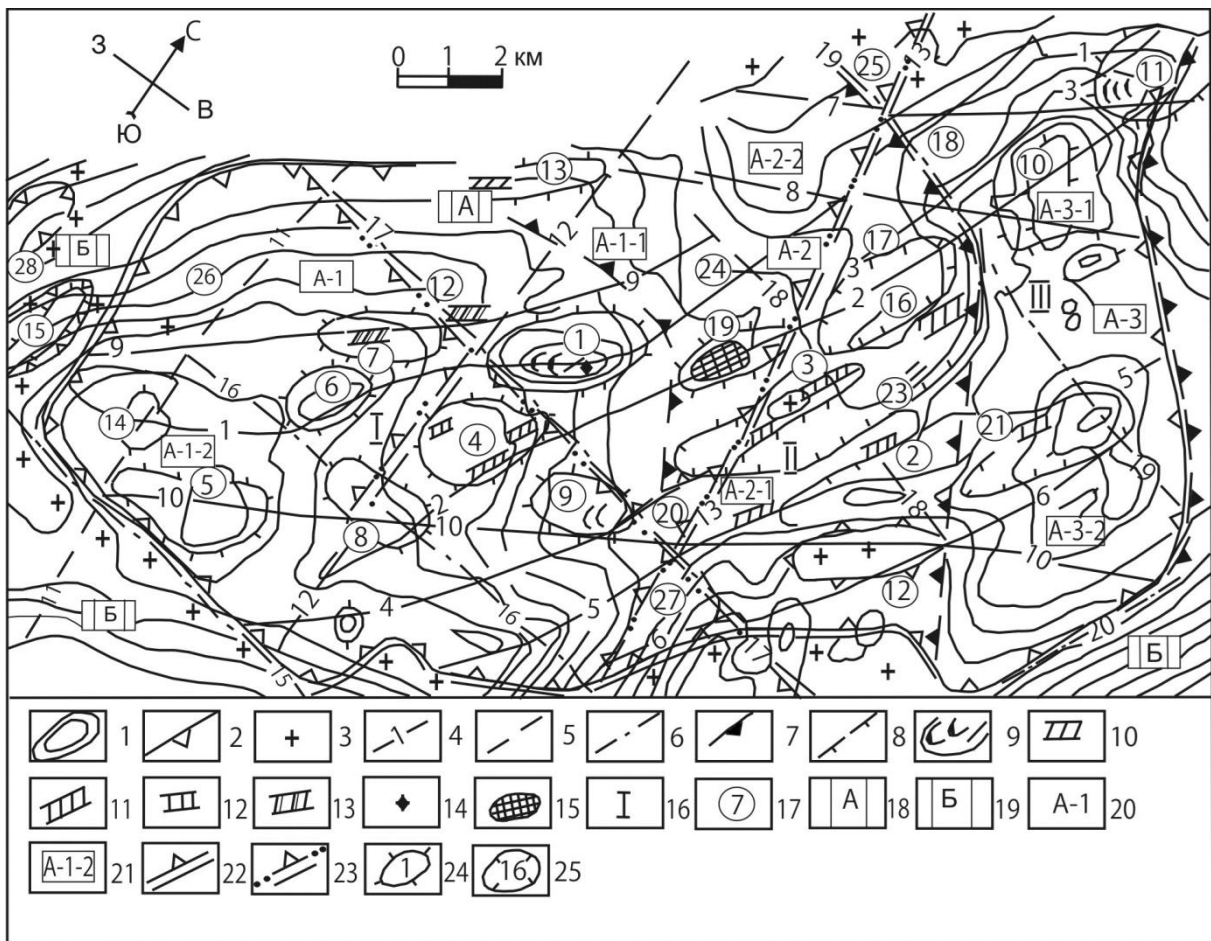


Рис.3. Схема районирования гравитационного поля и размещения месторождений Озернинского рудного узла, по [11] с дополнениями:

1 – изолинии поля силы тяжести; 2 – контур нижнекембрийских рудовмещающих пород; 3 – палеозойские гранитоиды, вмещающие останец; 4-6 – разрывные нарушения и их номера: 4 – рудоконтролирующие (1 – Туркул-Озернинский, 2 – Аришинско-Ульдзутуйский, 3 – Ульдзутуйский, 4 – Звездно-Магнетитовский, 5 – Гематитовский, 6 – Южно-Гематитовский, 7 – Горхонский, 8 – Таежнинский, 9 – Субе-Гурвунурский, 10 – Туркул-Гундуйский), 5 – северо-западные (11,12,13,14), 6 – субширотные (15,16,17,18,19,20); 7-8 – границы структурных блоков: 7 – первого и 8 – более высоких порядков; 9-15 – руды: 9 – колчеданно-полиметаллические, 10 – магнетитовые, 11 – железо-полиметаллические, 12 – железо-медно-баритовые, 13 – апатит-магнетитовые, 14 – сидеритовые, 15 – марганцевые; 16 – номера структурных блоков I порядка (I – Юго-Западный, II – Центральный, III – Северо-Восточный); 17 – номера месторождений и рудопроявлений (1 – Озерное, 2 – Магнетитовое-Солонго, 3 – Назаровское, 4 – Аришинское, 5 – Туркул, 6 – Солнечное, 7 – Гурвунур, 8 – Гундуй, 9 – Звездное, 10 – Ульдзутуй-2, 11 – Ульдзутуй-1, 12 – Северный Гурвунур, 13 – Таежное, 14 – Западный Туркул, 15 – Субе, 16 – Грейзеновое, 17 – Ульдзутуй-3, 18 – Горхон, 19 – Октябрьское, 20 – Майское, 21 – Юбилейное, 22 – Южно-Гематитовое, 23 – Промежуточное, 24 – Васильевское, 25 – Дулмата, 26 – Хребтовое, 27 – Приозерное, 28 – Субе-62); 18-21 – гравитационные области, зоны и подзоны различного относительного уровня поля: 18-19 – области повышенного от рудного узла (А) и низкого (фонового) от гранитоидов (Б), 20 – зоны (А-1 – повышенного и высокого от Юго-Западного, А-2 – низкого от Центрального, А-3 – повышенного от Северо-Восточного блоков), 21 – подзоны (А-1-1 – повышенного от Озерно-Аришинского, А-1-2 – высокого от Туркул-Солнечного, А-2-1 – пониженного от Назаровско-Магнетитовского, А-2-2 – низкого от Октябрьского, А-3-2 – повышенного от Ульдзутуйского и А-3-3 – от Юбилейного блоков); 22-25 – гравитационные ступени, разделяющие: 22 – области, 23 – зоны, 24 – гравитационные максимумы, 25 – гравитационные минимумы

рудного узла имеет очень сложное строение. Погружение эффузивно-осадочной толщи нижнего кембрия от бортов к центру останца многоступенчатое по серии субвертикальных сбросов. Выделены три крупных (Озёрнинский, Центральный и Ульзутуйский) и десятки блоков более высокого порядка различных размеров, формы, мощности и ориентировки. При данных вариантах плотности пород и снятии регионального фона получены следующие результаты. Вертикальная мощность пород в Озёрнинском блоке изменяется в пределах 0,5–6 км, Центральном – 0–2,0, Ульзутуйском – 0–2,5 км. Максимальная вертикальная мощность пород (около 6 км) в Озёрнинском блоке, в районе Туркульского месторождения, минимальная – от 0 до 2 км – в Центральном, в районе Назаровско-Магнетитовского рудного поля. В Озёрнинском блоке под Озёрным месторождением она достигает 4 км. Известно, что в опорной скважине № 32, пробуренной на глубину 1600 м в районе Озерного месторождения, вскрыт практически полный разрез олдындинской свиты, однако из осадочно-вулканогенных пород ксенолита она не вышла. Это подтверждает данные проведенных геофизических исследований.

Генетические типы рудных месторождений и тектонические условия их формирования. Как указывалось выше, одним из важнейших составляющих Еравнинского рудного района является Озернинский рудный узел (ОРУ), в пределах которого, на площади 250 км² выявлено 12 месторождений, в том числе крупнейшее в стране Озерное колчеданно-полиметаллическое, и более 20 рудопроявлений разнообразных полезных ископаемых. Для рудного узла характерно разнообразие и многовозрастность рудной минерализации, связанной с историей геологического развития. В посленеопротерозойский период в этом районе выделено четыре металлогени-

ческие эпохи: ранне- и позднекаледонская, ранне- и позднегерцинская [7].

В пределах изученных месторождений и проявлений ОРУ установлены следующие рудные формации и генетические типы рудной минерализации:

1. Медно-колчеданно-полиметаллическая формация с минеральными типами: пирит-галенит-сфалеритовым «озернинским» (месторождения Озерное, Звездное и Ульзутуй-1); галенитовым с серебром в карбонатных породах (месторождение Солнечное); пиритовым, магнетит-пиритовым (месторождения Озерное, Туркульское, Звездное, Солнечное и Гундуйское; проявления Верхне-Туркульское, Перевальное и Васильевское); халькопирит-пирит-магнетит-баритовым «гундуйским» (месторождения Гундуйское, Туркульское и Звездное); халькопирит-пирит-гематит-магнетитовым (месторождение Аришинское); пирит-магнетитовым, часто с гематитом (месторождения Туркульское, Гундуйское и Солнечное); сидеритовым (месторождение Озерное).

2. Формация известковых и магнезиальных скарнов с минеральными типами: золото-пирит-сфалеритовым – «назаровский» тип (Назаровское и Звездное месторождения, Майское проявление); пирит-сфалеритовым, пирит-сфалерит-магнетитовым (месторождения Магнетитовое-Солонго, Назаровское и Звездное); людавит-магнетитовым, курчатовит-сахайтовым, часто со сфалеритом – «солонгинский» тип (месторождение Магнетитовое-Солонго); пирит-магнетитовым (месторождения Магнетитовое-Солонго, Звездное и Назаровское, проявления Майское, Дальнее и Южно-Магнетитовое); кварц-магнетит-гематитовым (месторождения Назаровское и Звездное).

3. Вольфрам-молибденовая грейзеновая формация с кварц-молибденитовым минеральным типом (месторождение Магнетитовое-Солонго).

4. Редкоземельно-апатит-магнетитовая формация – «гурвунурский» тип

(месторождения Гурвунурское и Северо-Гурвунурское).

5. Золоторудные формации: золото-сульфидно-кварцевая в минерализованных и жильно-прожилково-вкрапленных зонах (Южно-Магнетитовское и другие проявления); золотосеребряная халцедоново-кварцевая в жильно-прожилковых зонах (минерализованные точки в западном обрамлении ОРУ).

В настоящее время установлено, что ОРУ находится в центральной части Еравнинского рудного района и пространственно совпадает с Еравнинской островной дугой Удино-Витимской островодужной системы [4,5,14]. Согласно исследованиям Э.Н. Зеленого, Г.И. Дорошкевич и др. [11] и нашим специализированным работам [4 и др.], Озернинский рудный узел представляет собой крупный фрагмент длительно и полициклично развивающейся Еравнинской вулcano-тектонической структуры, приуроченной к узлу пересечения долгоживущих разрывных нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, контролировавших развитие надсубдукционного магматизма и рудообразования (см. рис. 2). В развитии и становлении данной структуры выделяются три основных этапа (ранний кембрий-средний ордовик, средний палеозой, поздний палеозой-мезозой), в течение которых последовательно сформировались: 1) раннекембрийские центры островодужного (субдукционного) вулканизма с системой стратовулканов, кальдеро- и мульдообразных прогибов и купольных поднятий, 2) нижнекембрийская и ордовикская зоны ближнего и удаленного от центров прибрежно-морского осадконакопления и вулканизма, 3) среднепалеозойская зона наложенных задуговых осадочных прогибов и вулcano-тектонических структур, 4) зона позднепалеозойских грабенов и вулcano-купольных поднятий с локальными гребневидными выступами, 5) пермо-карбоновые вулканические постройки центрального типа и прорывающие их гранитоиды, а также

мезозойские мозаично-блоковые структуры.

Наиболее важными структурами, определяющими металлогеническую специализацию ОРУ, являются раннекембрийские вулканические центры субдукционного (островодужного) магматизма и зона позднепалеозойских вулcano-купольных поднятий совместно с гранитоидами, со становлением которых генетически связано соответственно формирование колчеданно-полиметаллических («озернинский» тип) и комплексных боро-магнетитовых («солонгинский» тип), золото-цинковых («назаровский» тип) руд, а также потенциально золотоносных минерализованных и жильно-прожилковых зон убогого сульфидно-кварцевого состава. В связи с завершающим этапом становления пермо-карбоновых вулканических построек внутриплитного магматизма нами прогнозируется возможность выявления золото-серебряного оруденения халцедоново-кварцевой формации.

Прогнозно-металлогенические исследования проводились на основе геологических и геофизических критериев оруденения (рис. 4). Были использованы: геолого-структурная схема, карты локальных аномалий гравитационного, магнитного, электрических (ВП, ЕП, КС, МПП) полей, совмещенных благоприятных признаков, литогеохимических ореолов, метод аналогии, степень изученности, количественные характеристики аномалий, а для главных объектов учитывались прогнозные запасы руд, количество аномальной массы, продуктивность ореолов, результаты поисково-разведочных работ и все признаки, характерные для каждого типа месторождений [12, 14].

Ведущими для рудного района являются *полиметаллические руды*, характеризующиеся широким набором типов минерализации. Основные запасы полиметаллов сосредоточены в Озернинском рудном узле, где выявлено семь месторождений, в том числе, уникальное Озерное, 11 проявлений и 10 участ-

ков комплексных геофизических аномалий. Важными являются также железорудная, борная, медная и золоторудная минерализации. Кроме того, в рудном узле имеются редкометалльная, марганцевая, апатитовая, баритовая ми-

нерализации. Широко развиты ореолы рассеяния свинца, цинка, меди, бария, марганца с высоким, до процентов, содержанием металлов. На многих объектах выделяются зоны скарнирования,

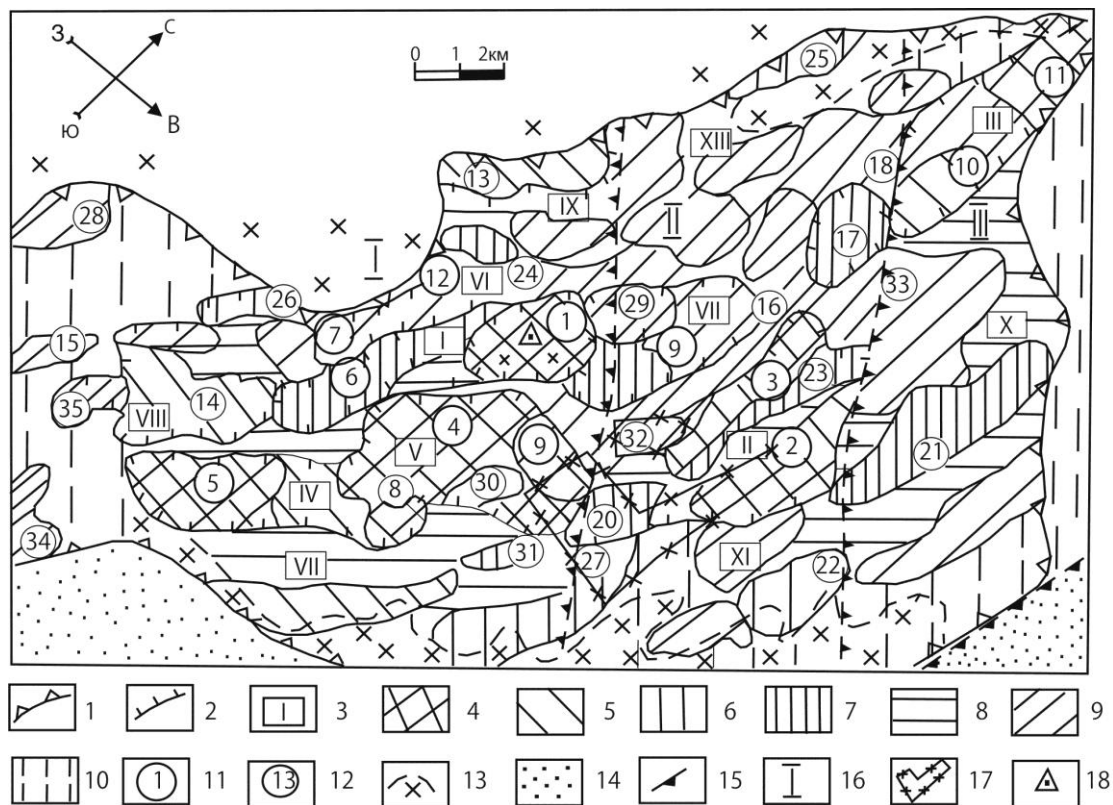


Рис.4. Схема прогнозно-металлогенического районирования Озернинского рудного узла, по [11] с изменениями и дополнениями:

1-2 – границы: 1 – рудного узла, 2 – рудного поля; 3 – номер рудного поля (I – Озернинское, II – Назаровско-Магнетитовское, III – Ульзутуйское, IV – Туркул-Гундуйское, V – Звездно-Аришинское, VI – Гурвунурское, VII – Октябрьское, VIII – Субинское, IX – Таежнинское, X – Восточно-Гематитовское, XI – Южно-Гематитовское, XII – Гундуй-Аришинское, XIII – Горхон-Ульзутуйское); 4-11 – площади и их перспективы: 4 – I-я степень перспективности: вероятно оруденение на глубинах от 600-1000 до 1000-2000 м; 5 – рудопроявления и участки аномалий и фланги рудного узла с вероятным оруденением на глубинах до 1000-6000 м; 6-8 – II-я степень: 6 – структуры, проявления и аномалии, где возможно наличие новых рудных залежей и оруденения на глубине до 1000 м; 7 – то же на глубинах до 1000-2000 м; 8 – то же, на глубинах до 2000-3000 м (фланги рудных объектов и пространства между ними); 9 – III степень: участки и структуры с неопределенными перспективами; 10 – IV степень: участки вероятно бесперспективные; 11-12 – номера: 11 – месторождений (1 – Озерное, 2 – Назаровское, 3 – Магнетитовое-Солонго, 4 – Аришинское, 5 – Туркул, 6 – Солнечное, 7 – Гурвунур, 8 – Гундуй, 9 – Звездное, 10 – Ульзутуй-2, 11 – Ульзутуй-1, 12 – Северный Гурвунур), 12 – рудопроявлений (13 – Таежное, 14 – Западный Туркул, 15 – Субе, 16 – Грейзеновое, 17 – Ульзутуй-3, 18 – Горхон, 19 – Октябрьское, 20 – Майское, 21 – Юбилейное, 22 – Южно-Гематитовое, 23 – Промежуточное, 24 – Васильевское, 25 – Дулмата, 26 – Хребтовое, 27 – Приозерное, 28 – Субе-62, 29 – Северно-Озерное, 30 – Южно-Аришинское, 31 – Южно-Гундуйское, 32 – Южно-Магнетитовое, 33 – Северо-Магнетитовое, 34 – Субе-68, 35 – Субе-71); 13 – границы выходов гранитоидов; 14 – отложения мезозойских впадин; 15 – системы разломов, разделяющих тектонические блоки; 16 – номера тектонических блоков; 17 – участки, перспективные на поиски золота; 18 – местоположение опорной глубокой скважины № 32

ороговикования, баритизации, почти повсеместно развита сульфидизация.

Оценка перспектив Озернинского рудного узла дана с учётом результатов его моделирования при максимальном варианте снятия регионального фона [11, 12]. В этом случае вертикальная мощность рудовмещающей толщи также максимальна. На основе анализа геологических и геофизических карт, схем и планов составлена прогнозная карта (см. рис.4), выполнено металлогеническое районирование площадей, дана оценка их перспектив и рекомендации по дальнейшему направлению работ. По степени изученности и перспективности рудный узел разделен на 14 рудных полей, в пределах которых выделен 61 участок различной перспективности.

Семь рудных полей отнесены к установленным. Их границы выявлены по структурным признакам и приурочены либо к брахисинклинальным (Озернинское–I, Октябрьское–VII, Ульзутуйское–III, Звёздно-Аришинское–V), либо к антиклинальным (Назаровское-Магнетитовое–II, Туркул-Гундуйское – IV, Гурвунурское –VI) складкам. Самые крупные и богатые месторождения (Озерное, Аришинское, Северный Гурвунур и др.) расположены в Озернинском блоке, который отличается не только размерами, но и вертикальной мощностью (до 4–6 км) рудовмещающих пород. Остальные поля отнесены к потенциально рудным. Они расположены в периферийных частях рудного узла. Рудный узел по перспективности районирован на четыре категории: I–III – требующие и IV – не требующие постановки определенного вида работ.

Участки категории I – площади, перспективные для прироста запасов руд, требующие постановки детальных поисково-оценочных работ: МПП, ММЗ, ВХ-ВП (ЦЭ или НВП) и глубокого бурения. Вероятно наличие рудных объектов до глубины 600–1000 м. Это все известные месторождения и наиболее перспективные проявления. Увеличение запасов руд на них ожидается за

счет открытия новых рудных залежей на глубоких горизонтах и флангах.

К участкам категории II отнесены все остальные проявления, фланги известных рудных объектов и пространства между ними. Они требуют постановки детальных высокоточных геофизических специализированных исследований по расчетным профилям для разбраковки аномалий на рудные и безрудные (вариометрия, гравиметрия, магнитометрия, ВП-СГ, МПП, ЦЭ и др.) и сопровождаются буровыми и опробовательскими работами. Возможно наличие новых рудных залежей или скрытого оруденения на глубине 500–1000 м (фланги известных рудных объектов и пространства между ними).

К категории III отнесены площади, перспективы которых неопределенны: участки геологически не проверенных комплексных геофизических аномалий с наличием рудоконтролирующих признаков и благоприятных структур и комплексов пород без выявленной минерализации. Оценка этих участков дана в основном по данным геофизики.

К категории IV отнесены участки вероятно бесперспективные.

Основное внимание при дальнейших поисковых работах необходимо уделять:

- картированию структур, благоприятных для локализации оруденения;
- выделению рудоконтролирующих разломов;
- картированию интрузий гранитов, перспективных на редкометалльное оруденение;
- выявлению и прослеживанию оперяющих тектонических нарушений, имеющих рудоконтролирующее значение.

Особую актуальность приобретают прогнозирование и поиски новых месторождений вблизи строящегося Озернинского ГОКа. Поисковые работы должны быть направлены в первую очередь на доизучение флангов и глубоких горизонтов известных месторождений и проявлений (в первую очередь

Назаровского, Ульзутуй-1, Солнечного), являющихся главным резервом увеличения запасов руд для обеспечения многолетнего функционирования ГОКа. Одновременно необходимо переходить к поискам скрытого и глубокозалегающего оруденения.

Следует особо остановиться на прогнозах *золотого оруденения*. Как оказалось, в рудном районе золото распространено очень широко, особенно на флангах Озернинского узла. Значительные запасы золота содержатся в самом рудном узле. Рудное золото связано в основном с Назаровским комплексным месторождением, относящимся к средним по запасам объектам, а также с Озерным, Майским, Звёздным, Туркул-Гундуйским, Южно-Магнетитовым, Васильевским золоторудными участками на месторождениях и проявлениях. В рудах Озерного, Назаровского, Звездного месторождений, Майского, Южно-Магнетитового проявлений прогнозные ресурсы золота составляют около 30 т. Содержание золота в рудах Назаровского месторождения изменяется от 0,03 до 21,6 г/т, серебра – от 5,4 до 184 г/т. Наиболее перспективен на поиски золота южный фланг Назаровско-Магнетитового рудного поля. В рудном узле выявлено значительное количество ореолов рассеяния золота. Это свидетельствует о том, что здесь содержится достаточное количество коренного золота, которое в результате выветривания и эрозии пород отлагается в аллювиальных образованиях речных систем. В последнее время выявлены, но весьма слабо изучены на золото жильно-прожилковые и прожилково-вкрапленные сульфидные и сульфидно-кварцевые минерализованные зоны, имеющих наибольшую значимость в формировании потенциально золоторудных объектов [12, 14].

В Еравнинском рудном районе имеются определенные перспективы на выявление *редких и редкоземельных элементов*. Здесь обнаружены альбит-amazonит-колумбитовые проявления Ба-

ха-Горхон, Шара-Кундуй, Шулингинское. Содержание колумбита на Баха-Горхоне 130–629 г/т, на Шара-Кундуйе 1,18 кг/т. Наиболее интересно Кыджимитское проявление с содержанием иттрия 0,1%, иттербия 0,003%, лантана 0,03%, урана 0,02%. Редкоземельная формация цериевой группы генетически связана со щелочной интрузией и ультракислыми гранитами. На Барун-Субинском и Горелом проявлениях в гранит-порфирах установлено: циркония 0,2–1%, ниобия 0,003–0,05%, иттрия 0,01–0,3%, тантала 0,01–0,5%, олова 0,002–0,03%. Флюорит-берtrandитовые проявления обнаружены в верховье р. Кудун, в Домнинской и Кадахтинской рудных зонах. На Кыджимите рекомендуются поисково-ревизионные работы I очереди, на остальных – общие поиски II очереди. Проявления редких земель и редких элементов известны на апатит-магнетитовых месторождениях Гурвунур, Северный Гурвунур, на проявлениях Восточная Эгита и Горхон. В настоящее время все эти проявления должны быть доизучены в связи с разработкой программы стратегического минерального сырья России.

Выводы

1. В результате тектонических, биостратиграфических, петролого-геохимических и изотопно-геохронологических исследований, с учетом ранее проведенных работ было установлено, что Еравнинский рудный район сформировался в условиях геодинамического развития венд-нижнепалеозойской вулканической дуги энсиалического типа. Были получены новые данные по стратиграфии, магматизму и рудообразованию крупных вулканотектонических структур (Озернинской, Мылдылгенской, Ямбуйской, Курбинской, Кыджимитской и др.), являющихся одновременно рудными узлами. В геодинамическом развитии и становлении Озернинского рудного узла в течение раннего кембрия и ордовика, среднего палеозоя, позднего палеозоя и мезозоя установлено шесть основных эта-

пов, в течение которых последовательно сформировались: 1) раннекембрийские центры островодужного вулканизма с системой стратовулканов, кальдеро- и мульдообразных прогибов и купольных поднятий, 2) нижнекембрийская и ордовикская зоны осадочно-вулканогенного прибрежно-морского седиментогенеза, 3) среднепалеозойская зона наложенных задуговых прогибов и вулканотектонических структур, 4) зона позднепалеозойских грабенов и вулканокупольных поднятий с локальными гребневидными гранитоидными выступами, 5) пермо-триасовые вулканические постройки центрального типа и мезозойские мозаично-блоковые структуры.

2. В результате проведенных комплексных гравиметрических, магнитометрических, электроразведочных исследований с широким применением математического моделирования составлены детальная карта гравитационных аномалий и прогнозно-металлогеническая карта Еравнинского рудного района, рассчитаны объемные модели рудных узлов и месторождений [11], изучены новые рудные объекты на флангах ранее изученных месторождений крупного Озернинского рудного узла.

3. При выполнении прогнозно-металлогенических исследований и детальном изучении рудно-магматических систем Еравнинского рудного района был проведен рудно-формационный анализ и выделены новые минеральные типы рудной минерализации, прежде всего, в Озернинском рудном узле, в пределах которого на площади 250 км² выявлено 12 месторождений, в том числе крупнейшее в стране Озерное колчеданно-полиметаллическое, и 23 рудопроявления разнообразных полезных ископаемых.

4. Перспективы промышленного освоения Еравнинского рудного района регулируются Стратегией экономического развития Сибири и базируются, в первую очередь, на освоении минераль-

но-сырьевой базы твердых полезных ископаемых и топливно-энергетического сырья. Программа комплексного развития производительных сил Забайкалья предусматривает: расширение поисково-разведочных работ на золото, свинец, медь, марганец, хром, титан, уран, редкие земли и начало крупномасштабного комплексного освоения месторождений цветных металлов, в первую очередь Озернинского рудного узла как *Центра экономического развития (ЦЭР)*, имеющего приоритетное значение для создания новых производств на Озернинском ГОКе и строительства на его базе Восточно-Бурятского ТПК [1,9]. Как показывает наш опыт, эта задача может быть успешно решена на базе научно-обоснованных прогнозов, являющихся результатом комплексного изучения рудных объектов с применением геолого-геофизических, геохимических и других методов исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН №27 (проект № 27.3.) и РФФИ (проекты № 12-05-00223, 12-05-00324).

Библиографический список

1. Бахтин В.И., Семенов М.И., Шагжиев К.Ш. Геологоразведка и горная промышленность Бурятии: прошлое, настоящее и будущее. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2003. 272 с.

2. Ветлужских Л.И. Стратиграфия кембрия Саяно-Байкальской горной области // Палеозой России: региональная стратиграфия, палеонтология, гео- и биособытия: материалы III Всероссийского совещания. 24–28 сентября 2012. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. С. 55–58.

3. Гордиенко И.В. Геодинамическая и металлогеническая эволюция Забайкалья в неопротерозое, палеозое и мезозое // Геология и минерагения Забайкалья: сборник докладов и статей к научно-производственной конференции, посвященной 60-летию Федерального государственного унитарного геологи-

ческого предприятия «Читагеолсъёмка». Чита, 2010. С. 117–125.

4. Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Руженцев С.В. и др. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее – палеозое // Геология и геофизика 2010. Т. 51, № 5. С. 589–614.

5. Гордиенко И.В., Кузьмин М.И. Геодинамика и металлогения Монголо-Забайкальского региона // Геология и геофизика. 1999. Т.40, № 11. С. 1545–1562.

6. Гордиенко И.В., Минина О.Р., Хегнер Э. и др. Новые данные по составу и возрасту осадочно-вулканогенных толщ и интрузивов Еравнинского островодужного террейна (Забайкалье) // Вулканизм и геодинамика: материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. Т.1. С. 154–158.

7. Гордиенко И.В., Миронов А.Г. Геодинамическая и металлогеническая эволюция Забайкалья в позднем рифее-палеозое // Отечественная геология. 2008. № 3. С. 46–57.

8. Духовский А.А. Глубинные рудоконтролирующие структуры // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Лист N-49. Чита. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. С. 315–324.

9. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации. Т.1: Прогнозно-металлогенический анализ /под ред. О.В. Петрова. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 224 с.

10. Минина О.Р. История развития Байкало-Витимской складчатой системы в палеозое (Западное Забайкалье) // Проблемы региональной геологии Северной Евразии: материалы конференции 12–13 апреля 2012 г. М.: РГГРУ, 2012. С. 51–54.

11. Нефедьев А.М. Объемная модель и оценка перспектив Озернинского

рудного узла по геофизическим данным (Западное Забайкалье). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2009. 184 с.

12. Нефедьев М.А. Перспективы прироста запасов руд Озернинского горно-обогатительного комбината (Западное Забайкалье) // Приоритеты и особенности развития Байкальского региона: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 350-летию добровольного вхождения Бурятии в состав Российского государства. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2011. С. 92–94.

13. Руженцев С.В., Минина О.Р., Некрасов Г.Е. и др. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. 2012. № 2. С. 3–28.

14. Татьков Г.И., Бадерин А.М., Татьков И.Г. Оценка перспектив глубоких горизонтов и флангов золоторудных месторождений Бурятии по данным электроразведки // Матермалы II международного горно-геологического форума «Золото северного обрамления Пацифика». Магадан, 2011. С.123–128.

15. Хрусталева В.К. Благоприятная плитотектоническая минералогения Удино-Витимской островодужной системы палеозойского Западного Забайкалья // Изв. СО Секции наук о Земле РАЕН. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. № 1 (34). С. 18–27.

References

1. Bakhtin V.I., Semenov M.I., Shagzhiev K.Sh. Geological survey and mining industry of Buryatia: present, past and future. [Geologorazvedka i gornaya promushlennostj Buryatii: proshloe, nastoyashee i budushee] Ulan-Ude Izdatelstvo BGU - Ulan-Ude, Publ.H.BSU, 2003,272 p.

2. Vetluzhskikh L.I. Cambrian stratigraphy of Sayan-Baikal ranges//Paleozoic of Russia: regional stratigraphy, paleontology, geo- and bio events.[Stratigrafia kembrija sajano-baikalskoi gornoj oblasti]. SPeterburg:Izdatelstvo VSEGEI - St Pe-

tersburg Publ.H. VSEGEI, 2012, pp. 55–58.

3. Gordienko I.V. Geodynamic and metallogenic evolution of Trans-Baikal area in Neo Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic. [Geodinamicheskaja i metallogenicheskaja evoljutsia zabaikalja v neo-proterozoe, paleozoe i mezozoe]. Sbornik geologia i mineragenia zabaikalja – «Chita geol s'emka» – Collected papers: Geology and Mineralogy of Trans-Baikal. Publ.H. «Chita Geol. Survey», 2010, pp. 117–125.

4. Gordienko I.V., Bulgatov A.N., Ruzhentsev S.V. et al. History of development of Undino-Vitim island arc system of Trans-Baikal sector of Paleo Asian Ocean in Late Riphean – Paleozoic. [Istoria razvitiia Undino-Vitimskoi ostrovoduzhnoi sistemy zabaikalskogo sektora paleoazitskogo okeana v pozdem rifee – paleozoe]. Zhurnal geologia i Geofizika – Geology & Geophysics J., 2010, V. 51, no. 5, pp. 589–614.

5. Gordienko I.V., Kuzmin M.I. Geodynamics and metallogeny of Mongolia - Trans-Baikal region. [Geodinamika i metallogenia mongolo-zabaikalskogo regiona]. Zhurnal geologia i Geofizika – Geology & Geophysics J., 1999, V.40, no.11, pp.1545–1562.

6. Gordienko I.V., Minina O.R., Hegner E., Sitnikova V.S. New data on the composition and age of sedimentary volcanic sequences and intrusives of the Eravna island arc terrane (Trans-Baikal). [Novye dannye po sostavu i vozrastu oca-dochno-vulkanicheskikh tolsch i intruzivov Eravninskogo ostrovoduzhnogo terreina (Zabaikaje)]. Sbornik: vulkanizm i geodinamika. Izdatelstvo BNC SO RAN – Collected papers: Volcanism and Geodynamics. Ulan-Ude Publ.H. BSC SB RAS, 2006, V.1, pp. 154–158.

7. Gordienko I.V., Mironov A.G. Geodynamic and metallogenic evolution of Trans-Baikal in Late Riphean-Paleozoic. [Geodinamicheskaja i metallogenicheskaja evoljutsia Zabaikalja v pozdenem rifee-paleozoe]. Zhurnal Otechestvennaya geo-

logia – National Geology J., 2008, no. 3, pp. 46–57.

8. Dukhovskiy A.A. deep-seated ore-controlling structures. [Glubinnye rudo-kontrolirujushchie struktury].

Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossiiskoi Federacii – State geological map of RF. Scale 1:1000000. Sheet N-49. Chita, 2011, pp. 315–324.

9. Petrov O.V. (Ed.) Mineral resource potential of RF. [Mineralno-syrjevoi potentsial nedr Rossiiskoi Federacii. V.1. St.Petersburg: Publ.H.VSEGEI, 2009, 224 p.

10. Minina O.R. History of development of the Baikal-Vitim foldbelt in Paleozoic (western Trans-Baikal).

[Istoria razvitiia Baikalo-Vitimskoi skladchatoi sistemy v paleozoe (zapadnoe zabaikalje)]. Sbornik statei: Problemy regionalnoi geologii Severnoi evrazii – Collected papers: Problems of regional geology of Northern Eurasia. 2012, Moscow: RSGPU, 2012, pp. 51–54.

11. Nefedjev A.M. Volumetric model and prospects of the Ozerny ore cluster evaluated from geophysical data (Western Trans-Baikal). [Ob'jemnaya model i oценка perspektiv Ozerninskogo rudnogo uzla po geofizicheskim dannym (Zapadnoje Zabaikalje). Ulan-Ude Izdatelstvo BNC SO RAN – Ulan-Ude Publ.H. BSC SB RAS, 2009, 184 p.

12. Nefedjev A.M. Prospects to increment ore reserves of the Ozerny ore mining and processing enterprise (Western Trans-Baikal). [Perspektivy prirosta zapasov rud Ozerninskogo gorn-obogatitel'nogo kombinata (zapadnoe Zabaikalje)]. V sbornike: Prioritety i osobennosti razvitiia Baikalskogo regiona. Ulan-Ude Izdatelstvo BNC SO RAN - In collected papers: Priorities and features of development of the Baikal region. Ulan-Ude Publ.H. BSC SB RAS, 2011, pp. 92–94.

13. Ruzhentsev S.V., Minina O.R., Nekrasov G.E. et al. Baikal-Vitim folded system: structure and geodynamic evolution. [Baikalo-Vitimskaja skladchataja sistema: strojenie i geodinamicheskaya

evolucia]. Zhurnal Geotektonika – Geotectonics J., 2012, no 2, pp. 3–28.

14. Tatjkov G.I., Baderin A.M., Tatjkov I.G. Evaluation of gold ore deposits potential in Buryatia from electric survey logging. [Ocenka potenciala zolotorudnyh mestorozdenii Burjatii po dannym elektro-razvedki]. V sbornike: zoloto severnogo obramlenia Pacifika - Collected conf. papers: «Gold of the Northern Pacific margin». – Magadan, 2011, pp. 123–128.

15. Khrustaljov V.K. Noble metal plate tectonic mineralogy tectonic of the Udino-Vitim island arc system of paleozooids of the Western Trans-Baikal. [Blagorodnometaljnaja plitotektonicheskaja mineragenia Udino-Vitimskoi ostrovoduznoi sistemy paleozoids Zapadnogo Zabaikalja]. Zhurnal Izvestia SO sekcii nauk o zemle RAEN – Newsletters of the Earth Science Section RANS. Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2009, no. 1 (34), pp. 18–27.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук,
профессор Иркутского государственного технического университета Ж.В. Семинский

УДК 553.435

АК-СУГСКОЕ МЕДНО-МОЛИБДЕН-ПОРФИРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОРОД И РУД

© А-Д.О. Монгуш¹, В.И. Лебедев²

¹Тувинский государственный университет, 667000, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36.

²Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667010, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Интернациональная, 117а.

Изучены породы и руды Ак-Сугского медно-молибден-порфирового месторождения. Охарактеризованы основные петрографические разновидности рудовмещающих пород и минеральный состав руд. Рассмотрены две разновидности руд: первичные сульфидные и окисленные. Установлена последовательность отложения минеральных ассоциаций руд.

Библиогр. 3 назв. Ил.10.

Ключевые слова: Ак-Суг; халькопирит; борнит; молибденит; порфир; гидротермальный процесс.

AK-SUG COPPER-MOLIBDENUM-PORPHYRY DEPOSIT: MINERAL COMPOSITION OF ROCKS AND ORES

A-D.O. Mongush, V.I. Lebedev

Tuva State University, 36 Lenin St., Kyzyl, Republic Of Tyva, 667000, Russia.

Tuva Institute of complex natural resources development, SB RAS, 117a Internatsionalnaya St, Kyzyl, Republic Of Tyva, 667010, Russia.

The rocks and ores of the Ak-Sug copper-molybdenum-porphyry deposit were surveyed. The main petrographic varieties of ore-bearing rocks and mineral composition of ores were described. Two varieties: primary sulfide and oxide ores were considered. The sequence of ore mineral associations deposition was determined.

3 references. 10 figures.

Key words: Ak-Sug; chalcopyrite; bornite; molibdenite; porphyry; hydrothermal process.

Ак-Сугское месторождение медно-молибден-порфировых руд находится в верховьях одноименной реки на южном склоне Восточного Саяна в его сочленении с Западным Саяном по зоне Кандатского разлома. Структура месторождения определяется строением Ак-Сугского интрузивного массива, который располагается на сопряжении Ак-Сугского и Челдезрикского региональных разломов. Ак-Сугский разлом, ограничивая интрузив с севера, имеет близширотное, а Челдезрикский – северо-западное простирание. Для Ак-Сугского массива характерна куполовидная асимметричная клиновидная форма с крутым (70–80°) падением контактов под вмещающие породы. Массив

ориентирован в северо-западном направлении.

В геологическом строении рудного поля принимают участие преимущественно гранитоиды Ак-Сугского интрузивного массива девонского возраста. Они распространены в центральной, северной и восточной его частях, а на западном и южном флангах окаймляются вулканогенно-осадочными отложениями толтаковской свиты (?D₂). Вулканогенно-осадочные отложения представлены средне-крупнозернистыми вулканомиктовыми песчаниками вишнево-бурового цвета с прослоями гравелитов, мелкогалечных конгломератов и залежами литокристаллокластических туфов кислого состава. Вулканогенные

¹Монгуш Ай-Демир Олегович, аспирант кафедры физической географии и геоэкологии естественно-географического факультета, тел.: 89233840000, e-mail: aidemirm@rambler.ru

Mongush Ai-Demir, Postgraduate of the Department of Physical Geography and Geocology of Natural Geographical Faculty, tel.: 89233840000, e-mail: aidemirm@rambler.ru

²Лебедев Владимир Ильич, доктор геолого-минералогических наук, директор, тел.: 8(39422) 21853.

Lebedev Vladimir, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, director, tel.: 8(39422) 21853.

обломки сцементированы глинистым и карбонатно-железистым материалом. Эффузивные породы представлены плотными и массивными андезитовыми и диабазовыми порфиритами темно-серозеленого цвета с редкими вкрапленниками полевого шпата. Девонский возраст пород толтаковской свиты до настоящего времени остается дискуссионным [1].

Ак-Сугский интрузивный массив сформирован в несколько фаз, образующих гомодромный ряд от диоритов и габбро по периферии до плагиогранитов и кварц-плагиоклазовых порфиров в его центральной части [2]. В составе массива выделяется три группы пород, соответствующих фазам его формирования: *первая* представлена габбро, диоритами, кварцевыми диоритами и тоналитами; *вторая* – порфиroidными гранодиоритами, тоналитами и плагиогранитами; *третья* – порфирами.

Породы первой фазы занимают около 75% площади интрузивного массива, причем в его северной части развиты тоналиты и кварцевые диориты, а в южной – габбро и кварцевые диориты. Более основные разности пород тяготеют к периферии массива. Основной объем массива (80–90%) приходится на среднезернистые порфиroidные диориты зеленовато-серого цвета, минеральный состав которых представлен плагиоклазом (55–65%), роговой обманкой (10–20%), биотитом (5–10%), кварцем (8–15%) и аксессуарными (1,2%) минералами (магнетит, апатит, сфен).

Породы второй фазы слагают совместно с породами третьей фазы вытянутое в северо-восточном направлении тело в центральной части массива. Оно сложено преимущественно порфиroidными средне-мелкозернистыми тоналитами и плагиогранитами светло-серого и зеленовато-серого цвета. Минеральный состав их относительно прост и выдержан: плагиоклаз, роговая обманка, биотит, кварц, калишпат, магнетит, апатит, сфен, циркон. Общая особенность пород второй фазы – нали-

чие порфиroidных вкрапленников в относительно мелкозернистой основной массе, а также высокая степень гидротермальной проработки в зоне оруденения – от фации кварц-серицитовых метасоматитов до аргиллизитов. Наиболее яркой отличительной особенностью порфиroidных тоналитов является наличие крупных (4–7 мм в диаметре) фенокристов кварца.

К породам третьей фазы отнесены порфиры, которые образуют штокообразное тело в центре массива. К нему приурочена основная часть промышленного оруденения. По структурно-текстурным особенностям выделяются два типа порфиров, для которых характерны различия в неоднородности внутреннего строения, обусловленные соотношением доли порфировых выделений в основной массе, вариациями размера фенокристов.

Наиболее ранними являются порфиры первого типа (аплитовой структуры), слагающие тело неправильной формы размером 500x300 м в западной части массива. Основная масса породы (40–60%) сложена кварцем, калишпатом и плагиоклазом (рис. 1). Из-за интенсивного изменения пород и очень мелкого размера порфировых индивидов (до 0,1 мм) определить количественное соотношение этих минералов не пред-

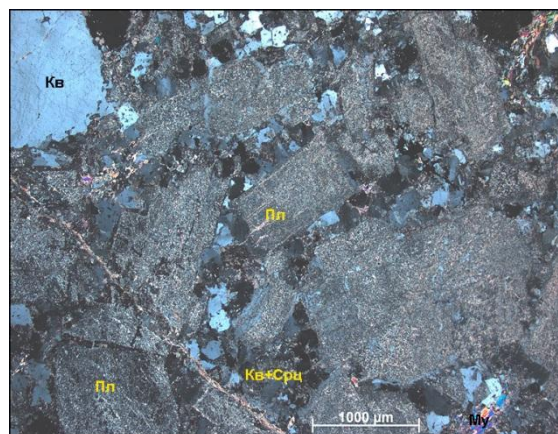


Рис. 1. Порфиры первого типа:
Кв – кварц; Пл – плагиоклаз; Срц – серицит. Прозрачный илиф. Николи скрещены

ставляется возможным. Акцессорные минералы представлены апатитом, магнетитом, цирконом и сфеном. Порфиоровые выделения кварца и плагиоклаза представлены двумя генерациями, различающимися по форме и размерам. Кварц-1 имеет преимущественно форму правильных многоугольников размером 3–6 мм, кварц-2 имеет округлую или овальную форму. Плагиоклаз наблюдается в виде кристаллов короткопризматического габитуса, которые часто образуют ступенчатые сростки или гломеропорфиоровые скопления. Размер кристаллов плагиоклаза первой генерации 2–3 мм, редко более 3 мм, второй – 0,5–0,7 мм (см. рис. 1).

Порфиры второго типа, внедрившиеся позднее, сконцентрированы в центральной части массива. В наименее измененных разностях этих пород отчетливо проявлена порфировая структура (рис. 2), обусловленная наличием изометричных фенокристов кварца (1–3 мм), коротко призматических индивидов и сростков плагиоклаза (до 3 мм), а также роговой обманки, замещенной хлоритом. Основная масса породы (40–60%) характеризуется наличием хорошо различимых зерен кварца, калишпата и плагиоклаза размером 0,2–0,3 мм.

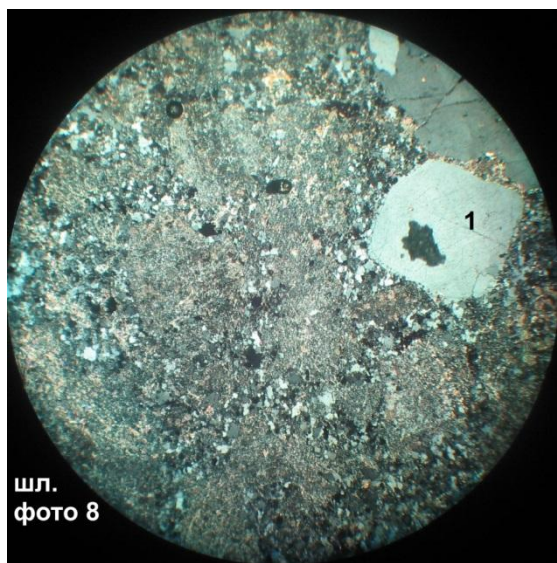


Рис. 2. Порфиры второго типа:
1 – кварц. Прозрачный шлиф. Николи скрещены

Кварц, составляющий 50–55% основной массы, совместно с калишпатом (30–40%) образует аплитовую структуру, а в некоторых участках в сочетании со значительным количеством плагиоклаза – гипидиомофнозернистую (см. рис. 2).

Степень изменения ранних и поздних порфиров одинакова, но в первых она соответствует фации серицит-кварцевых метасоматитов, а во вторых – фации кварцевых метасоматитов (окварцевание). С порфирами ранней генерации связано формирование основной массы медно-порфиорового оруденения, а поздняя генерация была гораздо менее продуктивной и сопровождалась интенсивным окварцеванием, что привело к образованию в центральной части Ак-Сугского интрузивного массива «кварцевого ядра».

В целом породы Ак-Сугского интрузива обладают многими общими чертами: гипабиссальными условиями образования; интенсивными гидротермальными изменениями; одинаковым минеральным составом пород; сходной последовательностью кристаллизации минералов во всех группах пород.

Образование многофазной интрузии и связанного с ней оруденения Ак-Сугского месторождения происходило длительное время. Метасоматическая зональность Ак-Сугского месторождения свидетельствует о его соответствии модели типичного объекта медно-порфиоровой рудной формации. Как на многих месторождениях этого типа, внешняя зона измененных пород представлена пропилитами, промежуточная – кварц-серицитовыми метасоматитами и аргиллизитами, а внутренняя – существенно кварцевыми метасоматитами.

В процессе становления Ак-Сугского массива отделение металоносных флюидов было неоднократным, что и привело вначале к формированию связанной с ранней фазой обширной зоны пропилитизации, а затем наложенных зон калиевого, кварц-серицитового и кварцевого метасоматоза и аргиллиза-

ции, обусловленных воздействием более кислых по составу поздних фаз. Образование большей части промышленного золото-медно-молибден-порфирового оруденения произошло вслед за внедрением порфиров ранней генерации. С поздней фазой порфиров связано переотложение ранее образовавшихся руд и формирование богатых скоплений в виде круто падающей пластинообразной залежи, ориентированной в широтном направлении в трещинной зоне Ак-Сугского разлома. Поздняя фаза порфиров была рудоносной в гораздо меньшей степени, чем первая. Она сопровождалась интенсивным окварцеванием, что и привело к образованию в центральной части месторождения «кварцевого ядра». К северу от него развита кварц-серицитовая зона с богатыми медно-молибден-порфировыми рудами, затем следует прожилитовая с преимущественно прожилковой пиритовой минерализацией.

По составу медных минералов на Ак-Сугском месторождении выделяются следующие разновидности руд: пирит-халькопиритовые и халькопирит-пиритовые, пирит-борнит-халькопиритовые, блёклорудно-(пирит)-халькопиритовые, (халькопирит)-халькозиновые и самородномедные. Наиболее распространёнными типами являются халькопирит-пиритовые и пирит-борнит-халькопиритовые руды.

Халькопирит-пиритовые руды (рис. 3) прожилковой и прожилково-вкрапленной текстуры развиты преимущественно в южной части, а также отмечаются в восточной и северной частях северного фланга Ак-Сугского месторождения.

Пирит-борнит-халькопиритовые и халькопирит-борнитовые руды (рис. 4) прожилкового, вкрапленного и прожилково-вкрапленного облика широко распространены в северной части Ак-Сугского месторождения. Блёклорудное оруденение характерно для глубоких горизонтов в центре и на западе северной

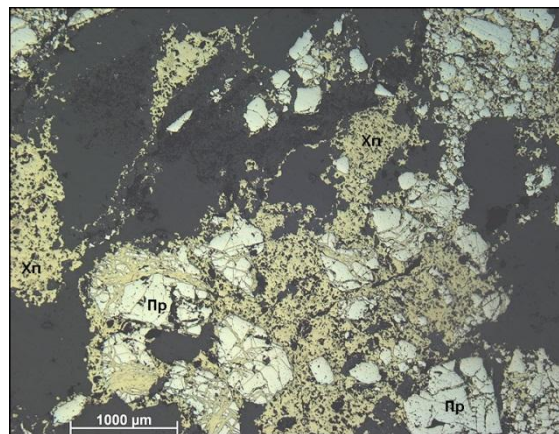


Рис. 3. Халькопирит-пиритовая руда:
Хп – халькопирит; Пр – пирит.
Полированный шлиф

части месторождения. Халькозиновые руды проявлены на северо-западе северной части месторождения. Самородномедные руды отмечаются в западной части месторождения.

Основными ценными компонентами промышленных руд месторождения являются медь и молибден, а второстепенными – золото, серебро и рений.

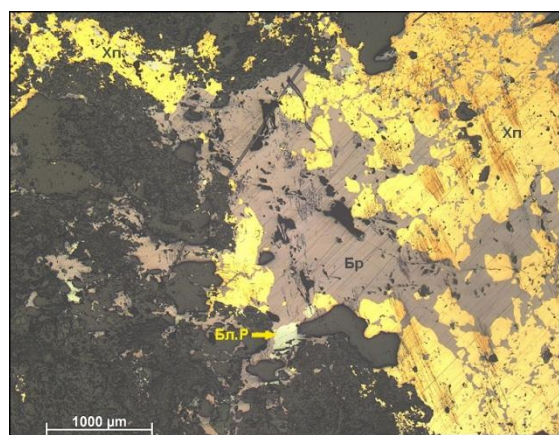


Рис. 4. Пирит-борнит-халькопиритовая руда:
Бр – борнит; Бл.р – блеклая руда.
Полированный шлиф

В результате изучения полированных шлифов на Ак-Сугском месторождении были определены 32 рудных минерала: пирит, халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, теннантит, молибденит, галенит, энаргит, сфалерит, дигенит, клаусталит, пирротин, марказит, сфалерит, гессит, золото, самородная

медь, науманнит, калаверит, петцит, рутил, гематит, магнетит, ильменит, малахит, азурит, вольфрамит, куприт, тенорит, делафоссит и водный минерал железа. Из них главными рудными минералами Ак-Сугского месторождения являются халькопирит, борнит, пирит, молибденит, тенантит, халькозин, энаргит, самородная медь, золото и рутил.

Халькопирит присутствует во всех типах руд Ак-Сугского месторождения в виде интерстиционной вкрапленности аллотриоморфных агрегатов, слагает как мощные (до 2 см), так и тонкие (до волосовидных) прожилки, а также встречается в виде тонких пластинчатых включений в борните.

Пирит является главным сульфидным минералом в верхней части разреза Ак-Сугского месторождения, а в нижней — отмечается спорадически в виде ксеноморфных включений в других сульфидах. Вкрапленники имеют размер от 50 до 300 мкм и обычно окаймляются халькопиритом (рис. 5).

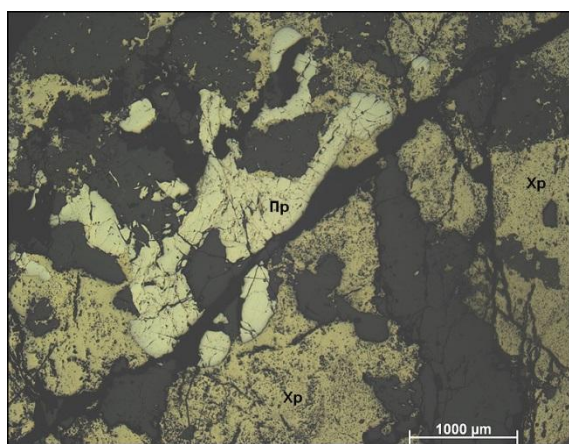


Рис. 5. Вкрапленники пирита.
Полированный шлиф

Для верхней части месторождения характерны зоны карбонат-кварц-пиритовой минерализации. Пирит в этом случае представлен идиоморфными кристаллами размером от 0,1 до 2 мм, которые разделены нерудными минералами и иногда подвержены катаклазу (рис. 6). По химическим анализам в составе пирита примеси не установлены.

Борнит характерен для нижней части разреза месторождения, хотя иногда встречается и в верхней. Он ассоциирует с халькопиритом или с халькозином, являясь преобладающим минералом. Иногда образует включения и прожилки в халькозине, а также самостоятельные вкрапленники или срастания с теннантитом и/или энаргитом.

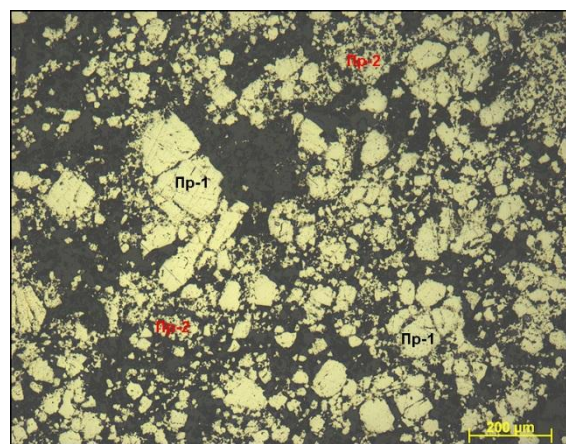


Рис. 6. Округлые вкрапленники пирита (Pr-1) на фоне нерудного агрегата с вкрапленностью более мелкого кристаллического пирита кубического габитуса (Pr-2). Полированный шлиф

Подобно халькопириту борнит формирует аллотриоморфные обособления, вплоть до интерстиционных (рис. 7). Он подвергается замещению халькозином (дигенитом) в борнит-халькозиновых рудах, а в гипергенных условиях — ковеллином. В единичном определении в составе борнита обнаружена примесь серебра (0,5%).

Теннантит присутствует во всех типах руд Ак-Сугского месторождения, а в западной и центральной частях северного фланга рудного поля является главным минералом. Он подобно халькопириту и борниту образует аллотриоморфные или интерстиционные вкрапленники и прожилки, обычно в ассоциации с этими минералами. Теннантит замещает энаргит, иногда образует камки на границе халькопирита и нерудных минералов.

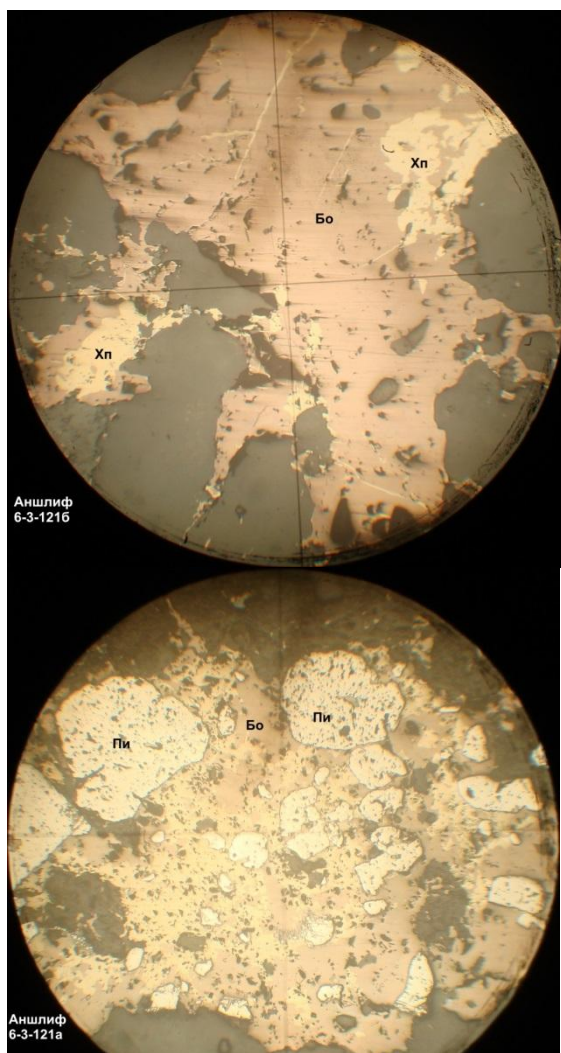


Рис. 7. Крупное зерно борнита (Bo) с выделениями пирита (Пи) и халькопирита (Xn). Полированный шлиф

Молибденит встречается в виде лейстовидных кристаллов размером в десятки микрон (редко до 150 мкм) и их агрегатов размером до 300 мкм, распределён почти по всей мощности рудной залежи. В большинстве этот минерал локализован в карбонат-кварцевых и кварцевых жилах и прожилках. Приуроченная к прожилкам разновидность молибденита может находиться как непосредственно в прожилке, тяготея к его зальбанду, так и на небольшом удалении от него в неизменной породе. Молибденит ассоциирует с борнитом и халькопиритом, а также образует самостоятельные вкрапленники в породе (рис. 8, 9).

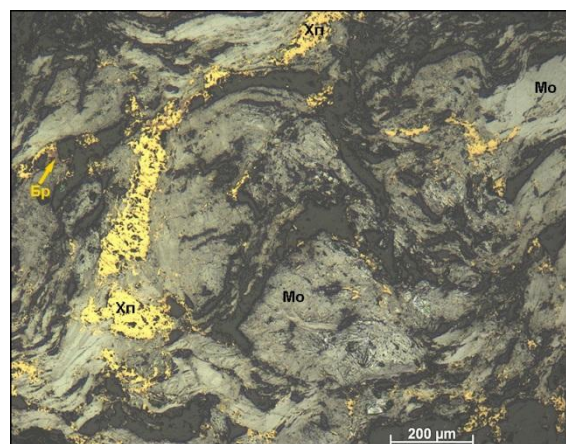


Рис. 8. Молибденит (Mo) с реликтами нерудных минералов и выделениями халькопирита (Xn) с борнитом (Br). Полированный шлиф

Халькозин обнаружен в большинстве изученных аншлифов. Для него характерны единичные аллотриоморфные вкрапленники размером до 10–30 мкм, развивающиеся по халькопириту и борниту. Чаще он образует мелкие (3–20 мкм) включения в других медных сульфидах.

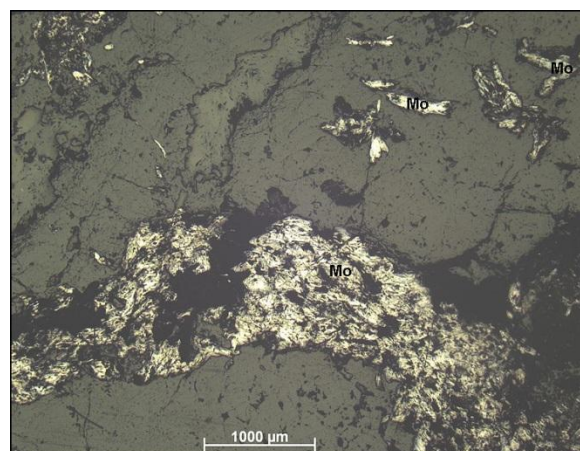


Рис. 9. Вкрапленность отдельных чешуек молибденита (Mo). Полированный шлиф

Ковеллин является редким минералом, но его количество резко возрастает в зоне окисления. Ковеллин образует тонкие каймы мощностью 5–20 мкм, развиваясь преимущественно по борниту. В единичных случаях он присутствует (подобно халькозину) в виде мелких включений в халькопирите и борните, замещая их.

Самородное золото встречается в виде мелких (1–10 мкм) включений неправильной формы в халькопирите, борните и теннантите (рис. 10). Пробность его варьирует от 745 до 871, а содержание примеси серебра составляет 12,9–25,5%, меди – до 2,8%.

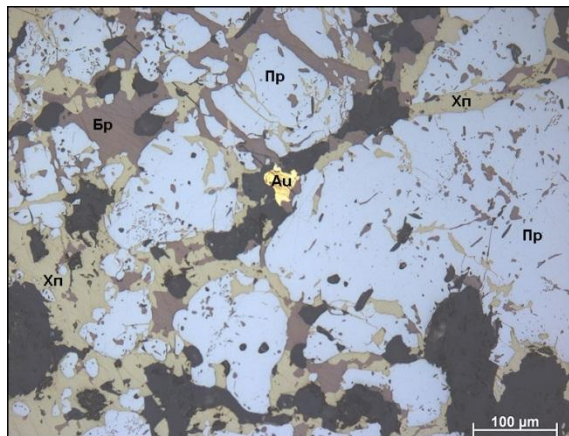


Рис. 10. Выделение самородного золота (Au) в сульфидном агрегате.

*Br – борнит, Пр – пирит.
Полированный шлиф*

Самородная медь содержится в медных рудах, локализованных в туфопесчаниках толтаковской свиты, а также встречается как продукт замещения сульфидов меди в зоне вторичного обогащения окисленных руд. В первом случае самородки меди представлены ксеноморфными вкрапленниками размером до нескольких сантиметров и прожилками мощностью до нескольких миллиметров. В зоне окисления она встречается в виде мелких (первые микроны и менее) вкрапленников в трещинах.

Рутил является главным оксидным рудным минералом, а его содержание составляет около 1,5%, иногда достигая 5%. Для него характерно несколько морфологических разновидностей: идиоморфные и гипидиоморфные кристаллы и их срастания, изометричные зерна, обычно образующие гнездообразные скопления, а также мелкие кристаллы, замещающие ильменит. Идиоморфные кристаллы, вероятно, являются первично магматическими,

имеют размеры порядка 20–200 мкм и обладают характерной полисинтетической двойниковой решеткой. Остальные разновидности являются продуктами замещения ильменита или титаномагнетита. В некоторых образцах можно наблюдать остатки структур распада твердого раствора магнетит-ильменит, а в диоритах зачастую при сохранившемся магнетите ильменит полностью или частично замещен рутилом и нерудными минералами. Большинство кристаллов рутила не содержат примесей, однако иногда встречаются разновидности, содержащие оксид железа (до 2,5%) и оксид вольфрама (до 5,5%) в ассоциации с вольфрамитом.

Водные карбонаты меди — малахит и азурит – широко распространены в зоне окисления рудного штокверка, вскрытой скважинами и траншеями. Малахит образует как вкрапленники, так и прожилки мощностью до 2 мм. Азурит обнаружен в канаве в прожилке мощностью около 3 мм с хорошо выраженными колломорфными структурами.

Выводы

1. Ак-Сугское месторождение является типичным объектом медно-молибденовой рудной формации [3].
2. Внешняя зона измененных пород месторождения представлена пропилистами, промежуточная – рудоносными кварц-серицитовыми метасоматитами и аргиллизитами, внутренняя – преимущественно кварцевыми метасоматитами.
3. Наиболее богатыми рудами являются кварц-серицитовые метасоматиты, вмещающие штокверк сульфидных прожилков, выполненных халькопиритом, борнитом, пиритом, молибденитом, тенантитом, халькозином, энаргитом, самородными – золотом и серебром.
4. Рудные минералы представлены интерстиционной вкрапленностью аллотриоморфных агрегатов, локализованных в прожилках различной мощности и ориентировки.
5. Изучение минерального состава, структуры и текстуры руд, последова-

тельности формирования минеральных ассоциаций свидетельствуют, что ведущим процессом рудообразования был гидротермальный.

Библиографический список

1. Сотников В.И., Калинин А.С., Берзина А.П. Генетическая модель медно-молибденовой формации // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1983. Т.1. С. 112–127.

2. Добрянский Г.И., Сотников В.И., Берзина А.П. и др. Особенности магматизма Ак-Сугского медно-молибденового месторождения. // Магматизм и металлогения рудных районов Тувы. Новосибирск: Наука, 1992. С. 49–62.

3. Сотников В.И., Берзина А.П., Никитина Е.И. и др. Медно-молибденовая рудная формация (на примере Сибири и сопредельных регионов). Новосибирск: Наука, 1977. 422 с.

References

1. Sotnikov V.I., Kalinin A.S., Berzina A.P. Genetic model of copper-molybdenum formation. [Geneticheskaja modelj medno-molibdenovoi formatcii]. Sbornik: Geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatcii – Collected papers: Genetic models of endogenous ore formations. – Publ.H.Novosibirsk: Nauka, 1983, V.1, pp.112–127.

2. Dobryanskiy G.I., Sotnikov V.I., Berzina A.P., Yarovoy S.A. Features of magmatism of Ak-Sug copper-molybdenum deposit. [Osobennosti magmatizma Ak-Sugsky medno-molibdenovogo mestorozhdenia]. Sbornik: Magmatizm i metallogenia rudnykh raionov Tuvy – Collected papers: Magmatism and metallogeny of ore districts in Tuva. Publ.H. Novosibirsk: Nauka, 1992, pp. 49–62.

3. Sotnikov V.I., et al. (Eds.) Copper-molybdenum ore formation exemplified by Siberia and adjacent regions. [Medno-molibdenovaya rudnaya formacia (na primere Sibiri i sopredelnykh regionov)]. Izdatelstvo Nauka – Publ.H. Novosibirsk, Nauka, 1977, 422 p.

Рецензент старший преподаватель
Иркутского государственного технического университета М.В. Яхно

УДК 553.062/.067:550.83.015 (571.61/.64)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОЛОВЯННОГО И ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС – ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ)

© Е.Г. Иволга¹, Ю.Ф. Манилов²

Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН, 680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65.

Приведены результаты количественного прогнозирования эндогенного оруденения с использованием ГИС-технологий. Предложены пространственно-статистические прогнозные модели, создаваемые на основе изучения эмпирических пространственно-статистических связей между рудными объектами и элементами геопотенциальных полей. Выявлены новые региональные особенности размещения золотого и оловянного оруденения в пределах юга Дальнего Востока России.

Библиогр. 23 назв. Ил. 4.

Ключевые слова: количественное прогнозирование; аномалии физических полей; оптимальная прогнозная модель; информационный массив; рудные эталонные объекты.

PREDICTING TIN AND GOLD MINERALIZATION BASED ON GEOPHYSICAL DATA AND GIS TECHNOLOGIES (BY EXAMPLE OF SOUTHERN FAR EAST OF RUSSIA)

E.G. Ivolga, Yu.F. Manilov

Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 65 Kim Yu Chen, Khabarovsk, 680000, Russia.

The paper reports prediction of endogenous mineralization by GIS technologies. The spatial statistical forecast models were based on the empirical spatial and statistical relationships between ore deposits and elements of geopotential fields. New regional features of gold and tin mineralization placement in the south of Russia's Far East have been identified.

23 references. 4 figures.

Key words: prediction; geophysical anomalies; forecast model; information acquisition; ore deposits.

Прогнозные модели в практике геологоразведочных работ традиционно создаются посредством металлогенического анализа на основе геологических, магматических, структурных, геохимических и других критериев оруденения. При этом геофизические критерии делятся на две группы – одни формируются на основе неоднородностей самих полей, вторые – на основе специализированных вещественно-структурных моделей, создаваемых в процессе интерпретации геофизических полей. Поскольку интерпретационные вещественно-структурные геофизические

модели геологически идентифицированы, критерии прогноза оруденения на их основе выражаются достаточно однозначно и понятны пользователям. Что касается геофизических критериев, связанных с неоднородностями самих полей, то здесь однозначного решения нет. Большой спектр видов эндогенного оруденения выражается ограниченным количеством неоднородностей полей (минимум, максимум, градиент), геологическая природа которых может быть разной. Интенсивность и морфология геофизических полей интегрально отражают вещественные неоднородности,

¹Иволга Екатерина Григорьевна, старший научный сотрудник, тел.: 8(4212)734289, e-mail: ivolga@itig.as.khb.ru

Ivolga Ekaterina, Senior Researcher, tel.: 8(4212)734289, e-mail: ivolga@itig.as.khb.ru

²Манилов Юрий Феликсович, старший научный сотрудник, тел.: 8(4212)734289, e-mail: ymanilov@itig.as.khb.ru

Manilov Yury, Senior Researcher, tel.: 8(4212)734289, e-mail: ymanilov@itig.as.khb.ru

созданные всей гаммой геологических процессов, где влияние рудных процессов не является определяющим. Для получения рудной информации используются разные виды трансформаций полей – фильтрации, корреляции, спектральный, статистический анализы и т.д. Методические подходы выбора таких трансформаций четко не разработаны и каждый интерпретатор определяется с этим на основе собственного опыта и знаний о геолого-геофизических критериях изучаемого вида оруденения, т.е. процесс такого анализа содержит большую долю субъективизма.

С 70-х годов в геологоразведочной отрасли в целом и в регионе в частности начали внедряться количественные методы прогнозирования.

Количественное прогнозирование – это процесс выделения перспективных площадей на базе совокупности количественно (метрически) выраженных геологических, геофизических, геохимических и экономических данных с целью предсказания мест возможного положения рудных объектов. Система метризации признаков зависит от типа применяемой прогнозирующей геоинформационной системы (ГИС). Главное отличие состоит в том, что количественное прогнозирование основывается не на генетических, сложно диагностируемых прогнозных моделях, а на пространственно-статистических.

Новые прогнозирующие системы, появившиеся в последнее время, позволяют выполнять предварительный анализ информации геопотенциальных полей с целью формирования геофизических признаков, используемых в дальнейшем при прогнозе [1, 2, 3]. На основе полученных статистических связей геофизических признаков и разных типов рудных объектов возможно создавать как в интерактивном (MULTALT), так и в автоматическом режиме (ПАРК, INTEGRO) «образы искоемых объектов» – оптимальные прогнозные модели [1, 2, 3, 5, 7, 10].

Оптимальная прогнозная модель – это информативная совокупность признаков (образ) для выделения объектов рассматриваемого типа оруденения, сформированная на основе пространственно-статистического анализа.

Таким образом, открываются принципиально новые возможности для формирования прогнозных моделей – на основе углубленного пространственно-статистического анализа карт физических полей. Карты-трансформанты, построенные по разным системам расчетов, вычлениают элементы поля, обусловленные разными геологическими процессами, которые начинают работать на прогноз как бы «вслепую» для исследователя.

Цель исследований – изучение прогностических возможностей магнитометрической и гравиметрической информации при выделении объектов золотой и оловорудной минерализаций в пределах юга Дальнего Востока России.

Главная задача работы – на основе гравиметрических и магнитных данных без привлечения геологических критериев прогнозирования сформировать оптимальные прогнозные модели на указанные виды оруденения, позволяющие разделить территорию региона на перспективные и бесперспективные площади.

Площадь изучения расположена в области сочленения Алдано-Станового щита, Центрально – Азиатского и Тихоокеанского складчатых поясов, частично охватывая территорию Приморского, Хабаровского краев, Еврейской автономной и Амурской областей. В качестве главных тектонических элементов здесь выделяются [12]: юго-восточная часть докембрийской Сибирской платформы; Ханкайский, Охотский и Цзямусы-Малохинганский палеозойские массивы; Монголо-Охотский (восточная ветвь), Верхояно-Колымский (южная часть), Сихотэ-Алинский орогенные пояса; Охотско-Чукотский, Становой, Восточно-Сихотэалинский, Алданский наложенные вулкано-

плутонические пояса. Согласно металлогеническому районированию В.И. Сухова [20] территория размещается в пределах Внешней и Переходной мегазон Тихоокеанского рудного пояса, отличающихся структурными геодинамическими и металлогеническими особенностями. Внешняя мегазона характеризуется парагенезами сидерофильных (P-Fe-Ti, Fe, Mn, Mo), халькофильных (Cu, Pb-Zn) и литофильных (TR, RM, W, Sn, Mo, F) рудных элементов. Металлогения Переходной мегазоны в значительной мере унаследовала характеристики от Внешней мегазоны с существенно возросшей ролью парагенезов (Au, Ag, Cu-Mo, Sn-Cu-Pb-Zn). Большинство исследователей основную металлогению региона связывают либо с орогенным этапом развития территории при субдукции или коллизии литосферных плит, либо с процессами внутриплитного магматизма [20]. Наиболее продуктивный в металлогеническом отношении период – мезозойский [9, 15, 17, 18, 21, 22].

Методика исследований в значительной мере определяется технологией используемой прогнозирующей системы. В целом технология количественного прогнозирования включала три основных этапа работ:

1 – создание информационной базы прогноза, включая создание информационного массива признаков, информационной базы рудных объектов и формирование прогнозных моделей на основе анализа возможностей имеющихся карт-трансформант;

2 – решение прогнозных задач;

3 – выработка прогнозного заключения.

Первые два этапа связаны с технологией работы в системе, последний этап – интерпретация полученных результатов – выполнялся непосредственно исследователем.

Основу информационной базы прогноза составили: карта аномального магнитного поля масштаба 1: 2 500 000 [11]; карта гравитационного поля мас-

штаба 1: 2 500 000, созданные по съемкам 1:200 000, реже 1: 1 000000; карта рудоносности масштаба 1:1500000 [19]. Для увеличения информационного массива признаков дополнительно были созданы 44 карты – трансформации гравитационного и магнитного полей. Они отражают деление полей на региональную и локальную составляющие, обусловленные разноглубинными процессами; учитывают степень дифференциации разноуровневых аномалий (стандартное отклонение, энтропия); показывают особенности корреляционных связей между аномалиями указанных полей.

Информационная база рудных объектов настоящих исследований – это адаптированная к данной прогнозной системе база, созданная при составлении карты рудоносности [20]. Рудная база прогноза состоит из месторождений разных видов, разделенных по генетическим, рудно-формационным особенностям и по величине разведанных запасов (крупные, средние, мелкие). В методическом отношении прогнозирование заключалось в решении прогнозных задач методом «распознавания образов» в рамках созданной информационной базы прогнозирования. Главным выходным материалом является карта меры сходства с эталоном для каждого элемента. Она выражает степень близости выделенной площади с эталонным объектом в долях единицы (в процентах). Вся изучаемая территория была разделена на элементарные ячейки 2.5x2.5 км. На основе сравнения прогнозных моделей с признаками в элементарной ячейке рассчитывалась мера сходства с эталоном для каждой элементарной ячейки и строились карты меры сходства с эталоном.

Результаты выполненных исследований делятся на прогнозные и методологические. *Прогнозные результаты* представлены тремя сериями карт: картами меры сходства с эталоном, прогнозными картами и картами металлогенических поясов. Они отражают ре-

зультаты прогнозирования разных уровней обобщения. Карты первой серии получены в результате прогнозирования в ГИС, карты второй серии – в результате выделения прогнозных площадей на основе карт первой серии [6], а карты третьей серии – в результате интерпретации карт первой и второй серий с выделением региональных металлогенических подразделений.

Результаты прогнозирования оловянного оруденения приведены на рис. 1А и 2Б. Прогнозные задачи отдельно решались для объектов касситерит-сульфидной, касситерит-кварцевой, касситерит-силикатной и грейзеновой формаций.

Согласно картам мер сходства с эталоном, для всех рудных формаций характерна достаточно высокая степень сходства – более 0.6. Прогнозная карта построена вручную путем наложения перспективных площадей, выделенных на основе карт мер сходства для каждо-

го рудно-формационного типа оруденения. Чем большее количество видов штриховок приходится на данную площадь, тем чаще она попадала в разряд перспективных. Полученные перспективные площади территориально обособились достаточно четко, внутри их выделяются более локальные участки, по размерам соответствующие рудным районам, как уже известным, так и перспективным. Перспективные площади разных оловорудных формаций совмещены в пространстве и создают оловорудные пояса: Сихотэ-Алинский, Хингано-Эвурский, Южно-Верхоянский, Нельканский и Верхне-Амурский (рис. 3В). Три первых совпадают с известными оловоносными областями [17, 18], а две последних с позиций сегодняшней рудоносности плохо объяснимы, хотя рудопроявления и точки минерализации в этих районах имеются.

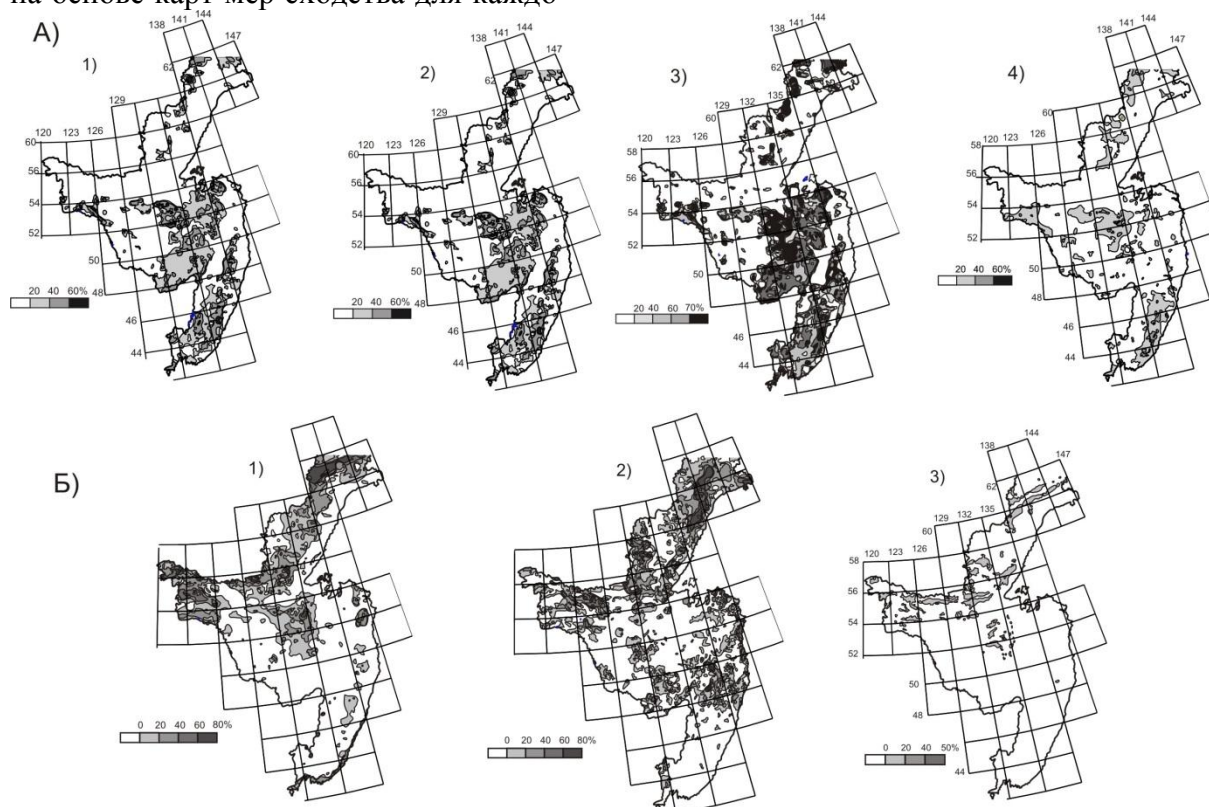


Рис. 1. Карты мер сходства с эталоном:

А – для рудных формаций оловянного оруденения: 1 – грейзеновой, 2 – касситерит-силикатной, 3 – касситерит-кварцевой, 4 – касситерит-сульфидной;

Б – для рудных формаций золотого оруденения: 1 – золото-кварцевой, 2 – золото-серебряной, 3 – золото-сульфидной.

Шкалы раскрасок отражают степень мер сходства с эталоном в процентах.

Наиболее перспективным является Хингано-Эвурский пояс. Он охватывает наибольшую по площади территорию, в его пределах находится несколько промышленных оловорудных районов (Хинганский, Баджалский, Комсомольский, Дуссе-Алинский и Ям-Алинский). В пределах пояса удалось выделить наибольшее количество перспективных новых районов, особенно в его северной части. Сихотэ-Алинский пояс делится на три разобщенных площади: Арму-Кавалеровская, в пределах которой находится промышленный Кавалеровский оловорудный район, фактически оконтуривает известную оловоносную область; Бута-Копинская площадь, перспективы которой также доказаны, здесь имеется несколько мелких месторождений; Кировско-Чугуевская площадь, где имеются мелкие оловорудные объекты, но перспективы в целом менее определенные (рис. 2Б). Несколько пер-

спективных площадей выделено в пределах Ханкайского массива, где также известны несколько оловорудных объектов (Ярославское, Чапаевское, Первомайское месторождения). Нельканская и Верхне-Амурская площади слабо отражены на прогнозной карте, для них характерна невысокая мера сходства с эталоном, меньше 0.6, однако они имеют выраженность на всех 4-х картах мер сходства и особенно четко просматриваются в пределах предполагаемого распространения грейзеновой и олово-кварцевой формаций.

Выделенные перспективные площади на олово пространственно согласуются с таковыми на вольфрам, что позволило их рассматривать как *олово-вольфрамы рудные пояса* (рис. 3В). Физическая природа выделенных поясов – это линейная совокупность аномалий или элементов гравитационного и магнитного полей, контролирующих

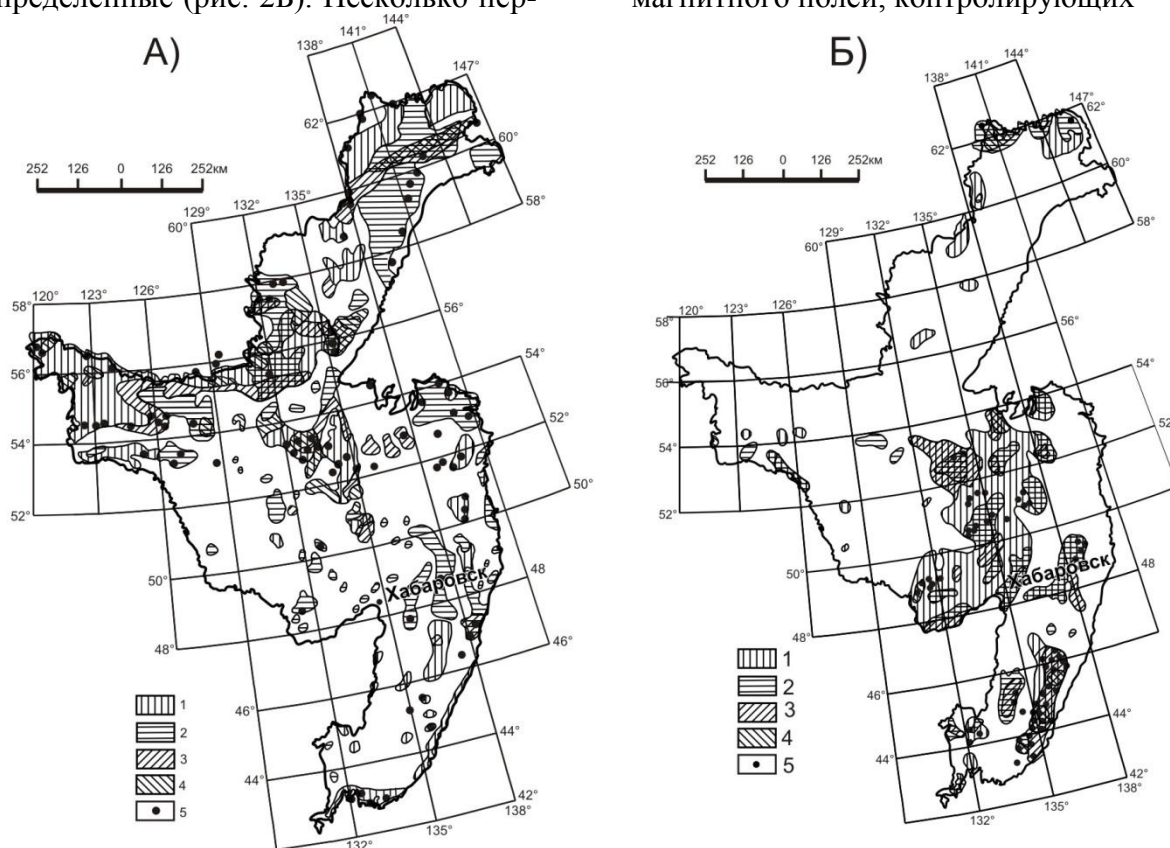


Рис. 2. Карты перспективных площадей:

А – перспективные площади на золото, рудные формации: 1 – золото-кварцевая, 2 – золото-серебряная, 3 – золото-сульфидная, 4 – золото-кварц-сульфидная, 5 – месторождения золота;

Б – перспективные площади на олово, рудные формации: 1 – касситерит-кварцевая, 2 – касситерит-силикатная, 3 – касситерит-сульфидная, 4 – грейзеновая, 5 – месторождения олова

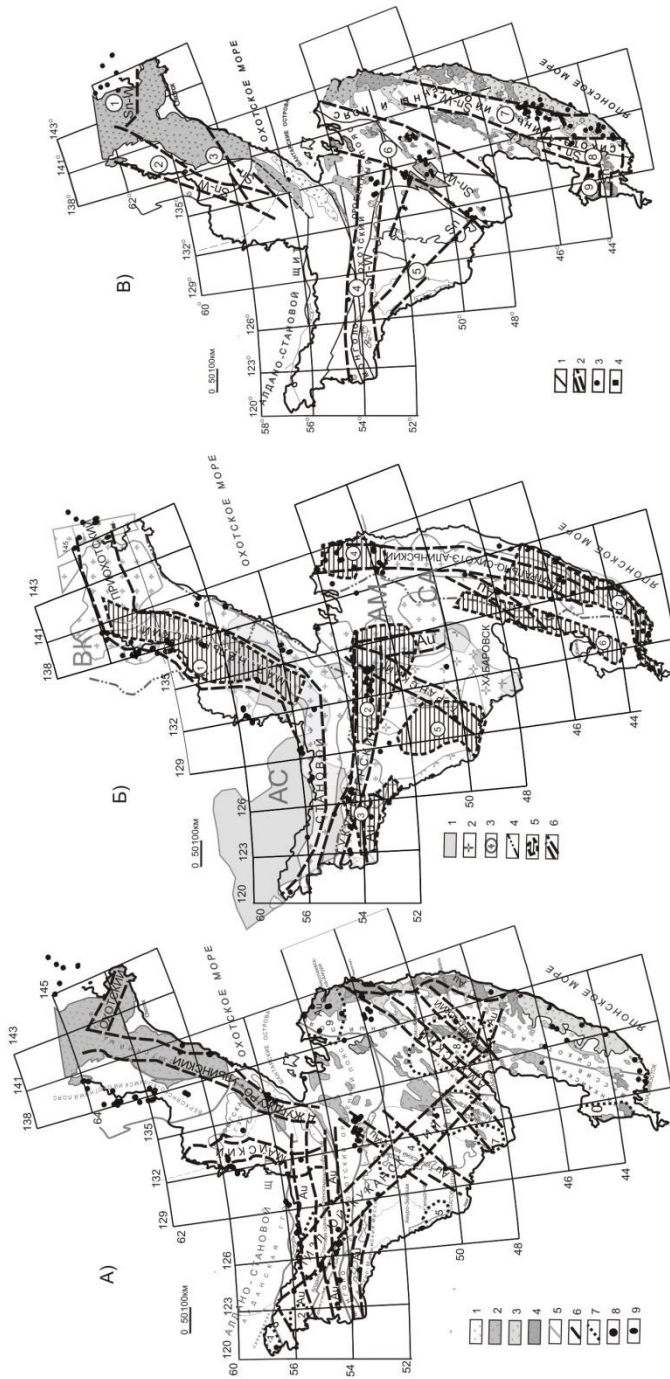


Рис. 3. Золоторудные и оловорудные пояса и ареалы юга Дальнего Востока России:

А – золото-серебряные: 1 – вулканогенные образования преимущественно кислого состава юрского возраста; 2 – вулканогенные образования преимущественно кислого состава мелового возраста; 3 – вулканогенные образования преимущественно кислого состава палеоген-неогенового возраста; 4 – вулканогенные образования базальтоидного состава неоген-четвертичного возраста; 5 – границы основных тектонических структур; 6 – границы поясов Au-Ag оруденения; 7 – границы ареалов Au-Ag оруденения; 1 – Олекминский, 2 – Одолгинский, 3 – Бомнакский, 4 – Туранский, 5 – Нижне-Зейский, 6 – Нилманский, 7 – Мало-Хинганский, 8 – Комсомольско-Мухенский, 9 – Нижне-Амурский, 10 – Ханкайский; 8 – месторождения золота; 9 – месторождения золота золото-серебряной рудной формации.

Б – золото-полиметаллические: 1-3 – гранитоидные ареалы; 1 – позднепротерозойского (1), палеозойского (2) и мезозойского (3) возраста; 4 – границы металлогенических провинций: ВК – Верхояно-Колымской, АС – Алдано-Становой, АМ – Амурской, СА – Сихотэ-Алинской; 5 – ареалы перспективные на полиметаллическое оруденение: 1 – Мая-Нельканский, 2 – Селемджинский, 3 – Верхне-Амурский, 4 – Нижне-Амурский, 5 – Туранский, 6 – Ханкайский, 7 – Южно-Сихотэ-Алинский; 6 – перспективные золоторудные пояса золото-кварцевого оруденения.

В – олово-вольфрамовые: 1 – границы основных тектонических структур; 2 – перспективные олово-вольфрамовые пояса и ареалы: 1 – Южно-Верхоянский, 2 – Нельканский, 3 – Джугдзурский, 4 – Туруингерский, 5 – Верхне-Амурский, 6 – Хинган-Эвурский, 7 – Сихотэ-Алинский, 8 – Приханкайский, 9 – Ханкайский; месторождения разных рудных формаций: 3 – олова; 4 – вольфрама.

Условные обозначения для вулканогенных образований см. на рис. 2

размещение объектов изучаемого типа оруденения. В металлогенической интерпретации они отражают разноранговые критерии оруденения. Большинство выделенных поясов расположены в зонах сочленения разновозрастных жестких тектонических сооружений (массивов и щитов) с орогенными областями, для которых характерно проявление разновозрастного гранитоидного магматизма.

С.М. Родионовым [17] доказано, что такое сочетание является важнейшим фактором формирования оловянных месторождений. В пределах выделенных поясов основные промышленные объекты находятся в восточной части площади, что достаточно убедительно доказывает их перспективы. Пояса западной части являются репером для внимания специалистов к этим площадям, поскольку подтверждений в виде промышленных объектов они пока не имеют.

Прогнозные задачи для *золотого* оруденения решались для золото-кварцевой, золото-серебряной, золото-сульфидной и золото-кварц-сульфидной рудных формаций. Наиболее информативные карты получены для золото-кварцевой и золото-серебряной формаций, где мера сходства с эталонами достигает 0.8, хуже для золото-сульфидной – 0.5 и практически незначима для кварц-сульфидной – 0.3. На приведенной карте (см. рис.1Б) перспективные площади разных формаций разобщены по территории, пересекаясь в редких случаях.

Они имеют разную геометрию выделяемых перспективных золоторудных площадей – для золото-кварцевой формации больше характерен ареальный характер размещения, а для золото-серебряной и золото-сульфидной – линейный. Пространственно золото-сульфидное оруденение больше тяготеет к объектам золото-кварцевой формации, чем к золото-серебряной.

Главный ареал перспективных на золото площадей, согласно прогнозной

карты (см. рис. 2А), приурочен к северной части изучаемой территории, где выделены перспективные площади для всех типов оруденения (золото-кварцевое, золото-серебряное и золото-сульфидное). Перспективы южной части в основном связаны с золото-серебряными объектами, где наряду с линейными зонами проявились и наиболее перспективные ареалы: Турканский, Малохинганский и Комсомольско-Мухенский (см. рис. 3А). На юге также имеются перспективные площади золото-кварцевого оруденения в пределах Центрального Сихотэ-Алиня, Селемджино-Кербинского района, слабые – в Ханкайском.

Для региона в целом наилучшие прогнозные перспективы имеют следующие территории: Приохотская область, юго-восточная часть Алдано-Станового щита (Турканский блок, Учуро-Майская тектономагматическая структура [23]), Селемджино-Кербинский, Нижне-Амурский и Комсомольско-Мухенский районы. Особого внимания заслуживает Приохотский район. Значимость этого района ранее определялась [15,19], главным образом, объектами золото-серебряного оруденения, связанного с вулканитами (Ульинская, Кухтуйская зоны). Выполненные исследования показывают, что перспективы данного района могут быть расширены за счет объектов золото-кварцевого оруденения. Наибольшее внимание заслуживает площадь восточно-юго-восточного простираения, расположенная в зоне сочленения Охотского массива и Южно-Верхоянской зоны Верхояно-Колымского орогенного пояса. Площадь контролируется зоной гравитационного градиента на южной оконечности гравитационного минимума, обусловленного, вероятно, процессами гранитизации. Далеко не исчерпаны ресурсы и Учуро-Майской кольцевой тектономагматической структуры [23] (Алдано-Становой щит), в пределах которой уже известно несколько золоторудных месторождений (Томптокан-

ское, Маймаканское, Етара, Авлаканское, Колчеданный утес). Структура расположена в области сочленения золото-кварцевого Мая-Нельканского и Майского золото-серебряного поясов со Становым, что, вероятно, способствует формированию полиформационного и многоэтапного оруденения. Для Селемджино-Кербинского и Нижне-Амурского районов существенного наращивания прогнозных объектов ждать не приходится, приращение перспектив возможно связывать с увеличением Селемджино-Кербинской зоны в юго-восточном направлении до Агниво-Афанасьевского района. В качестве перспективной на золото-серебряное оруденение выделяется Мухенско-Тумнинская площадь (Комсомольско-Мухенский ареал), в пределах которой уже имеются золоторудные месторождения (Дурминское, Тумнинское), но как золоторудная область она находится на стадии изучения. Требуется дальнейшего изучения Малохинганский район. Как россыпной он эксплуатируется давно, поиски рудных объектов золото-серебряной формации следует связывать с Хингано-Эвурским вулканическим поясом. Дополнительного внимания заслуживают Гилюйский и Туранский золоторудные пояса, которые на значительном протяжении перекрыты осадками мезо-кайнозойских впадин и на поверхности проявлены фрагментарно (Прогнозное месторождение в Туранском поясе, Октябрьский золоторудный район и месторождение Нони в Гилюйском), но по геофизическим данным имеют четкий структурный контроль на глубине [13].

Анализ показывает, что перспективные оловоносные площади пространственно совпадают с золото-кварцевыми и разобщены с золото-серебряными, что, вероятно, отражает особенность магматического контроля указанных типов оруденения.

В целом достоверность выделения перспективных площадей (поясов) определяется качеством использован-

ных оптимальных прогнозных моделей. Поэтому **методологический результат** данных исследований – это обоснование возможности универсализации процесса прогнозирования разных типов оруденения на конкретных территориях на основе геофизической информации. Базой для универсализации могут служить оптимальные прогнозные модели, которые в данной ГИС представляют собой набор информативных («работающих») признаков (трансформаций) и их «рабочих» интервалов для рассматриваемого типа оруденения, который выбирается системой автоматически из имеющейся базы данных. На первом этапе выполняется поиск рабочих градаций признака путем сопоставления распределения признака на территориях, где нет эталонных объектов, и распределения признака, где эталонные объекты есть. В качестве рабочих градаций принимаются такие градации, при которых эти распределения имеют наибольшее различие. Далее оценивается информативность выделенных градаций признаков как отношение вероятностей выделенной градации объекта к любой другой градации этого признака. Малоинформативные градации на основе порога дискриминации отбрасываются. Оценка значимости признака определяется как сумма значимости его градаций. Значимость градации по определению – функция ее информативности и частоты встречаемости среди объектов обучения. Отбор в информативную совокупность признаков (оптимальную прогнозную модель) осуществляется из числа признаков, обладающих существенной положительной значимостью. Результат такого автоматического анализа выдается в виде отчета (распечатки), где указаны признаки, вошедшие в оптимальную прогнозную модель, их информационные веса и функции значимости. Математический аппарат и алгоритм создания оптимальных прогнозных моделей детально изложены в [3].

В случае необходимости через «рабочие» интервалы признаков и их

информационные веса прогнозная модель может корректироваться исполнителем. Визуализация оптимальных про-

гнозных моделей для указанного оруденения приведена на рис.4.

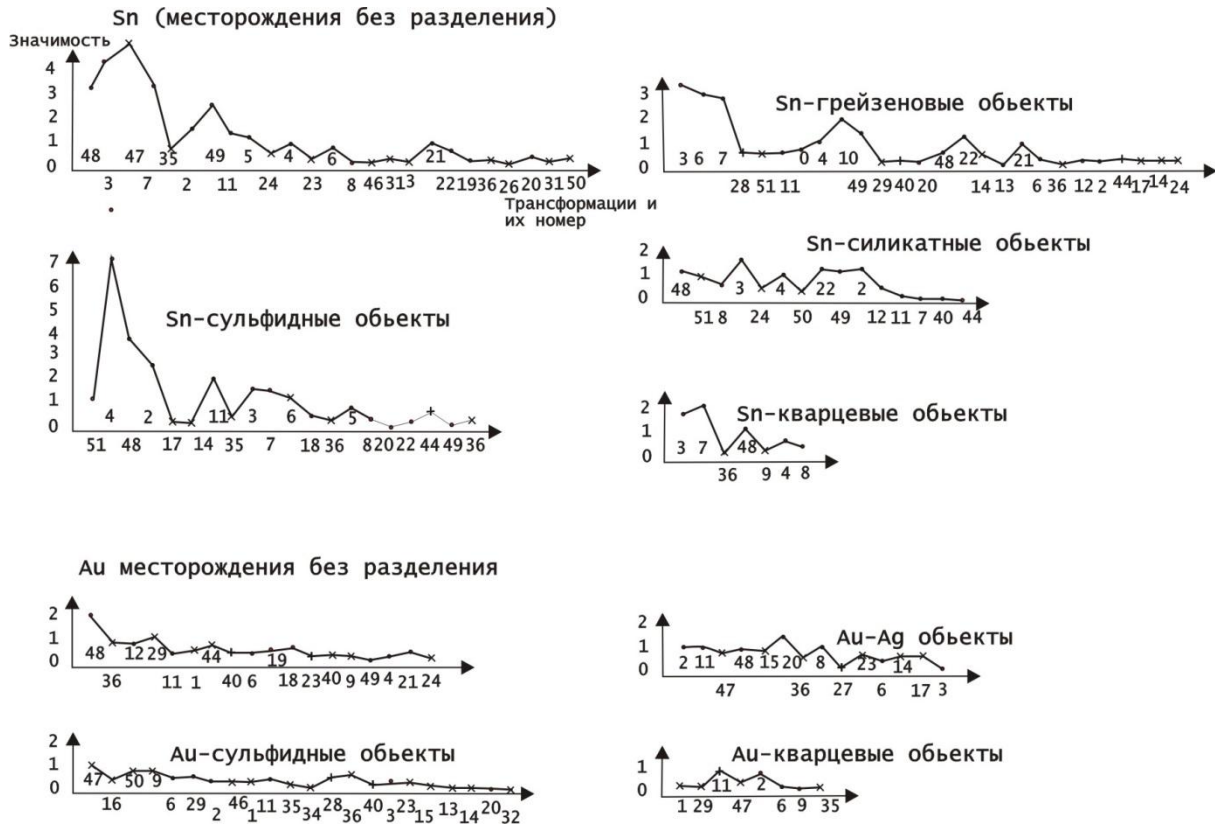


Рис. 4. Содержание оптимальных прогнозных моделей золотого и оловянного оруденения:

Трансформанты (признаки): 0 – карта аномального магнитного поля; 1 – карта аномально-гравитационного поля; 3 – осреднение магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 4 – энтропия осредненного магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 5 – градиент магнитного поля; 6 – осреднение магнитного поля $R=5\text{км}$; 7 – стандартное отклонение осредненного магнитного поля $R=5\text{км}$; 8 – энтропия осредненного магнитного поля $R=5\text{км}$; 9 – осреднение гравитационного поля $R=12.5\text{км}$; 10 – направление максимального градиента осредненного магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 11 – медиана осредненного магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 12 – анизотропия осредненного магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 13 – направление анизотропии осредненного магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 14 – энтропия гравитационного поля $R=5\text{км}$; 15 – градиент гравитационного поля; 17 – стандартное отклонение осредненного гравитационного поля $R=5\text{км}$; 18 – анизотропия локальных аномалий магнитного поля $\Delta T_0-\Delta T_{12.5}$; 19 – направление анизотропии локальных аномалий $\Delta T_0-\Delta T_{12.5}$; 20 – энтропия локальных аномалий $\Delta T_0-\Delta T_{12.5}$; 21 – остаточные аномалии магнитного поля $\Delta T_5-\Delta T_{12.5}$; 22 – остаточные аномалии магнитного поля $\Delta T_0-\Delta T_{12.5}$; 23 – остаточные аномалии гравитационного поля $\Delta G_0-\Delta G_5$; 24 – остаточные аномалии гравитационного поля $\Delta G_5-\Delta G_{12.5}$; 26 – коэффициент корреляции осредненных полей $R=12.5\text{км}$; 27 – коэффициент сопряженности $\Delta T_0, \Delta G_0$; 28 – энтропия $\Delta T_0, \Delta G_0$; 29 – осреднение гравитационного поля $R=5\text{км}$; 34 – стандартное отклонение осредненного гравитационного поля $R=12.5\text{км}$; 35 – энтропия осредненного гравитационного поля $R=12.5\text{км}$; 36 – медиана осредненного гравитационного поля $R=12.5\text{км}$; 40 – энтропия коэффициента сопряженности полей $\Delta T_{12.5}, \Delta G_{12.5}$; 44 – коэффициент сопряженности локальных аномалий $\Delta T_{12.5}, \Delta G_{12.5}$; 47 – энтропия локальных аномалий $\Delta G_0-\Delta G_{12.5}$; 48 – осреднение магнитного поля $R=12.5\text{км}$; 49 – остаточные аномалии магнитного поля $\Delta T_0-\Delta T_{25}$; 50 – осреднение гравитационного поля $R=25\text{км}$; 51 – остаточные аномалии $\Delta G_0-\Delta G_{25}$

Более компактные оптимальные прогнозные модели получены для *оловянного* оруденения. Для них характерно большее количество признаков, среди которых выделяется группа с высокими показателями значимости (до 7), т.е. имеется группа хорошо работающих признаков, с которых можно формировать компактную модель. Это карты стандартного отклонения магнитного поля (минимумы), карта энтропии магнитного поля (минимумы), карта локальных аномалий магнитного поля (знакопеременные аномалии малой интенсивности), карта локальных отрицательных аномалий гравитационного поля. Последний признак является определяющим и при традиционном прогнозировании (область разуплотнения, соответствующая гранитоидному интрузиву), магнитное поле при таком прогнозе используется слабо. Вариации состава оптимальных моделей в зависимости от рудно-формационной принадлежности эталонов небольшие.

Для *золотого* оруденения получены менее компактные оптимальные модели. Для них характерно меньшее количество признаков без четко выделенных экстремумов, показатель значимости не превышает 2. Состав признаков моделей в значительной степени зависит от рудноформационного состава. Ведущим методом выделения площадей золото-серебряного оруденения является магниторазведка – повышенная энтропия локальных аномалий магнитного поля. Прогнозные объекты размещаются в области высокоэнтропийных, средней интенсивности положительных магнитных полей, что хорошо объясняется приуроченностью рудных объектов к вулканоплутоническим поясам, отличающимся дифференцированным положительным магнитным полем. Перспективные площади золото-кварцевой формации размещаются в областях слабоположительного магнитного поля (до 1мэ) и малой энтропии гравитационного поля (менее 1), что отвечает приуроченности этого вида оруденения к гранито-

идным поясам. При выделении площадей с золото-сульфидным оруденением ведущим методом прогнозирования является гравиразведка: энтропия локальных аномалий гравитационного поля (1–2.5); осреднение с различными радиусами. В целом процент попадания известных рудных объектов в область перспективных площадей ниже, чем для оловянного оруденения.

Таким образом, прогнозные модели на золото и олово существенно отличаются. Модели оловянного оруденения включают признаки с четко выраженными экстремумами функции значимости, которые формируют компактную прогнозную модель с высокой прогностической способностью. В то же время для золотого оруденения характерен слаборасчлененный график, указывающий на то, что в рамках данного информационного массива не удастся найти высокоинформативные признаки, т.е. прогнозный образ размыт, а следовательно, и качество выделения перспективных площадей хуже. Требуется дополнительная работа по привлечению либо новых признаков в информационный массив, либо более тщательное формирование эталонной выборки. Качество информационного массива зависит от того, насколько удачно подобраны сами рудоконтролирующие признаки, насколько высока их разрешающая способность отличать рудные объекты от безрудных. Под качеством эталонного обеспечения понимается, в первую очередь, однородность эталонной выборки и её количественное обеспечение.

Важным моментом является соотношение прямых и косвенных признаков оруденения в информационном массиве [4, 6]. Чем больше в прогнозной модели прямых признаков, тем с большей вероятностью будут выделяться перспективные площади (участки), но тем меньшее количество их будет выделяться – т.е. перспективные территории не будут выходить за пределы известных рудных объектов. При прогнозировании рудного района фактически про-

гнозируется рудоконтролирующая структура (рудно-магматическая система), и поэтому на данном этапе использование прямых признаков нежелательно [8, 13, 16]. Имеющиеся на территории месторождения и рудопроявления здесь лучше использовать для оценки качества прогноза (чем больше таких объектов попадает в пределы выделенной перспективной площади, тем увереннее прогноз). Даже на уровне прогноза месторождений геохимические ореолы и прямые признаки оруденения должны быть строго дозированы, чтобы сохранить баланс между качеством и количеством прогнозируемых областей.

Наличие эмпирических связей между элементами поля и рудными объектами указывает на возможность создания унифицированных прогнозных геофизических моделей для отдельных видов оруденения на данной территории. Приведенные графики оптимальных моделей являются прообразами таких моделей для указанного оруденения, требующими дальнейшей доработки. Унифицированные прогнозные модели важны как для качественного, так и для количественного прогнозирования. При качественном прогнозировании содержание приведенных прогнозных моделей позволяет выделить статистически обоснованные наиболее эффективные трансформанты и их прогнозистические элементы. При количественном прогнозировании наличие таких моделей особенно важно в районах не обеспеченных эталонами, где количественное прогнозирование не может выполняться алгоритмом «распознавания образов», но возможно на основе экспертных (эвристических) моделей. В этом случае содержание экспертных моделей определяется на основании содержания оптимальных моделей с эталонами (виды трансформаций, их рабочие интервалы, информационные веса, значимость). Анализ содержания использованных прогнозных моделей показал, что подавляющее их большинство не содержит карт наблюдаемых

полей. Это можно объяснить тем, что рудная информация в исходных полях подавлена более мощным эффектом крупных геологических образований, поэтому непосредственно для прогноза без предварительной обработки (трансформаций) исходные карты полей для количественного прогнозирования имеют невысокую разрешающую способность.

Трансформации магнитного поля входят в состав большинства оптимальных моделей, что говорит о важности элементов магнитного поля для выделения перспективных площадей. В современной практике прогнозно-поисковых работ особенности магнитного поля используются в значительно меньшей степени, чем гравитационного. Это связано с тем, что гравитационное поле больше отражает элементы геологического строения территории и в содержательном плане более понятно исследователю. В то время как природа аномалий магнитного поля более сложная: она обусловлена как породным разнообразием, так в значительной степени продуктами метасоматических процессов (особенностями распределения железистых минералов в продуктах этого процесса). В свою очередь, метасоматические процессы являются индикаторами рудообразования. Это подтверждают петрофизические исследования по связи эндогенного оруденения с магнитными характеристиками гранитоидных образований [14].

Выводы. Выполненные исследования доказали, что применение прогнозирующих ГИС-технологий существенно повышает прогностические возможности магнитных и гравитационных данных. Реализация этих возможностей зависит от полноты описания полей с помощью трансформант (информационной базы признаков) и от точности классификации рудных объектов (выбора эталонных объектов). Выделенные новые перспективные площади на указанные виды оруденения требуют дальнейшей геологической интерпретации.

Библиографический список

1. Богданов Л.А. и др. Технология геофизического прогноза рудных объектов при геологическом изучении недр и поисковых работах (масштабы 1:1000000 – 1:5000) // Международная геофизическая конференция: тезисы докладов. СПб., 2000. С. 228–230.
2. Галуев В.И. и др. Блок обработки геофизических данных при решении прогнозных задач. Руководство пользователя ГИС INTEGR0. М.: ВНИИ Геоинформсистем, 2001. 113 с.
3. Геоинформационная система ПАРК. Руководство пользователя. Часть V: Анализ и интерпретация данных. М.: Ланэко, 1999. 81с.
4. Глубинное геолого-геофизическое картографирование при среднемасштабных геологосъемочных работах. Владивосток: Дальнаука, 2002. 243 с.
5. Гольцман Ф.М. Калинин Д.Ф., Калинина Т.Б. Компьютерная технология «MULTALT» многоальтернативной классификации и прогноза по комплексу геоданных // Российский геофизический журнал. 2000. №17–18. С. 64–70.
6. Иволга Е.Г. Возможности прогнозирования рудных районов и металлогенических зон юга Дальнего Востока на основе анализа физических полей с использованием компьютерных технологий // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии. Хабаровск, 2003. С. 327–345.
7. Иволга Е.Г., Манилов Ю.Ф. Региональное количественное прогнозирование перспективных на эндогенное оруденение площадей на основе физических полей в пределах юга Дальнего Востока России // Руды и металлы. 2010. № 6. С. 10–21.
8. Изучение объемного строения эндогенных рудных районов при геологосъемочных работах: методическое пособие по объемному геологическому картированию. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 327 с.
9. Лобов А.И. Краткая характеристика комплексных минерагенических провинций, областей и структурно-минерагенических зон Амурской области // Геология и полезные ископаемые Приамурья. Хабаровск: Магеллан, 1999. С. 159–172.
10. Калинин Д.Ф., Калинина Т.Б. Компьютерная технология «MULTALT» для решения многоальтернативных прогнозных и картировочных задач рудной геофизики // Международная геофизическая конференция: тезисы докладов. СПб., 2000. С. 523–525.
11. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) СССР. Континентальная часть и некоторые прилегающие акватории масштаба 1 : 2 500 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1977.
12. Карсаков Л.П., Чжао Чуныцзин, Горошко М.В. и др. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
13. Манилов Ю.Ф. Особенности глубинного строения юго-восточной части Аргуно-Мамынского массива (по геофизическим данным) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 39–48.
14. Мишин Л.Ф., Романовский Н.П. Окислительно-восстановительные обстановки формирования и металлогеническая специализация рудномагматических систем юга Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 1992. №6. С. 31–42.
15. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 332 с.
16. Павлов Ю.А., Рейнлиб Э.Л. Гравитационные аномалии и гранитоидный магматизм юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. 86 с.
17. Родионов С.М. Металлогения олова Востока России. М.: Наука, 2005. 325 с.
18. Родионов С.М., Малышев Ю.Ф. и др. Глубинное строение уникальных рудоносных структур Дальнего Востока России // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископа-

емых. Т.3, кн.1: Стратегические виды рудного сырья Востока России. М: ИГЕМ РАН, 2006. С.103–130.

19. Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Дуан Жуйянь и др. Золотоносность юга Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 26, №6. С. 1–15.

20. Сухов В.И., Бакулин Ю.И., Лощак Н.П. и др. Металлогения Дальнего Востока России. Хабаровск: Изд-во ДВИМСа, 2000. 217 с.

21. Ханчук А.И., Иванов А.И. Геодинамика Востока России в мезокайнозойе и золотое оруденение // Геодинамика и металлогения. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 7–30.

22. Эйриш Л.В. О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока // Геология рудных месторождений. 2009. Т.51, №3. С. 250–260.

23. Юшманов В.В. Тектономагматические концентрические комплексы. М.: Наука, 1985. 231 с.

References

1. Bogdanov L.A. et al. Technology of geophysical prediction of ore deposits in surveying mineral resources and prospecting at scale 1:1000000 – 1:5000. [Tehnologia geofizicheskogo prognoza rudnykh ob'ektov pri geologicheskome izuchenii nedr i poiskovykh rabotah v masshtabah 1:1000000 – 1:5000]. Tezisy dokladov mezhdunarodnoi geofizicheskoi konferentsii – Intern.Geophys.Conf.Abstr. St-Petersburg, 2000, pp. 228–230.

2. Galuev V.I. et al. Block of geophysical data processing for prediction purposes. [Blok obrabotki geofizicheskikh dannykh pri reshenii progniznykh zadach]. Rukovodstvo poljzovatela GIS INTEGRO – GIS INTEGRO user manual. Publ. H. Moscow: GeoInformSystem inst., 2001, 113 p.

3. Geoinformation system PARK (Rukovodstvo poljzovatelja Chastj V. Analiz i interpretacia dannykh – User manual. Part V. Data Analysis amd interpretation). Publ. H. Moscow: Laneko, 1999, 81 p.

4. Depth geological and geophysical cartography at mean-scale geological sur-

vey. [Glubinnoje geologo-geofizicheskoe kartografirovanie pri srednemsshtabnykh geologos'emochnykh rabotah]. Publ. H. Vladivostok: DalNauka, 2002, 243 p.

5. Goltsman F.M., Kalinin D.F., Kalinina T.B. Computer technology «MULTALT» of multi-purpose classification and prediction from geodata base. [Kompjuter-naja tehnologia «MULTALT» mnogooljternativnoy klassifikacii i prognoza po kompleksu dannykh]. Rossoiskii geofizicheskii zhurnal – Russian geophysical Journal, 2000, nos. 17-18, pp. 64–70.

6. Ivolga E.G. Prediction of ore districts and metallogenic zones in the south of Russia's Far East based on the analysis of physical fields by computer technologies.

[Vozmozhnosti prognozirovania rudnykh raionov i metallogenicheskikh zon juga Daljnego Vostoka na osnove analiza fizicheskikh polei s ispolzovaniem kompjuter-nykh tehnologii]. Sbornik: Tektonika, glubinnoje stroenie i geodinamika Vostoka Azii – Collected papers: Tectonics, depth structure and geodynamics of Asian East. Publ. H. Khabarovsk, 2003, pp. 327–345.

7. Ivolga E.G., Manilov Yu. F. Regional quantitative prediction of endogenous mineralization-promising areas based on physical fields within Russia. [Regionalnoe kolichestvennoe prognozirovanie perspektivnykh na endogennoe orudnenie ploschadei na osnove fizicheskikh polei v predelah juga Daljnego Vostoka Rossii]. Sbornik: Rudy i metally – Ores and metals, 2010, no. 6, pp. 10–21.

8. Examination of volumetric structure of endogenous ore districts in geological survey. [Izuchemie ob'emnogo stroenia endogennykh rudnykh raionov pri geologo=s'emochnykh rabotah]. Metodicheskoe posobie po ob'emnomu geologicheskomu kartirovaniu – Methodic manual on volumetric geological mapping. Publ.H. St. Petersburg: VSEGEI, 2000, 327 p.

9. Lobov A.I. Brief characterization of complex mineragenic provinces, areas and structural-mineragenic zones of Amur Region. [Kratkaja harakteristika kompleksnykh minergenicheskikh provintcii, oblastei i strukturno-mineragenicheskikh provintsii,

oblastei I strukturno-minergenicheskikh zon Amurskoi oblasti]. Sbornik: Geologia i poleznye iskopaemye Priamuria – Collected papers: Geology and mineral resources of the Amur Region. Publ.H. Khabarovsk: Magellan, 1999, pp.159–172.

10. Kalinin D.F., Kalinina T.B. Computer technology «MULTALT» to predict and map for ore geophysics multi-purposes. [Komputernaja tehnologia «MULTALT» dlja reshenia mnogoal'ternativnyh prognoznyh I kartirovochnyh zadach rudnoi geofiziki]. Tezisy dikladov mezhdunarodnoi geofizicheskoi konferencii – Abstr. Intern. Geophys.Conf. Publ.H. St.Pt., 2000, pp. 523–525.

11. Map of anomalous magnetic field (ΔT_a) of the USSR. Continental part and some adjacent water areas at scale 1:2 500 000. [Karta anmal'nogo magnitnogo polja (ΔT_a) SSSR. Kontinental'naja chastj i nekotorye priliegashchie aquatorii v masshtabe 1: 2 500 000. Publ. H. Leningrad: VSEGEI, 1977.

12. Karsakov L.P., Chzhao Chunzin, Goroshko M.V. et al. Tectonics, depth structure, metallogeny of conjunction area of the Central Asian and Pacific belts. [Tektonika, glubinnoe stroenie, metallogenia oblasti sochlenenia Centralno-Aziatskogo i Tihookeanskogo pojasev]. Izdatelstvo Vladivostok-Habarovsk DVO RAN - Publ. H. Vladivostok-Khabarovsk FEB RAS, 2005, 264 p.

13. Manilov Yu.F. Features of depth structure of the SE part of Argun-Mamunsky massig (from geophysical data). [Osobennosti glubinnogo stroenia jugo-vostochnoi chasti Arguno-Mamynskogo massiva (po geofizicheskim dannym)]. Zhurnal Tihookeanskaja Geologia - J. Pacific Geology, 2010, V. 29, no 6, pp. 39–48.

14. Mishin L.F., Romanovskiy N.P. Redox settings of formation and metallogenic specialization of ore-magmatic systems of the Russia's Far East south. [Okislitel'no-vosstanovitelnye obstanovki formirovania I metakkigenicheskaja specializacia rudno-magmticheskikh system juga

Daljnego Vostoka]. Zhurnal Tihookeanskaja Geologia - J. Pacific Geology, 1992, no. 6, pp. 31–42.

15. Moiseenko V.G., Eirish L.V. Gold ore deposits of Russia's Far East. [Zolotorudnye mestorozhdenia Vostoka Rossii]. Publ. H. Vladivostok: DaljNauka, 1996, 332 p.

16. Pavlov Yu.A., Reinlib E.L. Gravitational anomalies and granitoid magmatism of Russia's Far East. [Gravitacionnye anomalii i granitoidnyi magmatism juga Daljnego Vostoka]. Izdatelstvo Moskva: Nauka – Publ.H. Moscow: Nauka, 1982, 86 p.

17. Rodionov S.M. Tin metallogeny of Russia's Far East. [Metallogenia olova Vostoka Rossii]. Izdatelstvo Moskva: Nauka – Publ.H. Moscow: Nauka, 2005, 325 p.

18. Rodionov S.M., Malyshev Yu.F. et al. Depth structure of unique ore-bearing structures of Russia's Far East. [Glubinnoe stroenie unikalnykh rudonosnykh struktur Daljnego Vostoka Rossii]. Sbornik: Krupnye i super-krupnye mestorozhdenia rudnyh poleznyh iskopaemyh - Large and super-large ore deposits. V.3. Book 1: Strategic resources of crude ore of Russia's Far East. Publ.H. Moscow: IGEM RAS, 2006, pp.103–130.

19. Romanovskiy N.P., Malyshev Yu.F., Дуан Жуйянь et al. Gold-bearing capacity of Russia's Far East south and NE China. [Zolotonosnostj juga Daljnego Vostoka Rossii i Severo-Votochnogo Kitaja]. Zhurnal Tihookeanskaja Geologia – J. Pacific Geology, 2006, V. 26, no. 6, pp.1–15.

20. Sukhov V.I., Bakulin Yu.I., Loshak N.P. et al. Metallogeny of Russia's Far East. [Metallogenia Daljnego Vostoka Rossii]. Khabarovsk: Izdatelstvo DVIMS – Publ.H. DVIMS, 2000, 217 p.

21. Khanchuk A.I., Ivanov A.I. Geodynamics of Russia's Far East in Mesozoic and gold mineralization. [Geodinamika Vostoka Rossii v Mezo-Kainozoe I zolotoe orudnenie]. Zhurnal Geodinamika i metallogenia – J. Geodynamics & metallogeny. Vladivostok: DaljNauka, 1999, pp. 7–30.

22. Eirish L.V. On generation of gold-bearing systems of Russia's Far East. [O faktorah generacii zolotonosnyh sistem Daljnego Vostoka]. J. Geologia rudnyh mestorozhdenii – J. Geology of ore deposits, 2009, V.51, no. 3, pp. 250–260.

23. Yushmanov V.V. Tectonic-magmatic concentric complexes. [Tektono-magmaticheskie koncentricheskie komplekсы]. Moscow: Nauka, 1985, 231 p.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Иркутского государственного технического университета А.В. Мироманов

УДК 550.42:552.312

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ ГРАНИТОИДОВ КУАНДИНСКОГО КОМПЛЕКСА БАЙКАЛЬСКОЙ ГОРНО-СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ ПО ПЕТРОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© А.П., Кочнев¹, В.В. Шульга²

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведена оценка потенциальной рудоносности гранитоидов куандинского комплекса Байкальской горно-складчатой области по петрохимическим данным с применением известных методик З.Г. Караевой и Б.Н. Пермякова. Сделан вывод о низкой степени перспективности пород рассмотренного комплекса, хотя отдельные пробы попадают в поле рудоносных гранитов. Требуется дополнительные исследования для оценки геологической позиции потенциально-рудоносных фаций и их доли в составе комплекса.

Библиогр. 13 назв. Ил. 5. Табл. 4.

Ключевые слова: гранитоиды; петрохимия; Байкальская горно-складчатая область.

ASSESSMENT OF POTENTIAL ORE RESOURCE OF KUANDINSKY GRANITOIDS IN THE BAIKAL FOLDBELT USING PETROCHEMICAL DATA

A.P. Kochnev, V.V. Shulga

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The potential ore resource of granitoids in the Kuandinsky formation of the Baikal foldbelt is assessed using petrochemical data and techniques developed by Z.G. Karaeva and B.N. Permyakov. It was inferred that the granite rocks have a poor mineralization, although some rocks were sampled in the field of ore-bearing granites. Supplementary research will add to the the geological potential of ore-bearing granitoids.

13 references. 5 figures. 4 tables.

Key words: granitoids; petrochemicals; Baikal folded mining area.

На территории Байкальской горно-складчатой области (БГСО) широко распространены магматогенные образования разного состава и возраста, они представлены самыми разнообразными генетическими и петрографическими типами: магматическими и ультраметаморфическими, абиссальными и гипабиссальными, ультраосновными, основными, кислыми и щелочными. Особенно большие площади заняты разновозрастными гранитоидами.

Попытки обобщения материалов по геологии БГСО в разное время пред-

принимались В.А. Обручевым (1927, 1932, 1935–1938), В.В. Домбровским (1940), Е.В. Павловским (1948, 1953), А.А. Арсеньевым (1953) и т.д.

Наиболее полное описание геологического строения БГСО дано Л.И. Салопом [10]. Им на основе обобщения материалов геологосъемочных и научно-исследовательских работ середины XX столетия выделены главные магматические комплексы, представленные разными фазами и фациями магматитов, намечены их связи с определенными тектономагматическими

¹Кочнев Анатолий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геологии, тел.: 8(3952) 405114, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

Kochnev Anatoly, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Applied Geology, tel.: 8(3952) 405114 (office), e-mail: kochnev@istu.irk.ru

²Шульга Валентина Валерьевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры прикладной геологии, руководитель лаборатории геологического моделирования, тел.: 8(3952) 405114, e-mail: shulga@istu.edu

Shulga Valentina, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geology, Head of the Laboratory of Geological Modeling, tel.: 8(3952) 405114, e-mail: shulga@istu.edu

этапами и структурно-фациальными поясами и зонами.

По возрасту гранитоиды БГСО расчленены им на:

-архейские – гранито-гнейсы Приольхонья;

-раннепротерозойские – муйский, куандинский, чуйско-кодарский и приморский комплексы гранитов;

-среднепротерозойские – ирельский, амандракский и витимский комплексы гранитоидов;

-позднепротерозойские – мамско-оронский, тельмамский и баргузинский комплексы гранитоидов, а также катерский комплекс гранит-порфиров;

-раннепалеозойские – витимканский (конкудеро-мамаканский) комплекс гранитоидов и качойский комплекс гранит-порфиров и диоритов;

-среднепалеозойские – сыннырский комплекс нефелиновых и щелочных сиенитов;

-мезозойские – гуджирский комплекс гранитоидов и малокуналейский комплекс щелочных гранитоидов.

Геологическая позиция и петрография гранитоидов разных комплексов достаточно детально описаны как в производственных и научных отчетах по результатам геолого-съёмочных и научно-исследовательских работ, так и в многочисленных публикациях. В них имеется довольно подробная характеристика основных типов магматитов, их ассоциаций и взаимоотношений, на основании которых можно представить главнейшие черты развития процессов во всем регионе.

Анализ опубликованных данных показывает, что, несмотря на весьма значительную изученность магматогенных образований региона, до сих пор остаются недостаточно изученными и дискуссионными вопросы возрастных соотношений магматитов разных комплексов, их минерагенической специализации и рудоносности, хотя всеми исследователями признается их потенциальная перспективность на полезные ископаемые и отмечается наличие про-

явлений полезных ископаемых в пределах выходов тех или иных магматитов.

В то же время в публикациях по магматитам БГСО приведены многочисленные силикатные анализы пород разных комплексов, что позволяет дать предварительную оценку их потенциальной рудоносности по петрохимическим критериям.

Известно несколько методических разработок по оценке потенциальной рудоносности гранитоидов и связанных с ними мигматитов. Наиболее обоснованными нам представляются методики З.Г. Караевой [4] и Б.Н. Пермякова [7] по рудоносности гранитоидов Восточного Саяна и Забайкалья.

Методика З.Г. Караевой [4] была апробирована нами при изучении гранито-гнейсово-мигматитовых комплексов Приольхонья [5, 12, 13] для оценки их потенциальной рудоносности. Гранито-гнейсы и мигматиты оргойтинского комплекса и гранитоиды шаранурского комплекса Приольхонья, относимые Л.И. Салопом к архейским образованиям, на диаграмме З.Г. Караевой тяготеют к полю гранитоидов, материнских для месторождений олова, вольфрама, молибдена силикатной и полиметаллической формаций, редкоземельных и редкометалльных пегматитов. Эти данные хорошо согласуются [12, 13] с материалами специальных минерагенических исследований, проведенных здесь В.С. Малых и Т.С. Михайловой [6].

Полученные результаты позволяют привлечь петрохимические критерии для предварительной оценки потенциальной рудоносности гранитоидов других комплексов БГСО.

В качестве одного из таких объектов выбраны гранитоиды куандинского комплекса, широко развитые в БГСО.

По данным Л.И. Салопа [10] *гранитоиды куандинского комплекса* развиты в основном в пределах внешней Чуйской зоны байкалид в бассейнах рек Большой Чуй и Чай, а также в верховьях рек Мини и Кутимы. В Кодаро-

Удоканской зоне они закартированы в бассейнах рек Куанды, Чары и Калара, приурочены в основном к осевой и внутренней частям зоны, а местами даже захватывают окраину внутреннего пояса байкалид.

Далее на восток за пределами Кодаро-Удоканской зоны аналогичные гранитоиды выделяются Д.С. Коржинским под названием древнестановых гранитов в области Становика – Джугджура.

Куандинские граниты слагают различной величины тела, вытянутые согласно с тектонической структурой метаморфических толщ нижнего протерозоя. В Чуйской зоне они имеют главным образом северо-восточную ориентировку, а в Кодаро-Удоканской зоне их направление постепенно изменяется от меридионального через северо-западное до широтного и даже до северо-восточного (на востоке зоны).

Граниты, как правило, обладают отчетливой гнейсовой текстурой, направление которой во многих случаях совпадает со слоистостью во вмещающих породах и повторяет в общих чертах ее тектонический узор. Внутри массивов гранитов находятся ксенолиты и скиалиты субстрата то с расплывчатыми, то, напротив, с резкими контурами.

Контактовое воздействие гранитов на вмещающие породы заметно лишь в тех случаях, когда плутонические тела располагаются вне областей мигматизации или ультраметаморфизма. Вмещающие породы около массивов гранитов превращены в кристаллические сланцы, содержащие биотит, гранат, кордиерит, ставролит, андалузит, силлиманит и другие минералы, свойственные высокометаморфизованным породам. В полосе экзоконтакта проявились мигматизация и фельдшпатизация, но назвать метаморфизм контактовым нельзя, так как ореолы кристаллических сланцев вокруг гранитов нередко достигают весьма большой ширины (до 10 км) и при этом очень незаметно сливаются с регионально измененными поро-

дами. Для такого комплекса Л.И. Салоп предложил термин «ареально-контактовый метаморфизм».

В большинстве районов тела гранитов куандинского комплекса размещаются среди обширных полей гнейсо-мигматитов, переходы между гранитами и мигматитами обычно постепенные. Широкое развитие мигматитов является характерной чертой этого комплекса. Преобладают послойные (полосчатые) мигматиты; менее развиты птигматиты и агматиты.

Гранитные тела куандинского комплекса Л.И. Салоп однозначно отнес к глубинным, сформированным одновременно со складкообразованием.

Наиболее характерными породами комплекса являются биотитовые и двуслюдяные гнейсо-граниты и лейкократовые гнейсовидные граниты, часто сопровождаемые пегматоидными гранитами и пегматитами.

Биотитовые и двуслюдяные гнейсо-граниты представляют собой светло-серые, серые или зеленовато-серые, обычно среднезернистые породы с отчетливо выраженной гнейсовидной текстурой. Массивные разновидности сравнительно редки; структура их гранобластовая или бластогранитовая и бластомилонитовая, очень редко гипидиоморфнозернистая. В некоторых разновидностях гнейсо-гранитов отмечаются мирмекиты. Во всех породах, но в различной мере, проявлены процессы протоклаза и катаклаза. В отдельных зонах гнейсо-граниты (и мигматиты) превращены в очковые или полосчатые милониты. Главными минералами в гнейсо-гранитах являются плагиоклаз, микроклин, кварц, биотит и мусковит (в двуслюдяных разновидностях); акцессорными – магнетит, ортит, циркон, апатит, сфен и гранат; вторичными – серицит (мусковит), хлорит и эпидот.

Гнейсовидные плагиограниты развиты в заметно подчиненном количестве и тесно ассоциируют с описанными породами, от которых они отличаются лишь значительным преобладанием

плаггиоклаза над микроклином.

Аплитовидные и пегматоидные граниты, а также пегматиты слагают жильные тела в метаморфических толщах и гнейсо-гранитах, реже образуют среди последних нечеткие обособления. Минеральный состав этих пород тот же, что и у гнейсо-гранитов, только биотит во многих из них присутствует в очень малом количестве. Для аплитовидных гранитов типична гранобластовая структура, а для пегматоидных гранитов и пегматитов — грубозернистая ортотектитовая, иногда графическая. В отдельных телах жильных пегматитов имеется повышенное содержание магнетита и граната. Встречаются также пегматиты с турмалином и мусковитом, но промышленные скопления слюды в куандинских пегматитах отсутствуют.

На периферии мигматитовых полей обычно размещается множество мелких линзовидных кварцевых и кварц-полевошпатовых жил, однако и эти образования не несут даже следов рудной минерализации.

По данным Л.И. Салопа в куандинских гранитоидах в отличие от архейских гранитов отмечается вынос кремнезема и калия и привнос глинозема, окислов железа, извести, магния и натрия. Эти же особенности древнеэпикриновых гранитов протерозойского обрамления Алданского щита по сравнению с архейскими гранитами последнего отмечал и Д.С. Коржинский (1947). Архейские граниты Алдана и БГСО по своему химизму и минеральному составу близки к аляскитам, а куандинские граниты почти тождественны среднему мировому граниту Р. Дэли.

Рассматриваемые гнейсо-граниты образовались в результате ультраметаморфизма осадочных отложений удоканской серии и чуйской толщи, одновременно мигматизируют вмещающие породы и оказывают активное воздействие на габброиды и анортозиты

каларского комплекса. Вместе с тем, они прорываются позднеорогенными гранитами чуйско-кодарского комплекса и перекрываются отложениями тепторгинской серии среднего протерозоя [10].

По данным В.В. Залуцкого [3] куандинские гнейсо-граниты являются огнейсованными древними гранитоидами активизированного фундамента.

По материалам предшественников создана база петрохимических данных гранитоидов куандинского комплекса (табл. 1), которая и послужила основой для оценки их потенциальной рудоносности.

Содержание кремнезема в куандинских гранитах варьирует в пределах от 64,99 до 75,35%, т.е. граниты этого комплекса в соответствии с петрографическим кодексом [9] относятся к *отряду кислых плутонических пород* (63–78% SiO₂). Условно по содержанию кремнезема куандинские граниты можно разделить на 3 группы: с пониженной кислотностью (кремнезема 64–68%, 19% проб), с нормальной кислотностью (кремнезема 68–73%, 54% проб), с повышенной кислотностью (кремнезема 73–75%, 27% проб).

Суммарное содержание щелочей Na₂O+K₂O в куандинских гранитах варьирует в пределах 4,32–11,34%. В соответствии с петрографическим кодексом [9] они относятся в основном к *подотрядам нормально-щелочных* с содержанием щелочей менее 8% (58%) и *умеренно-щелочных* с содержанием щелочей 8–10% (38%) пород и только одна проба может быть отнесена к *щелочным* породам (содержание 11,34%).

По соотношению Na₂O/K₂O куандинские граниты относятся в основном (50%) к калиево-натриевому типу (Na₂O/K₂O = 0,3–1), в меньшей степени (38%) – к натриевому типу (Na₂O/K₂O более 1,0) и еще меньше (12%) – к калиевому типу (Na₂O/K₂O менее 0,3).

Таблица 1

Химические анализы гнейсо-гранитов и гранитов куандинского комплекса
(Чуйская зона)

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	H ₂ O	Сумма
1	64,99	0,35	16,79	0,95	2,90	0,05	0,78	1,26	2,69	6,54	0,38	1,17	0,27	99,39
2	66,21	0,72	14,87	0,98	2,86	0,01	1,14	2,44	5,48	5,86	-	0,50	0,17	100,41
3	66,76	1,20	13,83	2,13	4,42	0,10	1,14	3,48	3,08	3,58	-	0,30	-	100,02
4	67,00	-	12,42	3,66	-	0,01	0,54	2,21	4,16	3,60	0,03	1,00	0,02	100,00
5	67,56	сл	14,98	1,41	4,50	0,02	0,09	1,84	2,15	4,13	-	1,65	1,15	100,58
6	69,16	0,85	12,14	2,66	4,13	0,18	0,78	2,16	1,19	6,23	н.д.	0,66	0,14	100,28
7	69,42	0,85	16,87	1,60	1,60	0,00	0,86	3,00	3,56	1,24	0,00	1,36	0,00	100,36
8	70,10	0,73	12,50	3,92	1,70	0,22	0,60	2,20	2,30	4,41	0,18	0,40	0,16	99,67
9	70,20	0,27	15,50	1,57	0,79	0,03	1,40	1,36	4,49	2,53	0,11	1,13	0,40	100,53
10	70,58	0,37	14,42	1,10	2,17	0,06	0,70	1,78	2,92	5,36	0,14	0,44	0,24	100,00
11	70,62	0,30	15,64	1,08	1,19	0,04	1,10	3,71	4,50	1,53	-	0,72	0,26	100,38
12	70,69	0,04	13,72	3,76	0,88	0,00	0,82	1,41	5,12	2,92	-	0,20	0,15	99,86
13	70,84	0,58	11,88	4,02	3,60	0,00	0,01	2,04	2,57	2,90	-	0,04	0,52	100,20
14	70,94	0,13	14,64	1,89	0,29	0,03	1,25	1,46	3,63	4,10	0,19	0,82	0,12	99,84
15	71,14	0,25	16,33	0,88	0,93	0,03	0,71	0,85	5,00	1,60	0,04	0,60	0,36	100,76
16	71,66	0,35	15,29	0,50	0,50		0,26	1,04	1,78	7,79	0,14	1,04	-	100,21
17	72,10	0,00	13,80	2,00			0,90	1,50	3,01	5,72	-	0,44	-	99,47
18	72,82	0,25	14,26	0,90	0,99	0,03	0,50	0,86	3,24	5,04		0,52	0,10	99,61
19	72,96	0,00	14,35	1,27	0,72	0,08	0,52	0,96	1,62	6,54		0,64	0,36	100,38
20	73,25	0,23	14,49	1,34	1,35	0,04	0,42	0,55	6,37	0,89	0,15	0,15	0,52	100,08
21	73,36	0,00	13,69	1,63	0,86	0,15	0,42	0,84	2,19	5,82		0,66	0,26	100,14
22	73,56	0,11	14,90	0,66	0,32	0,01	1,68	0,39	3,77	3,57	0,06	0,16	0,28	99,47
23	73,72	0,32	13,20	1,66	2,22	0,04	1,45	1,77	3,22	1,10	0,06	0,45	0,21	100,00
24	74,12	0,25	14,37	0,87	0,85	0,04	0,38	1,26	3,78	3,30		0,36	0,10	99,78
25	74,90	0,00	14,52	0,26	0,31	0,00	0,51	0,92	3,26	5,48	0,03	0,32	0,32	100,83
26	75,35	0,15	12,95	0,34	1,01	0,02	-	0,64	3,16	4,89	-	0,42	0,04	99,01
Ср	70,92	0,33	14,32	1,66	1,71	0,05	0,76	1,61	3,39	4,10	0,12	0,62	0,27	99,99

Примечание. 1 – гранит порфировидный, р. Витим в 1 км ниже п. Воронцовки; 2 – гнейсовидный гранит, верховья р. Ч. Брамья; 3 – катаклазированный биотитовый гнейсо-гранит, пр. берег р. Заостровка (притока р. Б. Чуя); 4 – биотитовый аплитоидный гранит-мигматит, р. Витим против п. Мама; 5 – гнейсо-гранит биотитовый, р. Витим в 12 км ниже устья р. Мамы; 6(17 Из) – гнейсо-гранит, низовья р. Б. Чуя; 7 – биотитовый гнейсо-гранит, водораздел рр. Витим-Антоновка; 8 – гранит биотитовый с гранатом, пр. берег р. Витим в 5 км ниже устья р. Максимихи; 9 – биотитовый гнейсо-гранит, р. Витим у п. Воронцовка; 10 – биотитовый гнейсо-гранит, бассейн р. Б. Чуя, между притоками Сосновка и М. Локатыки; 11 – гнейсо-гранит, р. Чуйская Брамья; 12 – гнейсо-гранит, р. Б. Чуя у устья руч. Тактыкан; 13 – гранит биотитовый неоднороднозернистый, левый берег р. Тополиха – правого притока р. Витим; 14 – катаклазированный биотит-хлоритовый гнейсо-гранит (очковый гнейс), лев. берег р. Витим в 4 км выше п. Воронцовка; 15 – плагиогранит, р. Б. Чуя ниже р. В. Становой, р. Витим против п. Мама; 16 – двулюдяной микроклиновый гнейсо-гранит, бассейн р. Б. Чуя, между притоками Сосновка и М. Локатыки; 17 – неоднороднозернистый двулюдяной гранит, правый берег р. Б. Чуя близ устья р. В. Становой; 18 – биотитовый крупнозернистый гнейсо-гранит, ср. течение р. Канушки – притока р. М. Чуи; 19 – гранит, низовья р. Б. Чуя; 20 – биотитовый мясокрасный крупнозернистый гнейсо-гранит, Витимо-Чуйский водораздел; 21 – лейкократовый биотитовый гранит, водораздел рр. Витим - Б. Чуя против 5 зимовья; 22 – двулюдяной пегматоидный гранит, левый берег р. Витим в 4 км выше п. Воронцовка; 23 – гранит-мигматит, р. Витим против п. Мама; 24 – двулюдяной лейкократовый гнейсо-гранит, левый берег р. Канушки, бассейн р. М. Чуи; 25 – гранит лейкократовый, р. Б. Чуя ниже р. В. Становой; 26 – гранит, р. Витим.

Анализы по материалам: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 17, 18, 22, 24, 25 – С.Б. Лобач-Жученко [1]; 4, 5, 10, 16, 17, 23 – Д.А. Великославинского и др. [1]; 6, 19, 21 – Н.А. Игнатъева [10]; 20 – П.К. Федорова [10]; 11 – П.Н. Сучкова [9]; 12 – В.Г. Дитмара [9]; 26 – Б.В. Петрова и В.А. Макрыгиной [7]

По содержанию К₂О в зависимости от кремнеземистости среди гранитоидов куандинского комплекса наблю-

даются низкокалиевые, умереннокалиевые и высококалиевые разновидности.

Методика 3.Г Караевой [4] разработана для оценки рудоносности редкометалльных гранитоидов, измененных процессами натриевого метасоматизма, на основе обработки 1200 химических анализов (Восточный Саян). Она учитывает соотношения щелочных и щелочноземельных элементов и предусматривает построение бинарной диаграммы в координатах $A=Na+K-Ca$ (ось абсцисс), $B=(Na-Ca)/K$ (ось ординат), вычисленных в атомных количествах. На типовой диаграмме (рис. 1) эмпирическим путем выделяются 10 полей гранитоидов с разным типом минерализации в зависимости от соотношения этих модулей:

I. Неизменные гранодиориты – $A=100-130$, $B=0,65-0,8$.

II. Неизменные монциты и адамеллиты – $A=130-165$, $B=0,35-0,7$.

III. Неизменные граниты – $A=165-190$, $B=0,65-0,8$,

IV. Неизменные аляскиты – $A=200-220$, $B=0,7-0,9$.

V. Измененные граносиениты (с касситерит-сульфидной, молибденовой, вольфрамовой и полиметаллической минерализацией) – $A>200$, $B=0,1-1,0$.

VI. Измененные биотитовые и лейкократовые граниты (материнские для месторождений W, Mo, Be, Sn силикатной и полиметаллической формаций, слюдоносных и частично редкометалльных пегматитов) – $A=100-160$, $B>0,85$.

VII. Измененные граниты-аляскиты (материнские для месторождений силикатной и кварцевой формаций, редкометалльных и хрусталеносных пегматитов) – $A=200-220$, $B>0,95$.

VIII. Граниты, материнские для месторождений W, Mo, Be – $A=100-160$, $B>0,85$.

IX. Танталоносные гранитоиды с литиевыми слюдами – $A=>220$, $B>1,1$.

X. Танталоносные гранитоиды с щелочными темноцветными минералами – $A>220$, $B>1,1$.

В целом рудоносные гранитоиды имеют повышенные значения модуля A

(более 100) и модуля B (больше определенной величины).

Рассчитанные нами петрохимические модули 3.Г Караевой для гранитоидов куандинского комплекса приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2
Значения модулей 3.Г. Караевой в гранитоидах куандинского комплекса

Номер пробы	Модули		Номер пробы	Модули	
	A	B		A	B
1	91,0	0,31	14	76,4	0,74
2	107,4	0,72	15	87,0	3,88
3	38,8	0,03	16	110,7	0,34
4	66,0	0,74	17	82,3	0,35
5	46,0	0,04	18	90,6	0,70
6	45,4	0,32	19	78,4	0,13
7	16,6	0,24	20	102,6	9,36
8	45,1	0,04	21	82,3	0,32
9	77,0	1,82	22	91,6	1,43
10	72,2	0,28	23	62,8	4,23
11	23,1	0,42	24	73,6	1,10
12	88,4	1,83	25	94,0	0,63
13	35,6	0,15	26	91,3	0,76

Из таблицы видно, что почти половина проб (отмечены оттенками серого цвета) имеет повышенное значение модуля B (более 0,60), характерное для рудоносных гранитоидов, однако для большинства проб значение модуля A менее 100, только для 3 проб (№№ 2, 16 и 20) он превышает это предельное значение, а благоприятное соотношение модулей A и B характерно для проб №№ 2 и 20, которые на рис. 1 попадают в поле гранитов VI группы, материнских для месторождений молибдена, вольфрама и олова силикатной и полиметаллической формаций.

Таким образом, расчет модулей рудоносности по методике 3.Г. Караевой для гранитоидов куандинского комплекса позволяет отнести их в основном (за исключением нескольких проб) к безрудным образованиям.

Автором методики не определены характер и степень рудоносности гранитоидов с низкими значениями модуля A (менее 100) в сочетании с высокими и

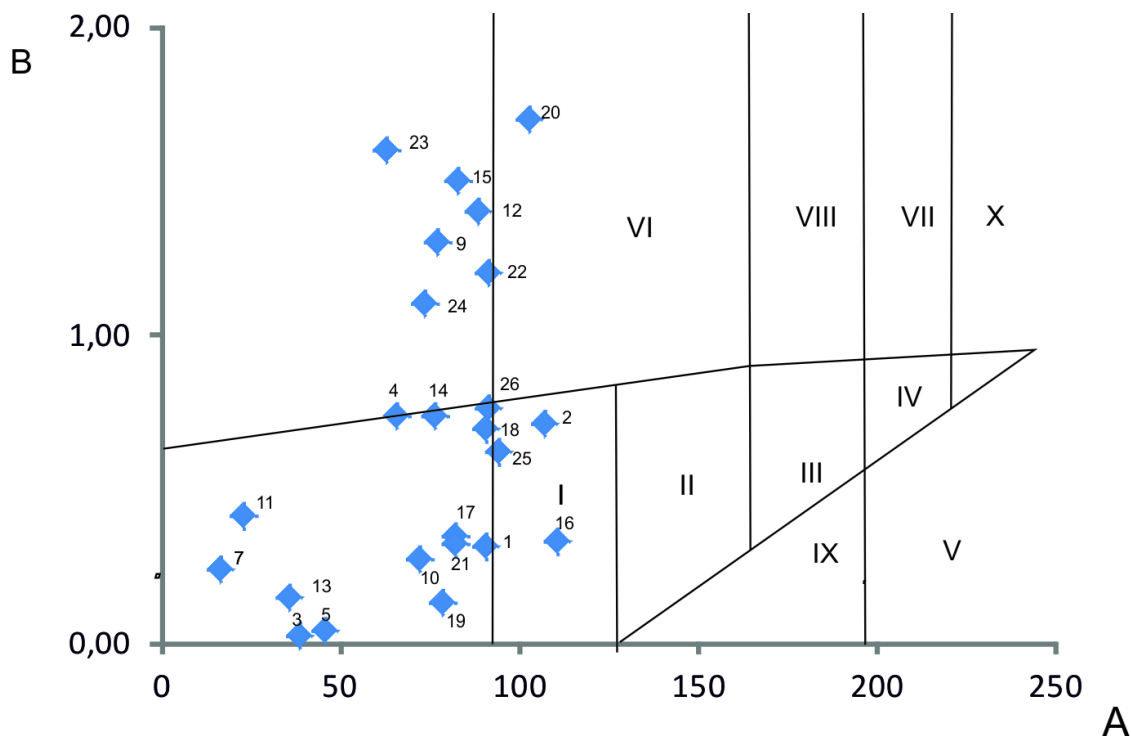


Рис. 1. Положение гранитоидов куандинского комплекса на диаграмме З.Г. Караевой: условными значками показаны отдельные пробы, а арабскими цифрами – их номера по табл. 2

низкими значениями модуля В, в поле которых попало большинство проб куандинских гранитоидов (см. рис. 1). Следовательно, эта методика недостаточно эффективна при оценке потенциальной рудоносности гранитоидов и для полного ответа на этот вопрос требуется применение других методик, в частности методики Б.Н. Пермякова.

Б.Н. Пермяков [7], изучавший гранитоиды Забайкалья, считает, что потенциальная рудоносность гранитоидных ассоциаций может быть оценена с использованием петрохимических модулей кремнекислотности (*q*), известковистости (*c*), щелочности (*a*), железистости (*f*) и типа щелочности (*n*).

Эти модули отражают соотношения атомных количеств петрогенных элементов и определяются по формулам

- $q = [Si - (Na + K + Ca + Mg + \sum Fe)] / Si$,
- $c = Ca / (Ca + Na + K)$,
- $a = (Na + K) / Al$,
- $f = \sum Fe / (\sum Fe + Mg)$,
- $n = Na / (Na + K)$.

Предельные величины этих модулей для рудоносных гранитоидов Забайкалья приведены в табл. 3.

Табличная форма представления петрохимических модулей Б.Н. Пермякова не позволяет уловить закономерности в соотношениях разных категорий модулей для разных групп ассоциаций гранитоидов.

Для наглядности соотношения указанных модулей целесообразно изобразить графически в виде бинарных диаграмм, отражающих парные корреляционные связи разных модулей для однотипных в минерогеническом отношении гранитоидов: кремнекислотности и щелочности (рис. 2), кремнекислотности и известковистости (рис. 3), кремнекислотности и железистости (рис. 4), кремнекислотности и типа щелочности (рис. 5).

На рис. 2–5 поля значений некоторых модулей для разных гранитоидов перекрывают друг друга, что не позволяет однозначно отнести тот или иной анализ к определенному типу минерогенических ассоциаций.

При этом характерна группировка значений всех модулей в два достаточно четко различающихся поля: в первое

Таблица 3

**Предельные величины петрохимических модулей рудоносности гранитоидов
Забайкалья по Б.Н. Пермякову [7]**

Группы ассоциаций		Петрохимические модули				
Номер	Тип минерализации	q	c	a	f	п
I	Золото-полиметаллическая и полиметаллическая	0,49-0,55	0,235-0,31	0,65-0,72	0,32-0,53	0,59-0,76
		0,55-0,60	0,12-0,26	0,69-0,80	0,32-0,40	0,59-0,64
II	Золото-молибденовая	0,62-0,68	0,15-0,24	0,72-0,80	0,32-0,44	0,49-0,56
		0,68-0,70	0,15-0,18	0,72-0,85	0,32-0,52	0,63-0,66
III а	Молибденовая	0,70-0,72	0,14-0,20	0,65-0,76	0,57-0,62	0,535-0,61
		0,72-0,74	0,105-0,20	0,72-0,80	0,44-0,62	0,535-0,69
III б	Молибденовая	0,74-0,76	0,125-0,15	0,67-0,70	0,54-0,70	0,57-0,61
		0,76-0,785	0,105-0,15	0,67-0,78	0,54-0,70	0,57-0,61
IV	Молибден-вольфрамовая	0,74-0,76	0,01-0,07	0,90-1,01	0,70-0,825	0,52-0,61
V	Вольфрамовая и флюоритовая	0,74-0,76	0,07-0,09	0,81-0,90	0,825-0,92	0,46-0,50
		0,76-0,785	0,01-0,09	0,78-1,01	0,70-0,92	0,46-0,57
VI	Олово-вольфрамовая и щелочно-редкометалльная	0,785-0,805	0,02-0,08	0,75-1,00	0,59-0,97	0,49-0,61
VII	Ниобий-фтористая, вольфрам-ниобиевая и флюоритовая	0,805-0,83	0,01-0,08	0,75-0,91	0,74-0,93	0,46-0,61

поле входят значения модулей для I, II и частично IIIа и IIIб ассоциаций, а во второе поле – V, VI, VII и частично IV, IIIа и IIIб ассоциаций, что соответствует двум типам комплексных минерогенических ассоциаций: золото-молибден-полиметаллической и олово-вольфрам-молибден-редкометалльно-флюоритовой. Именно такие укрупненные типы минерогенических ассоциаций можно выделять и диагностировать для разнотипных гранитоидов с применением модулей Б.Н. Пермякова. Поля этих минерогенических ассоциаций рудоносных гранитов Забайкалья на рис. 2–5 показаны оттенками серого цвета.

Результаты расчета петрохимических модулей Б.Н. Пермякова для куандинских гранитоидов приведены в табл. 4, а позиция каждого анализа показана на рис. 2–5 значками с указанием номера проб куандинских гранитов в соответствии с табл. 1 арабскими цифрами.

Из табл. 4 видно, что большинство проб куандинских гранитов имеют положительные показатели рудоносности по 2 и более модулям (отмечены оттенками серого цвета) в разных сочетаниях, однако благоприятное соотношение значений всех 5 модулей имеет только

проба № 2. На рис. 2, 4, 5 она попадает в поле рудоносных гранитоидов с

Таблица 4

Значения модулей Б.Н. Пермякова в гранитоидах куандинского комплекса

Номер пробы	Модули				
	q	c	a	f	п
1	0,87	0,16	0,69	0,36	0,39
2	0,78	0,22	1,04	0,62	0,59
3	0,81	0,36	0,65	0,72	0,57
4	0,85	0,27	0,86	0,64	0,64
5	0,84	0,29	0,54	0,96	0,44
6	0,83	0,32	0,71	0,79	0,22
7	0,87	0,43	0,43	0,60	0,81
8	0,85	0,32	0,68	0,76	0,44
9	0,88	0,19	0,66	0,37	0,73
10	0,85	0,23	0,74	0,69	0,45
11	0,85	0,43	0,58	0,47	0,82
12	0,84	0,18	0,85	0,63	0,73
13	0,84	0,34	0,62	1,00	0,57
14	0,88	0,20	0,72	0,34	0,57
15	0,89	0,13	0,61	0,52	0,83
16	0,90	0,01	0,74	0,64	0,26
17	0,88	0,20	0,81	0,35	0,44
18	0,88	0,13	0,76	0,62	0,50
19	0,89	0,15	0,68	0,59	0,27
20	0,88	0,08	0,79	0,72	0,91
21	0,89	0,13	0,73	0,68	0,36
22	0,91	0,06	0,67	0,17	0,62
23	0,92	0,02	0,50	0,47	0,81
24	0,89	0,19	0,68	0,65	0,63
25	0,89	0,13	0,78	0,32	0,48
26	0,90	0,10	0,82	-	0,50

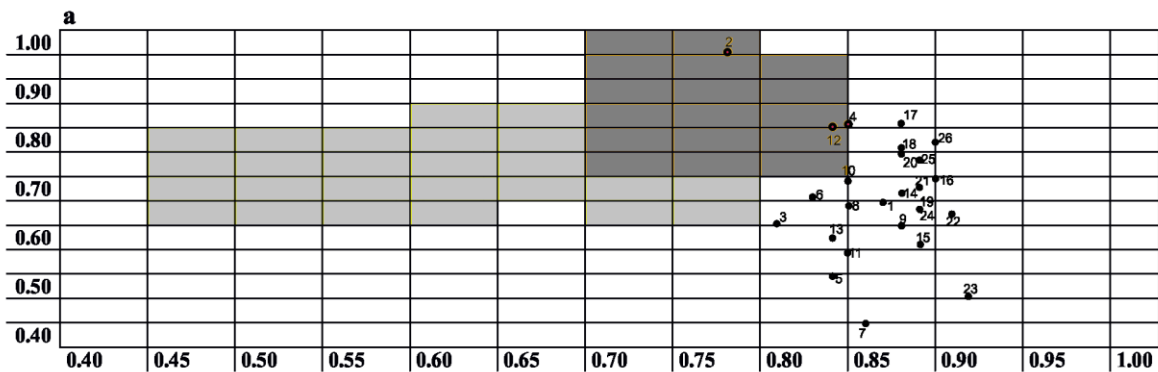


Рис. 2. Корреляция модулей щелочности (а) и кремнекислотности (q) куандинских гранитов по Б.Н. Пермякову [6]

q

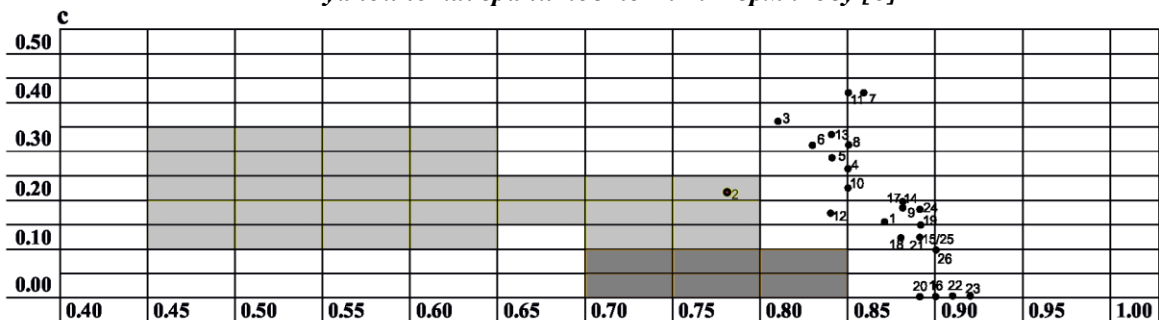


Рис. 3. Корреляция модулей известковистости (с) и кремнекислотности (q) куандинских гранитов по Б.Н. Пермякову [6]

q

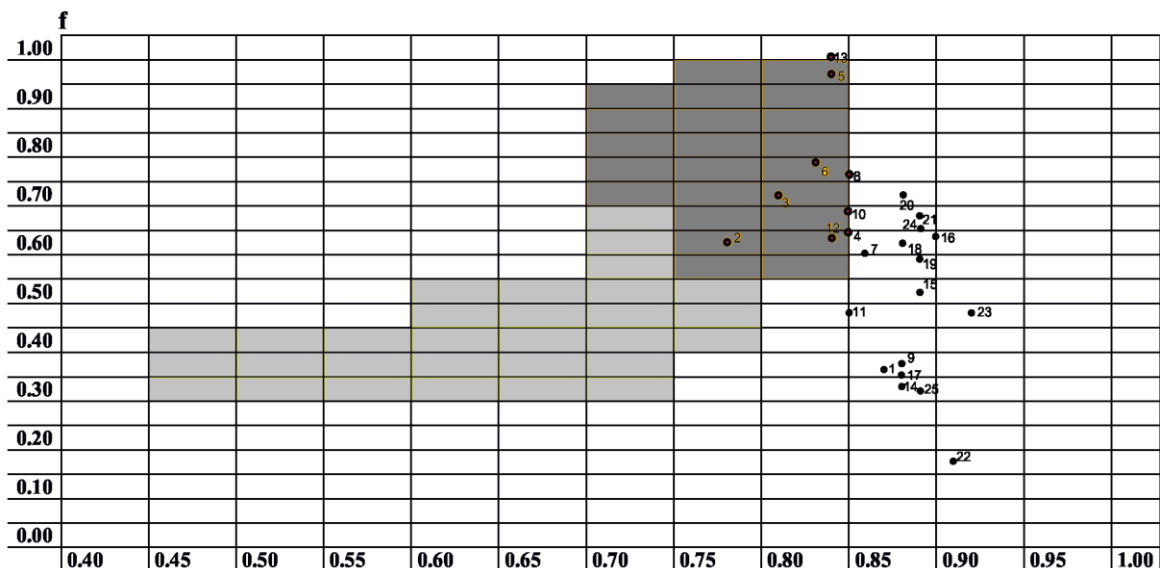


Рис. 4. Корреляция модулей железистости (f) и кремнекислотности (q) куандинских гранитов по Б.Н. Пермякову [6]

q

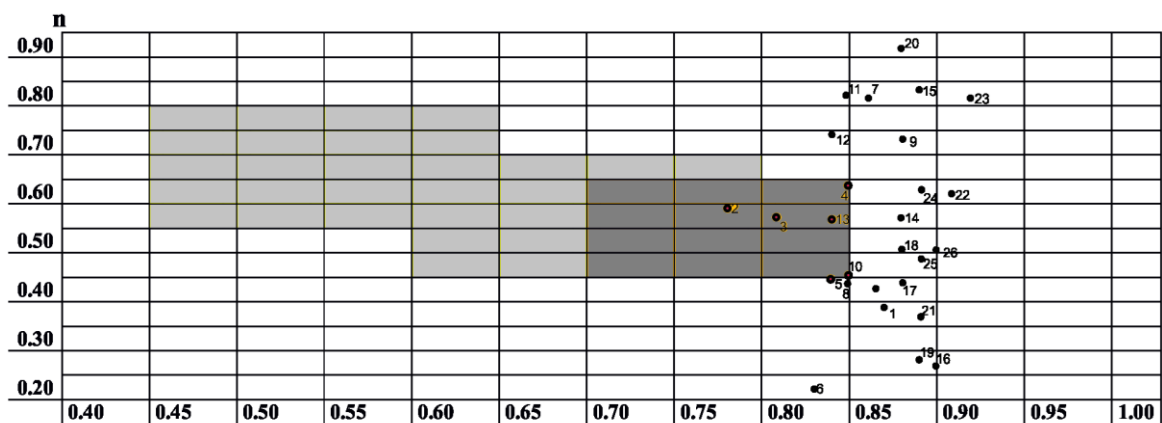


Рис. 5. Корреляция модулей типа щелочности (n) и кремнекислотности (q) куандинских гранитов по Б.Н. Пермякову [6]

минерализацией 2 типа (олово-вольфрам-молибден-редкометалльно-флюоритовой), а на рис. 3 – в поле гранитоидов с минерализацией 1 типа (золото-молибден-полиметаллической).

Таким образом, проведенные исследования гранитоидов куандинского комплекса показывают, что по петрохимическим особенностям они в целом имеют низкую потенциальную рудоносность по сравнению с рудоносными гранитами Забайкалья и Восточного Саяна. Однако факты наличия положительных значений некоторых модулей рудоносности по отдельным пробам (проба № 2 имеет положительные модули как по методике З.Г. Караевой, так и по методике Б.Н. Пермякова) не позволяют эти граниты считать полностью безрудными. По-видимому, в составе этого слабоизученного комплекса имеются потенциально-рудоносные фации или фазы пород. Для их выявления, оценки геологической позиции и доли в составе комплекса требуются дополнительные исследования.

Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук (проект МК-2640.2013.5).

Библиографический список

1. Великославинский Д.А. и др. Геология северо-восточной части Северо-Байкальского нагорья // Тр. ЛаГед АН СССР. М.-Л., 1957. Вып.7. С. 120 – 230.
2. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: справочное пособие. М.: Недра, 1985. 511 с.
3. Залуцкий В.В. Гнейсо-граниты слюдоносных областей Байкало-Патомского нагорья и отношение к ним слюдоносных пегматитов // Проблемы изучения докембрия. М.: Наука, 1967. С. 250–257.
4. Караева З.Г. Петрохимические особенности рудоносности гранитоидов // Докл. АН СССР. 1968. Т. 179, № 6. С. 1436–1439.
5. Кочнев А.П., Шульга В.В. Минерагеническая позиция и минерагеническое районирование Приольхонья // Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. Вып. 2(39). С. 70–83.
6. Малых В.С., Михайлова Т.С. Прибайкальская зона глубинного разлома и ее роль в металлогении Западного Прибайкалья // Тр. ВСНИИГГИМСа, 1974. С. 62–71.
7. Пермяков Б.Н. Петрохимические параметры как индикаторы

потенциальной рудоносности магматитов // *Металлогения и прогноз полезных ископаемых: мат-лы чтений памяти акад. С.С. Смирнова*. Чита: Изд-во Заб. фил. географ. общества СССР, 1986. С. 76–78.

8. Петров Б.В., Макрыгина В.А. *Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма*. Новосибирск: Наука, 1976. 342 с.

9. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 100 с.

10. Салоп Л.И. *Геология Байкальской горной области*. М.: Недра, 1967. Т. II. 699 с.

11. Семенов Н.П. *Геология и петрография Мамской кристаллической полосы*. Киев: ИГН АН УССР, 1948. 380 с.

12. Шульга В.В. О рудоносности мигматизированных пород Приольхонья // *Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых*. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. Вып. 6 (32). С. 81–85.

13. Шульга В.В., Кочнев А.П. *Геология и рудоносность мигматитовых комплексов Приольхонья*. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. 199 с.

References

1. Velikoslavinskiy D.A. et al. *Geology of NE part of of North-Baikal highland*. [Geologia severo-vostochnoi chasti Severo-Baikalskogo nagorja]. Trudy LaGeD AN SSSR – Proc. LaGeD AC.Sci. USSR, issue 7, M-L., 1957, pp. 120–230.

2. Efremova S.V., Stafeev K.G. *Petrochemical methods of rock study*, [Petrohimicheskie metody issledovania gornyh porod]. Spravochnoe posobie – Inquiry manual. M.: Nedra, 1985, 511 p.

3. Zalutskiy V.V. *Gneiss granites of mica-bearing areas of Baikal-Patom highland and relation to them of mica-bearing pegmatites*. [Gneiso-granity sljudonosnyh oblastei Baikalo-Patomskogo

hagorja i otnoshenie k nim sljudonosnyh pegmatitov]. Sbornik: Problemy izuchemia dokembria – Collected papers: Precambrian age issues. Publ. H. M: Nauka, 1967, pp. 250–257.

4. Karaeva Z. G. *Petrochemical features of ore resource potential*. [Petrohimicheskie osobennosti rudosnosti granitoidov]. Zhurnal Doklady AN SSSR – Proc. Ac.Sci., 1968, V. 179, no 6, pp. 1436–1439.

5. Kochnev A.P., Shulga V.V. *Mineragenic position and mineragenic zoning of the Olkhon Island region*. [Mineragenicheskaja posicia i mineragenicheskoje raionirovanie Priolkhonia]. Izvestia SO Sekcii nauk o Zemle RAEN – Newsletters SB Section of Earth sciences of RANS. Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2011, issue 2(39), pp. 70–83.

6. Malykh V.S., Mikhailova T.S. *Pre-Baikal zone of deep-seated fault and its contribution to metallogeny of Western Pre-Baikal area*. [Pribaikalskaja zona glubinnogo razloma i ego rol v metallogenii Zapadnogo Prebaikalia]. Trudy VSNIIGIMSa – Proc. VSNIIGIMS, 1974, pp. 62–71.

7. Permyakov B.N. *Petrochemical parameters as indicators of potential ore-bearing capacity of magmatites*. [Petrohimicheskie parametry kak indikator potencialnoi rudosnosti magmatitov]. Trudy konf. Metallogenia i prognoz poleznyh iskopaemyh – Conf.Proc. Metallogeny and prediction of mineral resources. Chita: Publ. H. Trans-Baikal Geogr. Soc. USSR, 1986, pp. 76–78.

8. Petrov B.V., Makrygina V.A. *Geochemistry of regional metamorphism and ultrametamorphism*. [Geohimia regionalnogo metamorfizma i ultrametamorfizma]. Novosibirsk: Nauka, 1976, 342 p.

9. *Petrographic code of Russia*. Magmatic, metamorphic, metasomatic and impact formations [Petrografic kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovania. St.Pt.: VSEGEI, 2009, 100 p.

10. Salop L.I. Geology of the Baikal mountainous region. [Geologia Baikalskoi gornoj oblasti]. M.: Nedra, 1967, 699 p.

11. Semenenko N.P. Geology and petrography of the Mama crystalline zone. [Geologia i petrografia Mamskoi kristallicheskoi polosy]. Kiev: IGS AC.Sci. Ukraine, 1948, 380 p.

12. Shulga V.V. On ore potential of magmatized rock of the Pre-Olkhon region. [O rudonosnosti magmatizirovannyh porod Priolhonia]. Izvestia SO Sekcii nauk

o Zemle RAEN – Newsletters SB Section of Earth sciences RANS. Irkutsk: Publ.H.ISTU, 2008, issue 6 (32), pp. 81–85.

13. Shulga V.V., Kochnev A.P. Geology and ore potential of migmatite complexes of Pre-Olkhon area. [Geologia i rudonosnostj migmatitovyh kompleksov Priolhonia]. Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2012, 199 p.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук, профессор
Иркутского государственного технического университета В.А.Филонюк

УДК 553.32 (571.53)

СТРУКТУРА УЧАСТКА ГОРЕЛЫЙ (ХАМАР-ДАБАН) И ЕГО РУДОНОСНОСТЬ

© В.Н. Аксенов¹, Б.В. Сарелайнен²

Центр эколого-геологических исследований ИрГТУ, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Изложены новые данные о геологическом строении участка Горелый, полученные при геологическом доизучении площади в 2001–2003 гг. Показано, что структура участка сформировалась при трансформирующихся сдвигово-раздвиговых подвижках по системам древних глубинных разломов. Выявлены неизвестные ранее тела серпентинизированных ультрабазитов и кварцевых сиенитов. В массиве ультрабазитов обнаружен участок с обильной вкрапленностью сульфидов. Широкий ореол сульфидизации прослежен также в сланцах вблизи массива кварцевых сиенитов. Рекомендовано разведать и опробовать два выявленных рудопроявления с богатой сульфидной минерализацией.

Библиогр. 3 назв. Ил. 2. Табл. 1.

Ключевые слова: рудопроявления; Хамар-Дабан; палеорифты; сульфидная минерализация.

STRUCTURE AND ORE POTENTIAL OF GORELIY SITE OCCURRING IN THE KHAMAR-DABAN RANGE

V.N. Aksenov, B.V. Sarelainen

ISTU Centre for Ecological and Geological studies, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article introduces new view on the geological structure of the Goreliy site. The data was obtained within 2001-2003 span through appraisal study. The structure of the site was formed within transform strike-slip – pull-apart shifts through ancient deep faults. Some bodies of serpentinized ultrabasites and quartz syenites have been located along with the zone of sulphide-rich impregnation in the ultrabasite massif. In addition, a wide sulphidization halo was recognized in the shales close to quartz syenite massif. It is recommended to survey and sample two ore occurrences with sulphide-rich mineralization.

3 references. 2 figures. 1 table.

Key words: ore; Khamar-Daban; palaeorift; sulphide mineralization.

Участок Горелый, представляющий собой часть Мишихинско-Переемниковской палеорифтовой структуры, расположен в приводораздельной части хребта Хамар-Дабан, в основном в бассейне реки Бурятской (правый приток Левой Мишихи).

По представлениям В.Н. Кадачичева и др. (1961), проводивших в 1959–1960 гг. на площади съёмку масштаба 1:200 000 (рис. 1), участок сложен преимущественно парасланцами битуджинской толщи среднепротерозойского возраста и гранитоидами протерозойского и палеозойского возрастов.

Сланцы, слагающие, по мнению ав-

торов, останцы и ксенолиты в крупных массивах гранитов, представляют собой первично осадочные породы, претерпевшие региональный зеленосланцевый метаморфизм. В северо-западной части площади преобладают серицитовые и графитовые сланцы и кварциты, а в юго-восточной половине участка в толще появляются метапесчаники, кавернозные и массивные известково-силикатные породы, редко линзы мраморов.

В северо-западной части участка прослеживается несколько согласных и секущих тел метаморфизованных базитов, видимо, представляющих собой дайки, силлы и потоки.

¹Аксенов Валерий Николаевич, геолог II категории; тел.: 79642817330.
Aksenov Valery, II Category Geologist, tel.: 79642817330.

²Сарелайнен Борис Викторович, ведущий геолог.
Sarelainen Boris, Leading Geologist.

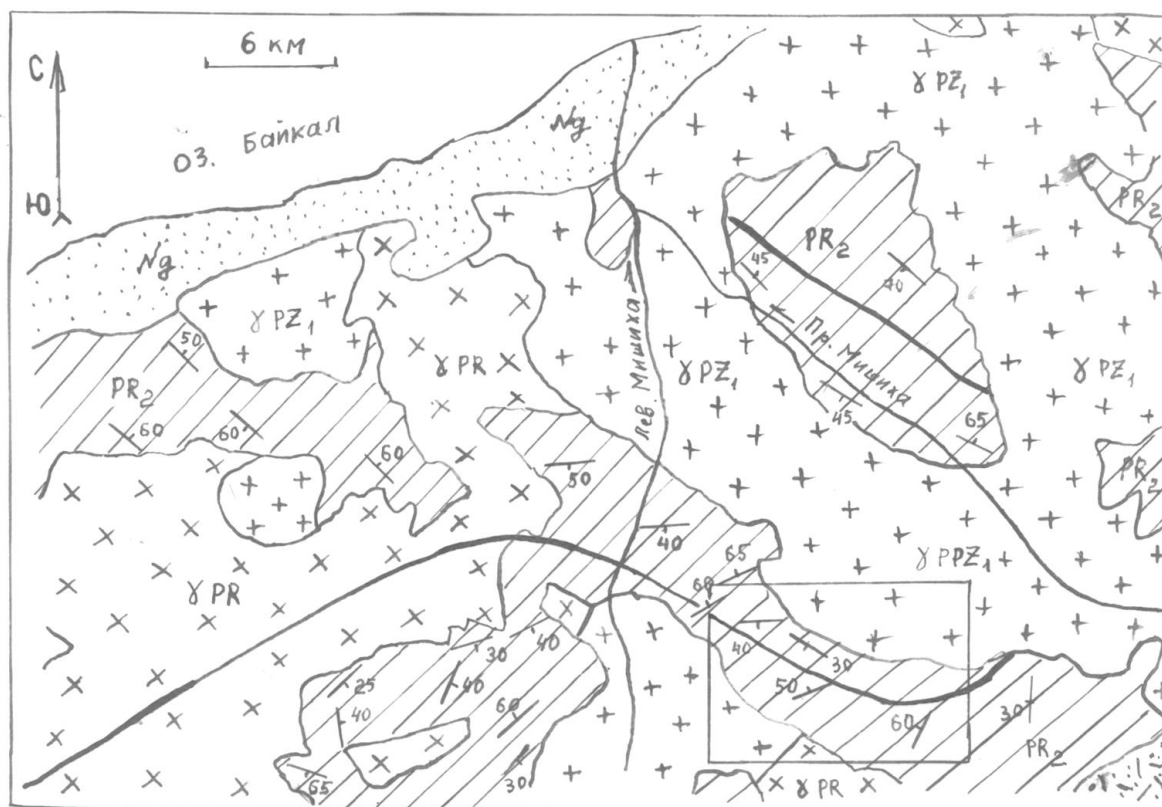


Рис. 1. Государственная геологическая карта (схематизированная) района, по В.Н. Кадачигову, 1961 г.:

1 – угленосные отложения неогена; 2 – метаморфические породы битум-джидинской толщи среднего протерозоя; 3 – эффузивные образования цаган-хунтейской свиты мезозоя; 4 – гранитоиды джидинского интрузивного комплекса нижнего палеозоя; 5 – гранитоиды хамар-дабанского интрузивного комплекса протерозоя; 6 – элементы залегания метаморфических пород; 7 – контур участка Горелький; 8 – оси антиклинальных складок

Гранитоиды участка В.Н. Кадачигов и др. условно относили к Хамар-дабанскому протерозойскому и джидинскому палеозойскому интрузивным комплексам. Хамар-дабанский комплекс представлен преимущественно гнейсовидными гранитами и мигматитами, джидинский – порфиоровидными разновидностями гранитоидов.

В массивах тех и других гранитов, реже в сланцах, встречаются маломощные крутопадающие дайки аплитов и пегматитов субширотного и субмеридионального простираний.

Протерозойские граниты, по мнению В.Н. Кадачигова (1961), тяготеют к крупной антиклинальной складке, про-

слеживающейся на юго-западе площади вдоль водораздела хребта Хамар-Дабан в северо-восточном направлении, а затем поворачивающейся на юго-восток – вдоль описываемой в настоящей статье структуры.

Материалы, полученные авторами, позволили по-новому представить некоторые аспекты геологического строения описываемого участка.

Мы предполагаем, что массивы порфиоровидных гранитов на участке, как и другие подобные образования складчатого обрамления Сибирской платформы (саянские, хамар-дабанские, джидинские, баргузинские, тельмамские граниты), являются протерозойскими.

Палеозойские калий-аргоновые датировки гранитоидов, скорее всего, дают омоложенный возраст за счет диффузии аргона в процессе палеозойской тектономагматической активизации [2].

Установленный геологами венд-нижнекембрийский возраст сланцев участка говорит о том, что они накапливались в седиментационном бассейне рифтогенной природы, заложенном в массиве докембрийских порфиroidных гранитов.

Образование бассейна, видимо, связано с раздвигом вдоль Мишихинско-Переемниковского разлома северо-западной ориентировки, оперяющего древнебайкальский глубинный сдвиг [1].

Современные зоны глубинных разломов, расположенные над древней Мишихинско-Переемниковской структурой (Мишихинский и Переемниковский глубинные разломы) прослеживаются в юго-восточном направлении до города Кяхта [3]. Вдоль них отмечаются флексурные повороты складок и поперечные перегибы Гусиноозерской и Боргойской впадин, а также мезозойские эффузивы. Описываемые глубинные разломы, похоже, прослеживаются так же далеко и в северо-западном направлении. В створе с ними в Западном Прибайкалье отмечается протяженная прямолинейная депрессия в рельефе, используемая долиной Ангары.

Ширина палеорифтовой структуры на участке Горелом составляет 5–10 км, а протяженность по простиранию во много раз больше.

Разорванные рифтом на участке граниты сформировали борта палеорифтовой структуры (рис. 2).

Полоса метаморфических пород шириной 4–6 км, прослеживающаяся в северо-западном направлении через весь участок и оконтуренная с северо-востока и юго-запада массивами гранитов, характеризуется сложным складчатым строением. При этом крупная антиклинальная складка северо-западного простирания осложняется более мелкими складками субширотной северо-восточной ориентировки. Породы на крыльях складок пада-

ют в противоположные стороны преимущественно под углами 40–60°. Редко залегание пород выполаживается до 10–30°. Такие диагональные по отношению к бортам структуры, складки могли образоваться при праводвиговых перемещениях блоков, ограничивающих описываемую структуру.

Формирование палеорифтовой структуры сопровождалось неоднократным проявлением разрывной тектоники и внедрением магматических пород.

Вдоль границы метаморфической толщи с древними гранитами закартирован тектонический контакт, вскрытый канавой у северо-восточного борта структуры. Падение его северо-северо-восточное под углами 10–20°. При этом мелкозернистые сланцы вблизи контакта (первые метры) превратились в крупнозернистые породы, напоминающие биотитовый гнейс.

В долине реки Бурятской, у северо-восточного борта структуры, в эндоконтактовой зоне гранитов отмечаются мелкие субгоризонтально залегающие тела темно-серых мелкозернистых диоритов (см. рис. 2) карандашевидной формы, округлые в сечении за счет процессов будинажа и вращения при тектонических подвижках надвигового типа. Тела диоритов диаметром от первых сантиметров до 1–2 метров имеют субширотное, параллельное контакту гранитов простирание и склонение под углом $\approx 30^\circ$ по азимуту 270°.

Вдоль юго-западного борта рифтовой структуры граниты вблизи контакта в значительной степени переработаны в мелкозернистые аплитовидные тектониты. Часто в них отмечаются участки мусковитизации (развитие кварц-мусковитового замещающего комплекса), а также единичные иголки турмалина (шерла) и мелкие зерна граната.

Серпентизированные ультрабазиты образуют крупное дайкообразное тело видимой мощностью 200–700 м, которое прослеживается через весь участок в северо-западном направлении (см. рис. 2). Они имеют черный цвет,

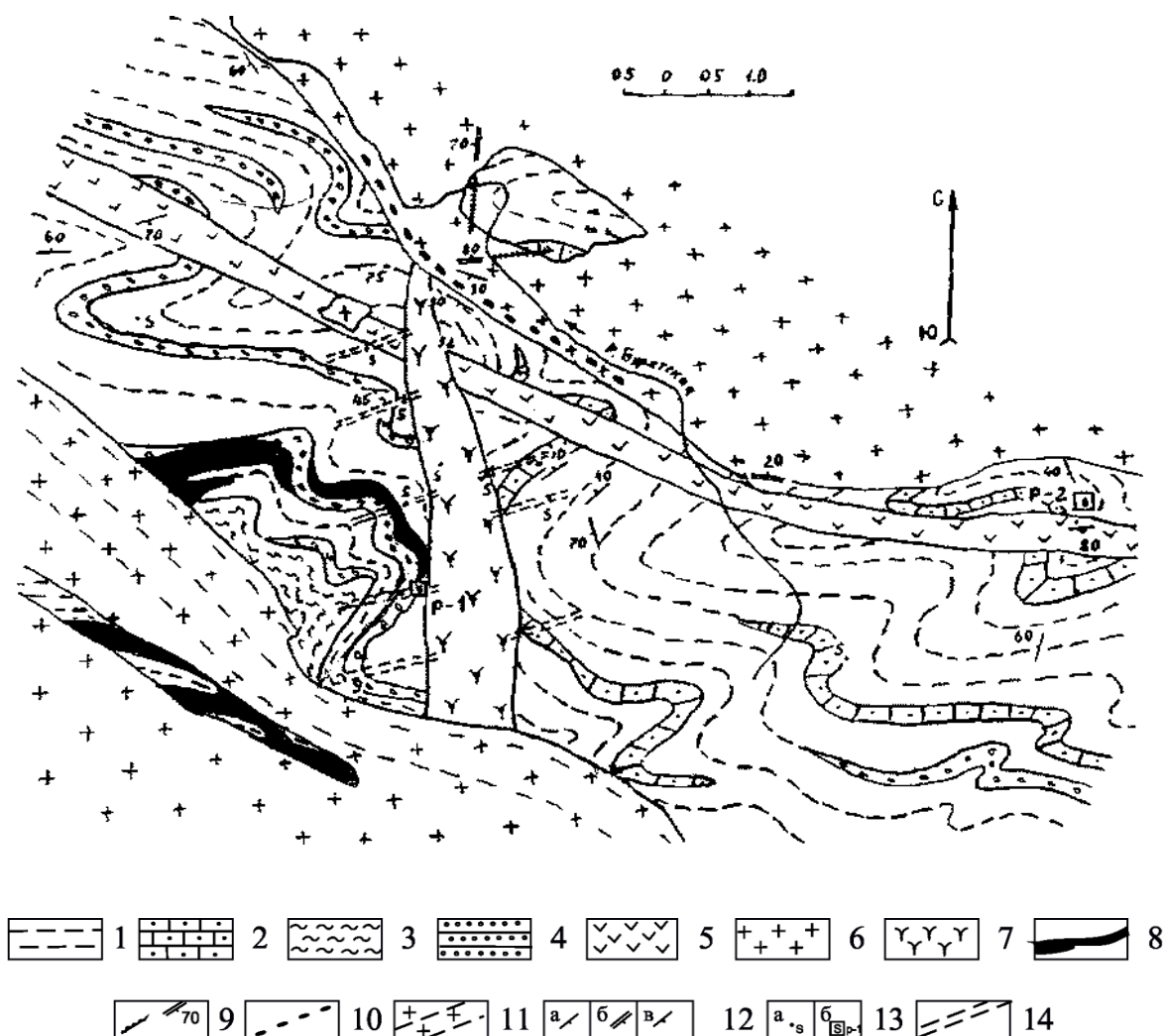


Рис. 2. Схематическая геологическая карта участка Горелый (составил В.Н. Аксенов, 2003):

1 – метапелиты (серпичитовые, филлитовые алюмосиликатные сланцы и метапесчаники); 2 – известково-силикатные породы; 3 – графитовые сланцы; 4 – кварциты, окварцованные сланцы; 5 – серпентинизированные ультрабазиты; 6 – граниты; 7 – кварцевые сиениты; 8 – метабазиты; 9 – дайки гранитов и элементы их залегания; 10 – мелкие тела диоритов; 11 – аплитовидные тектониты, развитые по гранитам; 12 – элементы залегания сланцеватости (а), контактов (б), отдельности (в); 13 – точки проявления сульфидной минерализации (а – бедной, б – богатой); 14 – предполагаемые зоны дробления, сцементированные сульфидами

мелкозернистую структуру, массивную текстуру. Петрографические и геохимические особенности этих пород позволили О.М. Глазунову (см. таблицу, проба 1) определить их как амфиболиты по габбро-пироксенитам.

В районе рудопроявления 2 (P-2) в ультрабазитах наблюдается обильная вкрапленность сульфидов. Редкая вкрапленность сульфидов отмечается и во вмещающих черносланцевых породах,

что указывает на ее наложенный характер.

Ультрабазиты имеют характерную, очень четкую, грубоплитчатую отдельность с толщиной плиток 5–10 см. Простираение отдельности в ультрабазитах субширотное, падение под углом 80° на юг. Кроме четкой субвертикальной отдельности порода разбита системой притертых трещин северо-восточной ориентировки с падением на северо-запад (аз.

Химический состав пород

Компоненты: окислы – %; Zr, Ba, Sr – г/г	Пробы			
	1	2	3	4
SiO ₂	45,46	64,01	65,11	67,65
TiO ₂	2,45	0,76	0,48	0,36
Al ₂ O ₃	12,11	17,86	16,80	16,27
Fe ₂ O ₃	16,45	1,69	1,90	1,48
FeO	н.д.	1,00	1,72	1,25
MnO	0,23	0,11	0,05	0,09
MgO	9,20	0,54	0,81	0,56
CaO	8,72	0,78	1,94	1,36
Na ₂ O	2,63	5,59	3,34	4,09
K ₂ O	0,14	6,65	6,63	6,07
P ₂ O ₅	0,12	0,12	0,16	0,11
ппп	2,75	0,49	0,81	0,56
Сумма	100,32	99,60	99,75	99,84
Zr	0,008	0,89	0,43	0,4
Ba	н.д.	0,38	1,11	0,57
Sr	н.д.	0,096	0,57	0,219

Примечание. 1 – серпентинизированный амфиболит по габбро-пироксенитам; 2, 3, 4 – кварцевый сиенит; н.д. – нет данных; анализы выполнены в лабораториях Института геохимии СО РАН.

падения 300°, угол 75°) и юго-восток (аз. падения 130°, угол 35°).

В каледонский этап тектономагматической активизации при правосторонних перемещениях по разломам северо-западного простирания были заложены субмеридиональные трещины отрыва. С внедрением в такие трещины глубинных щелочных расплавов связано образование на участке Горелом крупного массива кварцевых сиенитов (см. рис. 2). Массив имеет субмеридиональное простирание, протяженность его около 5 км, ширина выхода составляет 0,5–1,0 км. Кроме главных породообразующих минералов (микроклина, иногда амазонита, амфибола, биотита и пироксена) порода содержит до 10 % дымчатого кварца и кислого плагиоклаза.

Породы аналогичного минерального и химического состава (см. таблицу, пробы 2–4 по материалам Б.А. Литвиновского) известны в Сыннырском щелочном комплексе – формация бурпалинского типа [2].

Массивы высококалийевых щелочных пород Сыннырского интрузивного комплекса группируются вдоль древнебайкальского глубинного разлома на всем его протяжении [1].

Последующая смена знака тектонических напряжений приводила к левосторонним перемещениям по субмеридиональному разлому и формированию оперяющих его трещин отрыва субширотного простирания. При этом в массиве кварцевых сиенитов, видимо, еще не полностью раскристаллизованном, образовались приконтактные зоны с текстурами течения и разгнейсования, а во вмещающих массив сланцах сформировались субширотные зоны дробления (см. рис. 2).

В такие зоны, по-видимому, проникли рудоносные постмагматические гидротермальные растворы – обогащенные сульфидами зоны дробления фиксируются вблизи обоих субмеридиональных контактов массива по положению субширотных «грив» в рельефе.

В связи с этим рекомендуется оценить последние на полиметаллы. В первую очередь необходимо разведать и опробовать рудопроявление Р-1, где в широтной «гриве» на значительном протяжении прослеживается курумник серицитовых сланцев с густой вкрапленностью и тонкими прожилками сфалерита. Анализ отобранной на рудопроявлении Р-1 штучной пробы показал содержание цинка в породе около 2 % (устное сообщение Е.А. Гребнева). Здесь можно ожидать наличия промышленных жил с сульфидным оруденением штокверкового типа.

Кроме сульфидного оруденения, связанного с эманациями кварцевых сиенитов, последние и сами могут представлять интерес как потенциальное сырье для получения циркония.

В шлифах кварцевых сиенитов отмечено обилие идиоморфных, часто зональных, кристаллов циркона. Анализы, проведенные методом РФА, показали содержание циркона в пробе 2, отобранной вблизи восточного контакта массива, – 893 г/т (см. таблицу).

Рекомендуется также провести опробование обогащенных сульфидами серпентинизированных ультрабазитов, вскрытых в долине ручья Тихого – рудопроявление Р-2. Единичный анализ породы (см. таблицу, проба 1) показал содержание: платины – 0,1 г/т; палладия – 0,03 г/т; золота – 0,01 г/т; серебра – 0,06 г/т; хрома – 0,0659 %; никеля – 0,006 %; кобальта – 0,0068 %; меди – 0,01 %; цинка – 0,013 %.

В делювии над рудопроявлением Р-2 в обломках жильного кальцита наблюдается обильная вкрапленность сульфидов, а в глыбах жильного кварца отмечаются единичные зерна, похожие на золото.

Библиографический список

1. Аксёнов В.Н. Древнебайкальский скрытый глубинный зонный сдвиг сквозного заложения // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2002. С. 9–14.

2. Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я. и др. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы. Новосибирск: Наука, 1990. 234 с.

3. Хренов П.М., Шерман С.И., Александров В.К. и др. Южное обрамление Сибирской платформы // Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977. С. 34–42.

References

1. Aksenov V.N. Ancient Baikal hidden zonal shift of through emplacement. [Drevnebaikaljskiy skrytyi glubinni zonnii sdivig skvoznogo zalozhenia]. Sbornik: Geologia, poiski i razvedka poleznyh iskopaemyh i metody geologicheskikh issledovaniy – Collected papers: Geology, prospecting & exploration of mineral resources, and geological survey methods. Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2002, pp. 9–14.

2. Kostjuk V.P., Panina L.I., Zhidkov A.Ya. et al. Potash-alkaline magmatism of the Baikal-Stanovoy rifting system. [Kaliyeviy shelochnoy magmatizm Baikalo-Stanovoy riftogennoy sistemy. – Novosibirsk: Nauka, 1990, 234 p.

3. Khrenov P.M., Sherman S.I., Alexandrov V.K., et al. Southern framing of the Siberian platform. [Juzhnoe obramlenie Sibirskey platformy]. V knige: Razlomy i gorizontálne dvizhenia gornyh sooruzheniy SSSR – In: faults and horizontal motions of mountainous structures. M.: Nauka, 1977, pp. 34–42.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук, профессор Иркутского государственного технического университета А.П.Кочнев

УДК 551.311.7:553.216.5

СФЕРИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И РУДАХ САЯНО-БАЙКАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

© В.К. Хрусталеv¹, Н.С. Жатнуев²

Геологический институт СО РАН, 670047, Россия, г.Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, ба.

Впервые в разновозрастных магматических и гидротермально-метасоматических формациях Саяно-Байкальской складчатой области выявлены оксидные, силикатные и сульфидные минеральные образования сферической формы различной гранулометрии (менее 1 мм). Обсуждается проблема их происхождения и связи их состава с теми или иными породными и рудными комплексами.

Библиогр. 14 назв. Ил. 4. Табл. 3.

Ключевые слова: Саяно-Байкальская складчатая область; силикатные, оксидные, сульфидные сферулы; рудообразование; месторождение.

SPHERICAL MINERAL FORMATIONS IN ROCKS AND ORES OF SAYAN-BAIKAL FOLDED AREA

V.K. Khrustalev, N.S. Zhatnuev

Geological Institute, SB RAS, 6 Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

Oxide, silicate and sulphide mineral spherules of varying grain size (less than 1mm) have been identified in magmatic and hydrothermal-metasomatic formations of the Sayan-Baikal fold zone. The paper reports the issue of their genesis and composition correlations.

14 references. 4 figures. 3 tables.

Key words: Sayan-Baikal region; silicates, oxides and sulphides spherules; mineralization; deposit.

К настоящему времени в различных регионах России и за рубежом в разнообразных магматических и гидротермально-метасоматических формациях широкого возрастного диапазона (от архея до кайнозоя) выявлены минеральные образования, которые имеют сферическую, шарообразную форму, специфическое внутреннее строение и химический состав. В многочисленных публикациях они детально изучены в составе метеоритов [2], описаны как силикатно-оксидно-железные и магнитные микросферулы [3, 4, 9], природные микрошлаки и шлакоподобные частицы [14, 12], волховиты – тектитоподобные стекла [11] и т.д.

В последние годы исследователи изучают сферулы для установления их генезиса: корового, мантийного, метеоритного.

В связи с этим интересны данные А.М. Портнова о происхождении «пиритовой дроби» золоторудного месторождения Витватерсранд в глубинных водно-газовых рудных растворах [6], а также кавитационная гипотеза о формировании минеральных микросферул [1].

На изученной площади нами установлены сферулы в парагенезисе с золотом и уранинитом в приразломных углеродизированных метасоматитах Морского хребта [13], а при изучении золото-уранинитового оруденения на Уакит-

¹Хрусталеv Валерий Константинович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел.: 8(3012) 433065, e-mail: vkhustalev@yandex.ru

Khrustalev Valery, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher, tel.: 8(3012) 433065, e-mail: vkhustalev@yandex.ru

²Жатнуев Николай Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, тел.: 8(3012) 433065, e-mail: zhat@gin.bscnet.ru

Zhatnuev Nikolay, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Chief Researcher, tel.: 8(3012) 433065, e-mail: zhat@gin.bscnet.ru

ском рудопроявлении в отдельных жилах встречены шаровидные скорлуповатые микровключения, центральные части которых выполнены чистым железом, а по периферии развит вюстит [5].

Саяно-Байкальская складчатая область является юго-восточным покровно-складчатым обрамлением Северо-Азиатского кратона, состоящим из коллажа байкальских, каледонских, ранне- и позднегерцинских террейнов (океанических, островодужных, кратонных, окраино-морских) и связывающих их коллизионных и аккреционных комплексов. Особо следует отметить раннекаледонский этап геодинамического развития, который является важнейшим в формировании главных покровно-складчатых структур и определяет специфику профилирующей в регионе благороднометалльной минерагении. В рамках научного проекта «Факторы благороднометалльной рудопродуктивности мантийно-коровых рудно-магматических систем Саяно-

Байкальской складчатой области» проведены научные исследования развитых в ее пределах разновозрастных магматических, осадочно-метаморфических комплексов и профилирующего в регионе эндогенного оруденения (Fe, Pb, Zn, Cu, Au, Ag, Mo, W, Sn, U). Параллельно с отбором проб из основных разновидностей горных пород и руд на исследованной площади проведено шлиховое опробование рыхлых отложений с последующим получением и изучением концентратов минералов тяжелой, легкой и электромагнитной фракций. В результате проведенных работ собраны представительные коллекции сферул основных разновидностей магматических, осадочно-метаморфических пород и руд 14-ти изученных собственно золоторудных и комплексных (Au-U, Au-Pt, Au-Cu-Mo, Pb-Ag-Au) объектов, а также 10-ти ареалов в рыхлых кайнозойских отложениях Саяно-Байкальской складчатой области (рис. 1).

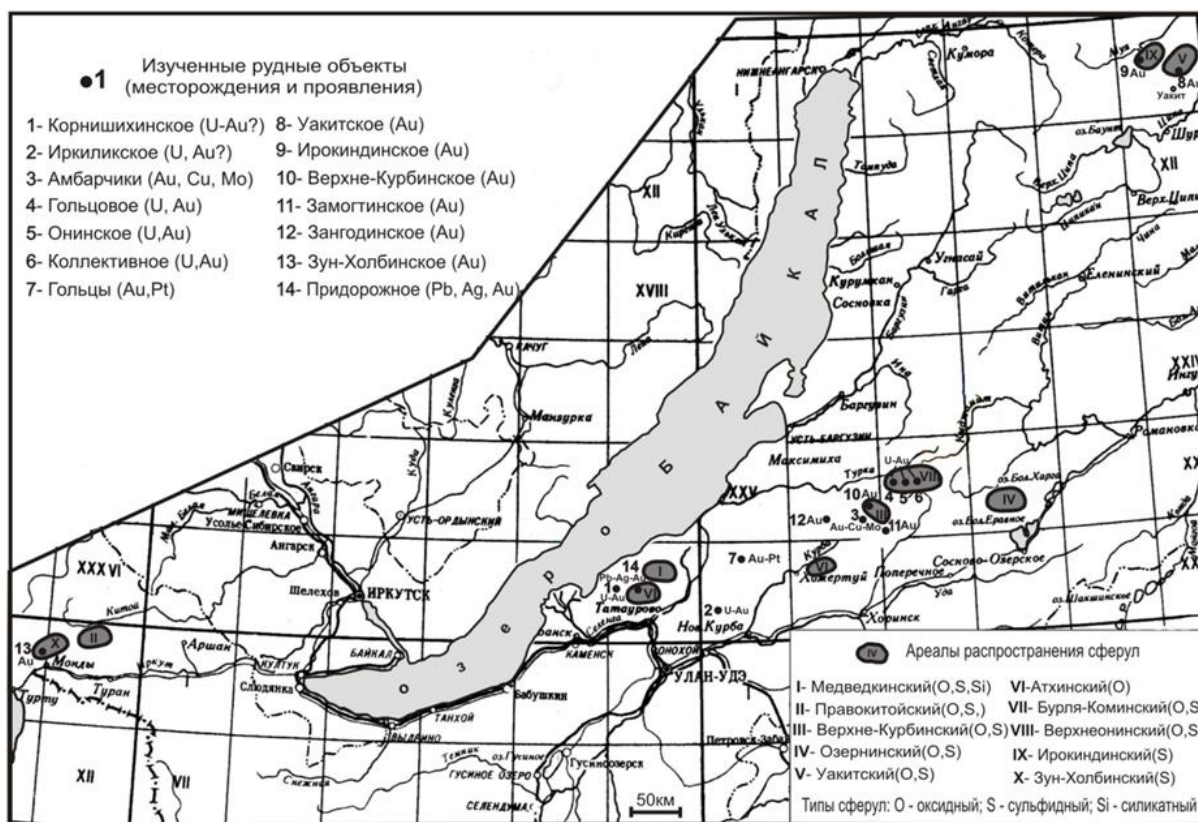


Рис. 1. Схема распространения микросферических минеральных образований в горных породах, рудах и рыхлых отложениях Саяно-Байкальской складчатой области

Сферические микрообразования в магматических комплексах. Анализ физических свойств, химического, минерального составов и парагенезисов выделенных сферул из профилирующих в регионе разновозрастных (R_3-N_2)

магматических комплексов и осадочно-метаморфических толщ, объединенных в ансамбль покровно-складчатых террейнов, показывает удивительную идентичность их основных типоморфных признаков (табл. 1). Так, сферулы

Таблица 1
Типоморфные особенности, состав и парагенезис сферул магматических пород и осадочно-метаморфических формаций Саяно-Байкальской складчатой области

Комплекс, свита, порода	С ф е р у л ы				Парагенезис
	Физические свойства, морфология, размерность	Химический состав	Минеральный состав	Тип (доля, %)	
1	2	3	4	5	6
Абагинский комплекс ($R-R_3$), Ямбуйский рудный узел, боннит	**Цвет черный, металлический блеск, поверхность идеально округлая, 50–200 μm	O, Fe, Cr, Ni, Ti	Магнетит	O	Оливин, серпентин, хромшпатель, пироксен, карбонат, пирит
Атарханский комплекс (PZ_2), бассейн р. Комы, габбро	*Поверхность шероховатая, идеально округлая, 6,8 μm	O, Fe	Магнетит	O	Амфибол, пироксен, плагиоклаз, магнетит
	**Цвет черный, блестящий, поверхность матовая, 50–300 μm	O, Fe	Магнетит	O, S (95/5)	
Баргузинский комплекс (PZ_3), Морской хребет, порфириновый гранит	**Цвет черный, бурый, пленки гидроокислов железа, поверхность приплюснутая с боков, матовая, 50–200 μm	O, Si, Fe, Al	Магнетит	O, S (95/5)	Кварц, полевой шпат, эпидот, монацит, циркон, рутил
Баргузинский комплекс (PZ_3), Черемшанское месторождение, дайка плагиодацит-порфиоров	*Поверхность шероховатая, идеально округлая, 21,3 μm	O, Fe, Mn	Магнетит	O	Альбит, кварц, магнетит, ильменит, полевой шпат
	**Цвет черный, блестящий, поверхность матовая, идеально округлая 100–300 μm	O, Fe, Mn	Магнетит	O, S (90/10)	
Зазинский комплекс (PZ_3), участок «Медведкина падь», граносиенит с вкрапленностью сульфидов	*Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 6,3 μm	O, Si, Fe	Оксид	Sl	Кварц, фельдшпатоиды, циркон, магнетит, ильменит, титанит
	**Цвет черный, блестящий, поверхность идеально округлая, 100–300 μm	O, Si, Fe	Магнетит	O	
Зазинский комплекс (PZ_3), Абагинский рудный узел, лейкогранит	**Цвет черный, блестящий, поверхность идеально округлая, 50–350 μm	O, Si, Fe, Al	Магнетит	O	Кварц, полевой шпат, монацит, ортит
Итанцинская свита (R_3), Черемшанский рудный узел, углисто-кварц-биотитовый сланец	**Цвет черный, блестящий, поверхность идеально округлая, 30–150 μm	O, Si, Fe	Магнетит	O	Пироксен, кварц, пирит
Итанцинская свита (R_3), Черемшанский рудный узел, углисто-кварц-биотитовый сланец	**Цвет черный, блестящий, поверхность идеально округлая, 30–150 μm	O, Si, Fe	Магнетит	O	Пироксен, кварц, пирит

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Бассейр р. Атха, долинный базальт (N ₂)	**Цвет черный, блестящий, поверхность округлая, 100–150 мкм	O, Fe, Cr, Ni, Ti	Магнетит	O	Апатит, плагиоклаз, пирит, пироксен, амфибол

Примечание. * По данным электронной микроскопии. ** По данным минералогического анализа.
Тип сферул: O – оксидно-железные; S – сульфидные; Sl – силикатные.

из наиболее древних по возрасту (R₃) бонинитов абагинского комплекса, залегающих в виде тектонических линз, не отличаются от сферул из габброидов атарханского комплекса, верхнепалеозойских гранитоидов баргузинского и заинского комплексов, формирующих огромный (более 120 000 км²) ангаровитимский батолит. Основной объем гранитоидов образован *in situ* в результате метасоматического преобразования верхнерифейских углисто-кварцбиотитовых сланцев итанцинской свиты. Сферулы из последних практически не отличаются по минеральному составу и внешнему облику от сферул изученных гранитоидов (микроэлементный состав, к сожалению, на данном этапе не изучался). И, в свою очередь, сферулы из неогеновых долинных базальтов идентичны сферулам из пород, охарактеризованных выше (см. табл. 1).

Большинство сферул этой коллекции обладает высокомагнитными свойствами, сложены магнетитом и близки по химическому составу: преобладают O+Fe, в примесях Si, Al, Cr, Ti, Mn. По-

явление незначительных количеств (5–10%) экзотических сульфидных сферул в дайке плагиодацит-порфиров на Черемшанском месторождении и в порфировидных гранитах Морского хребта связано с наложением гидротермально-метасоматических процессов, сопровождавшихся рудообразованием [13].

Сферические минеральные образования, выделенные из руд и гидротермально-метасоматических пород профилирующих в изучаемом регионе месторождений и проявлений, существенно отличаются по физическим свойствам, составу и парагенезису от рассмотренной ранее коллекции сферул (табл. 2, рис. 2, 3). По геодинамической позиции и вещественному составу изученные объекты подразделяются на три группы: 1 – собственно золоторудные; 2 – комплексные (Au-Cu-Mo; Au-U; Au-колчеданные); 3 – приразломные углеродизированные метасоматиты и брекчии.

Сферические микробразовании из собственно золоторудных месторождений. Несмотря на резкие различия

Таблица 2

Сферулы и шарообразные обособления в рудах и гидротермально-метасоматических породах месторождений и проявлений Саяно-Байкальской складчатой области

Месторождение, участок, порода	Физические свойства, морфология, размерность	Химический состав	Минеральный состав	Тип (доля, %)	Парагенезис
1	2	3	4	5	6
С. Ирокиндинское золоторудное месторождение, жила Юрасовская	*Цвет светло-желтый, латунный, изометричный кубооктаэдр, 34 мкм	Au, Ag	Золото	Θ, S (90/10)	Пирит, аргентит, халькопирит, галенит, золото
С. Зун-Холбинское золоторудное месторождение, рудное тело Северное-3	**Цвет черный, блестящий, поверхность с неровными углублениями и выступами, редко комковидная, 20–50 мкм	O, Fe	Магнетит	O, S (95/5)	Пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, золото

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
С. Зун-Холбинское золоторудное месторождение, рудное тело Северное -3	** Цвет черный, блестящий, поверхность с неровными углублениями и выступами, редко комковидная, 20–50 μm	O, Fe	Магнетит	O, S (95/5)	Пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, золото
С. Верхне-Курбинское золоторудное проявление, рудное тело №1	**Цвет черный, блестящий, поверхность гладкая, идеально округлая, 15–40 μm	O, Fe	Магнетит	O, S (95/5)	Галенит, пирит, золото, халькопирит, кварц, эпидот, циркон
С. Замогтинское золоторудное проявление	*Цвет светло-желтый, латунный, поверхность гладкая, каплевидно-изометричная, 127 μm	Au, Ag	Золото	Θ, S (95/5)	Пирит, гематит, кварц, шеелит, галенит, золото, халькопирит
С. Уакитское месторождение, золотоносный сульфидизированный кварц	*Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 32,7 μm	S, Fe	Пирит	S	Пирит, карбонат, рутил, циркон, альбит, золото
К. Амбарчики, золото-медно-молибденовое проявление	* Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 6,3 μm	Ce, La, Sr, Th, Pr, Nd	Монацит	Θ, S (95/5)	Кварц, циркон, эпидот, моноцит, калишпат
К. Онинское золото-урановое месторождение	*Поверхность ровная, эллипсоидно-округлая 7,6 μm	Ca, P, Sr	Апатит	Sl	Кварц, мусковит, рутил, моноцит, калишпат, циркон, уранинит
	**Цвет черный, блестящий, серебристый, матовый, поверхность округлая, грушевидная, 50–120 μm	O, Fe, Al, Si,	Магнетит	O, S (70/30)	Пирит, биотит, гематит, золото
К. Лего-Кыджимитское золото-олово-скарновое проявление, турмалин-касситеритовая руда	*Поверхность шероховатая, округлая, 11,9 μm	O, Al, Si, Fe, Zn	Цинкит	O	Касситерит, турмалин, станин, везувиан, скаполит, амфибол, эпидот, золото
	*Поверхность шероховатая, округлая, 8,4 μm	O, Al, Si, Fe,	Магнетит	O	Турмалин, станин, везувиан, скаполит, амфибол, эпидот
К. Зангодинское золото-колчеданное месторождение	** Цвет черный, блестящий, поверхность гладкая, идеально округлая, 50–200 μm	O, Fe	Магнетит	O	Пирит, гематит, сидерит, золото, кварц
Черемшанское месторождение кварцитов	**Цвет черный, блестящий, поверхность идеально округлая до 120 μm	O, Fe, Al, Si,	Магнетит	O	Пирит, сидерит, гематит
Паренгское проявление олова	** Цвет черный, блестящий, поверхность гладкая, идеально округлая, 70–250 μm	O, Fe	Магнетит	O	Арсенопирит, галенит, магнетит, касситерит, барит
Участок «Медведкина падь», углеродизированный катаклизит	*Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 70,2 μm	O, Fe	Оксид	O	Кварц, полевой шпат, биотит, акантит, кальцит

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6
Участок «Медведкина падь», углеродизированный катаклизит	**Цвет черный, блестящий, поверхность гладкая, идеально округлая, цвет бурый, латунный, серебристый с медным отливом, матовый, поверхность шероховатая, местами с пленками гидроокислов железа эллипсоидная, комковато-округлая, грушевидная, 250–750 μm , 50–350 μm	Mg, Mn, Cr, Ni, Co, Cu, Si, Cl, Ti, Fe, Al	Магнетит	O, S (70/30)	Кварц, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, золото, циркон, ильменит
Участок «Медведкина падь», углеродизированный метасоматит	*Поверхность гладкая, идеально округлая, 2,3 μm	O, Na, Mg, Si, Cl, Ca, Ti, Fe, Al	Оксид	Sl	Плагиоклаз, хлорит, галенит, золото, касситерит, кварц
Участок «Медведкина падь», углеродизированный милонит с золотом	*Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 2,0 μm	O, Fe, Pb	Оксид	S	Кальцит, золото, уранинит, кварц
Участок «Медведкина падь», углеродизированный милонит	*Поверхность гладкая, идеально округлая, 2,8 μm	Fe, Cu, Sn	Оксид	S	Кальцит, кварц, золото, галенит, халькопирит
Участок «Медведкина падь», брекчированный кварц с сульфидами	*Поверхность гладкая, идеально округлая, 3,5 μm	O, Fe, Al, Si, Cu	Магнетит	O	Кварц, сидерит, халькопирит, галенит, кальцит
	**Цвет буро-черный, латунный, серебристый, медный отлив, поверхность гладкая, шероховатая, шагреневая, эллипсоидная округло-комковатая 100–150 μm , 350–700 μm	O, Fe, Al, Si, Cu	Магнетит, пирит	O, S (50/50)	Полевой шпат, амфибол, плагиоклаз, галенит, золото, альбит
Участок «Медведкина падь», брекчированный кварц с сульфидами	*Поверхность гладкая, идеально округлая, 2,0 μm	O, Fe, Al, Si, Cu	Сидерит	O	Кварц, пирит, золото, галенит, мусковит
Участок «Медведкина падь», брекчированный кварц с сульфидами	*Поверхность гладкая, идеально округлая 6,7 μm , 4,8 μm , 3,8 μm ,	O, Fe, Al, Si, Cu	Магнетит	O	Магнетит, кварц, галенит, сфалерит, золото, пирит, эпидот, кальцит
Участок «Медведкина падь», химически чистый жильный кварц	*Поверхность гладкая, шероховатая, идеально округлая, эллипсоидно-округлая, 5,0 μm , 4,7 μm , 2,6 μm	O, Al, Si, Fe	Оксид	Sl	Касситерит, пирит, сфалерит, уранинит, кальцит
Участок «Медведкина падь», химически чистый жильный кварц	*Поверхность шероховатая, эллипсоидно-округлая, 2,7 μm	O, Si, S, Pb	Оксид	S	Пирит, сфалерит, апатит, рутил
	*Поверхность гладкая, идеально округлая, 1,9 μm	O, Si, Fe	Оксид	O	Пирит, сфалерит, апатит, рутил

1	2	3	4	5	6
Участок «Медведкина падь», химически чистый жильный кварц	**Цвет черный, блестящий, матовый, поверхность грушевидная шагреньевая, 50–150 мкм	O, Fe, Al, Si,	Магнетит	O, S (50/50)	Пирит, гематит, биотит

Примечание. * По данным электронной микроскопии. ** По данным минералогического анализа. Тип сферул: O – оксидно-железные; S – сульфидные; Sl – силикатные; Θ – другие. C – собственно золоторудное, K – комплексное месторождения (Au-U, Au-Cu-Mo, Au-колчеданное). Качественный анализ сферул (Fe, Si, Al, Ca, Mg, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, Cu, Zn, Pb, Sn, Au, Ag, P) выполнен атомно-эмиссионным спектральным методом ДФС -13, решетка 1200 штр/мм, испарение из кратера электрода в дуге постоянного тока. Аналитик Т.И. Казанцева.

формационных типов месторождений – от существенно сульфидного колчеданной формации (Зун-Холба) до убого-сульфидного (Ирокинда), они характеризуются преобладанием (>95%) в рудах оксидных сферул магнетитового состава и наличием сульфидных сферул, сульфидов и золота. Этот факт

можно рассматривать как косвенный индикаторный признак на золотое оруденение.

В особую категорию можно отнести сферические минеральные образования Уакитского золоторудного проявления, выделяющиеся скорлуповатым зональным строением, центральная

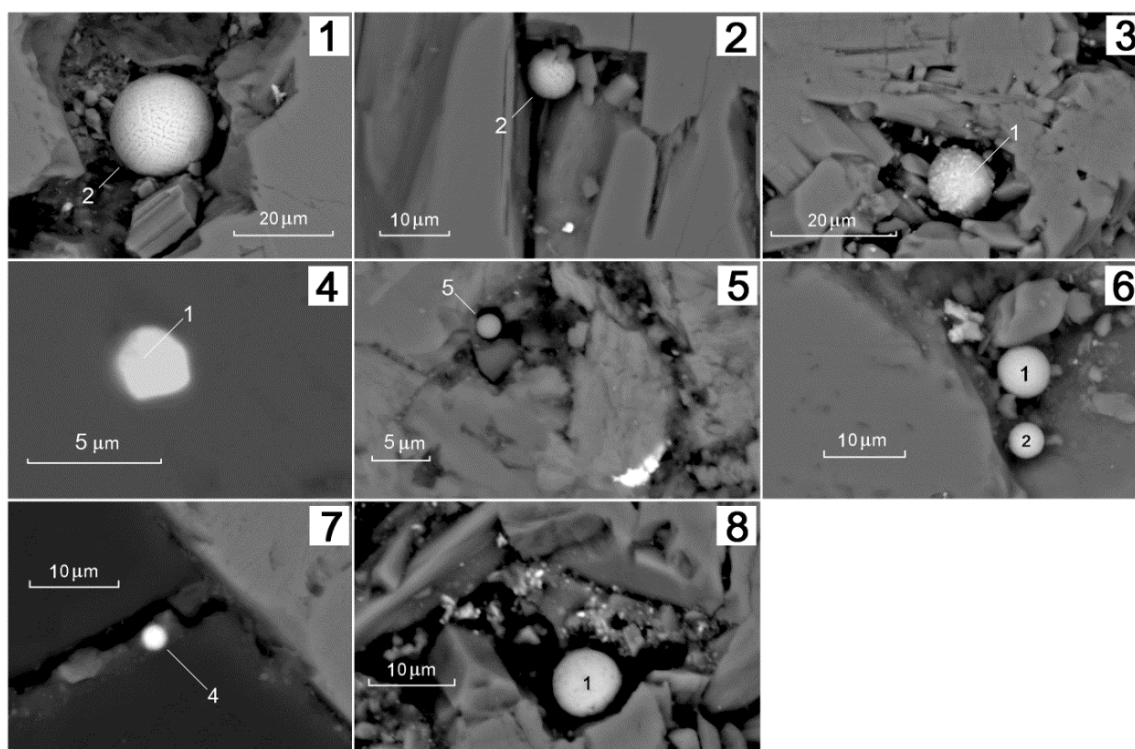


Рис. 2. Типоморфные особенности микросферических минеральных образований Саяно-Байкальской складчатой области:

1 – баргузинский комплекс (PZ₃), Черемшанское месторождение, плагиодацит-порфиры – магнетит; 2 – атарханский комплекс (PZ₂), бассейн р. Комы, габбро – оксид железа; 3 – Лево-Кыджимитское олово-скарновое проявление, турмалин-касситеритовая руда – цинкит; 4-7 – участок «Медведкина падь»: 4 – химически чистый жильный кварц – оксид свинца, 5 – углеродизированный метасоматит – силикатная сферула, 6 – химически чистый жильный кварц – оксид железа, 7 – углеродизированный милонит – куприт; 8 – Лево-Кыджимитское олово-скарновое проявление, турмалин-касситеритовая руда – магнетит.

Цифры на сферулах – номера точек отбора проб (см. табл.3)

Таблица 3

Химический и минеральный состав сферул по данным СЭМ

№ п/п	Номер точки	Минерал	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Mn	S	Fe	Cu	Sn	Zn	Pb	Сумма
а) к рис. 2																			
1	2	Магнетит	36,04									0,56		70,64					107,24
2	2	Оксид	13,08											54,68					67,76
3	1	Цинкит	20,03			1,17	0,44							1,19			72,61		95,45
4	1	Оксид	13,53				3,92						12,78					90,84	121,07
5	5	Оксид	57,1	1,51	2,23	10,75	22,7	0,24	1,95	3,32	0,5			6,44					106,75
6	1	Оксид	35,55				1,29							70,18					107,02
	2	Оксид	37,17				2,17							68,78					108,12
7	4	Куприт												4,03	74,24	19,96			98,23
8	1	Магнетит	35,91			0,52	0,41							70,39					107,23
а) к рис. 3																			
1	2	Пирит											52,03	44,91					96,94
2	1					1,33	3,85							0,81	93,25				100
	1	Самородное железное		0,98		1,59	6,38			0,74	2,39	1,39		86,53					100
3	4			1,27		2,06	6,95			0,68	2,53	1,37		85,14					100
	6			1,62		1,71	5,51			0,6	2,17	1,74		86,65					100
4	1	Самородное железное				1,75	6,23			0,49		0,51		91,02					100
	3			1,33		1,58	4,72			0,59	1,34	1,54		88,9					100
	1			1,72	0,69	1,4	5,25			1,58				89,37					100
5	2			2,26	0,81	2,51	8,49			1,97				83,96					100
	1			1,09		1,07	2,92			0,31				94,61					100
6	3			1,5		2,2	6,09			1,8	2,26	1,2		84,95					100

часть которых сложена самородным железом с примесью титана и марганца, а внешняя – оксидно-железной оторочкой с примесью Ti, Si, Mn, Al (см. рис. 3, табл. 3).

Сферические микрообразования из комплексных (Au-Cu-Mo; Au-U; Au-колчеданные) месторождений. По типоморфизму, составу и парагенезису сферулы, выделенные из их руд, близки к таковым из собственно золоторудных объектов и характеризуются преобладанием оксидно-железных индивидов. Отличительной особенностью является присутствие в рудах вместе со сферулами шарообразных обособлений апатита (Онинское проявление), монацита (Амбарчики), а также оксидов цинка (Лево-Кыджимитское проявление). К косвенным индикаторным признакам, конкретизирующим металлогенический профиль оруденения, можно отнести пара-

генезисы сферул и рудных минералов: касситерит, золото (Лево-Кыджимитское проявление); уранинит, золото (Онинское проявление).

Сферические образования, связанные с субмеридиональной и субшироной системой разломов, изучены нами на участке Медведкина падь Приморского хребта.

Углеродизированные золоторудные метасоматиты и брекчии, локализованные в **субмеридиональной тектонической зоне**, описаны в [13]. Происхождение их предположительно связывается с прохождением глубинных флюидов с повышенными содержаниями Cr, Ti, Ni, V через рифейские черносланцевые толщи итанцинской свиты, в результате чего происходили пульсационный привнос SiO₂, объемная карбонизация, обогащение углеродистым веществом, представленным битумоидами

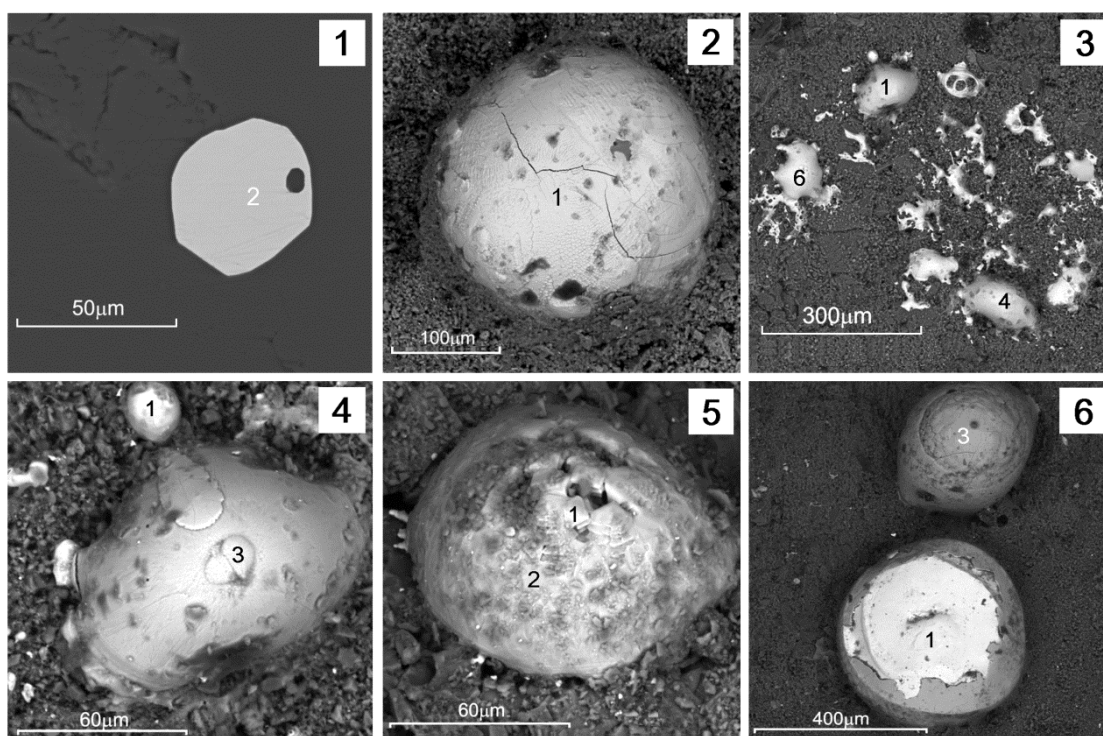


Рис. 3. Сферулы из руд Уakitского золоторудного месторождения:

1 – золото-сульфидно-кварцевая руда – эллипсоидноокруглое обособление в жильном кварце – пирит; 2 – сферула в микрозернистом жильном кварце; 3 – эмульсионно-амебовидные выделения Fe, Si, Ti, Mn состава в микрозернистом кварце; 4 – эллипсоидные выделения самородного железа с примесью Al, Si, Mn, Fe в брекчированном кварце; 5 – шарообразные выделения самородного железа с примесью Al, Si, Mg в брекчированном кварце; 6 – зональные сферулы с примесью самородного железа в жильном кварце.

Цифры на сферулах – номера точек отбора проб (см. табл.3)

(ароматические и нефтяные углеводороды с повышенными концентрациями золота). Органический углерод и золото, имеющиеся в метасоматитах, возможно, экстрагированы из этих же толщ.

Для углеродизированных метасоматитов характерны широкое развитие оксидно-железистых сферул и единичные обособления сульфидных сферических минеральных образований.

Брекчированные кварцевожильные метасоматиты развиты в **субширотной зоне разломов**. Для этой зоны характерны типоморфные парагенезисы относительно крупных (до 700 μm) выделений самородного золота (5–10 до 20 г/т) с пиритом, галенитом, сфалеритом и халькопиритом.

Полученные структурно-вещественные характеристики тектонитов участка «Медведкина падь» позволяют считать субмеридиональную зону разлома флюидоподводящей (привнос С, Н, S, N, O, Cl, Au, U) и магмарудоконтролирующей структурой, а субширотную зону золоторудных брекчий – рекомендовать к постановке поисково-оценочных работ.

Сферические минеральные образования рыхлых кайнозойских отложений. В пределах Саяно-Байкальской складчатой области в рыхлых отложениях нами выделено 10 ареалов сферических образований, из которых наиболее изучены Медведкинский, Коминский и Колокский (рис. 4).

Часть сферул, выделенных шликсовым опробованием, отличается от таких, извлеченных из горных пород и руд изученного региона, силикатным составом. Блестящая «полированная» поверхность позволяет предположить об их недавнем образовании и космогенном происхождении, связанном с метеоритными «дождями».

Медведкинский ареал. Располагается на Морском хребте, сложенном преимущественно гранитоидами баргузинского комплекса, содержащими раз-

личные по размерам (от первых m^2 до первых km^2) ксенолиты габброидов атарханского комплекса и осадочно-метаморфические породы итанцинской свиты. Рыхлые отложения этого ареала отличаются многообразием сферических образований. В их состав входят магнетитовые, сульфидные и силикатные сферулы.

Магнетитовые сферулы преобладают и отличаются насыщенным черным блестящим цветом, иногда варьирующим до матового. Форма образований идеально округлая до слегка вытянутой, яйцевидной, сплюсненной. Отмечаются индивиды грушевидной формы и в виде полусферы с пустотами по центру. Поверхность сферул гладкая, иногда с пленками гидроокислов железа. Размеры от 50 до 600 μm , единичные сферулы достигают размеров до 750 μm .

Сульфидные минеральные образования достаточно редки, имеют серебристо-металлический, коричнево-прозрачный и бурый цвета. Форма – округлая, эллипсовидно-округлая со слегка вытянутыми краями. Поверхность сферул гладкая, иногда шероховатая с пленками гидроокислов железа и черной «магнетитовой» корочкой. Размеры от 50 до 300 μm .

Силикатные сферулы выглядят довольно экзотично. Они имеют различные оттенки белого, серого и бежевого цветов, иногда встречаются коричневатые. Форма бутылковидная, грушевидная с гладкой прозрачной поверхностью. Размеры этих минеральных образований находятся в интервале от 200 до 750 μm .

Коминский ареал. Выделен в бас. р. Комы. Субстратом рыхлых отложений являются гранитоиды зазинского, баргузинского и габброиды атарханского комплексов. В ареале выделены многочисленные магнетитовые и редкие сульфидные сферические образования.

Магнетитовые сферулы имеют серый блестящий цвет, иногда матовый.

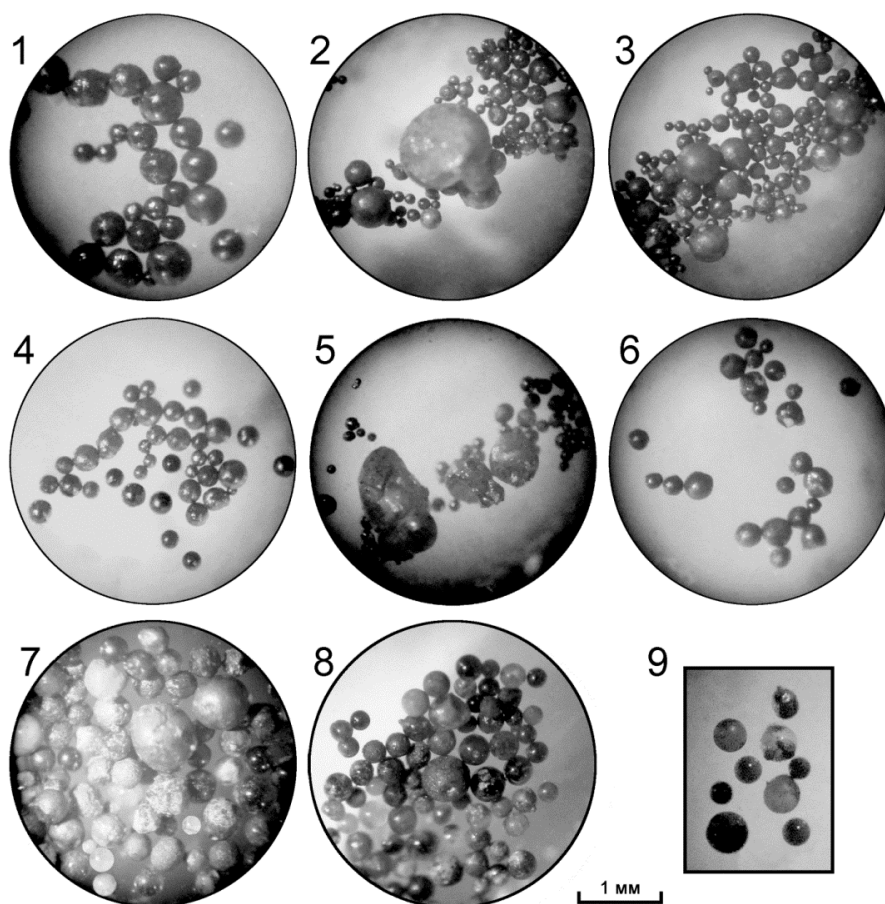


Рис. 4. Сферулы из горных пород и рыхлых отложений Саяно-Байкальской складчатой области:

1 – атарханский комплекс (PZ_2), бассейн р. Комы – габбро; 2 – абагинский комплекс ($R-R_3$), Ямбуйский рудный узел – бонинит; 3 – танцинская свита (R_3), Черемшанский рудный узел – чёрные сланцы; 4 – Иркиндинское золоторудное месторождение – жила Юрасовская; 5 – Верхне-Курбинское золоторудное проявление, рудное тело №1; 6 – участок «Медведкина падь» – химически чистый жильный кварц; 7 – шлиховая проба, Узкая падь; 8 – шлиховая проба, Морской хребет; 9 – шлиховая проба, руч. Горлык-Гол

Форма их идеально округлая, поверхность гладкая, размеры – 50–150 μm .

Сульфидные сферулы встречаются серого и ржавого цвета. Они очень необычны по своей форме. Иногда это округлые, слегка плосковатые индивиды с шероховатой поверхностью за счет пленок гидроокислов железа. Размер шариков от 10 до 150 μm .

Колокский ареал. Трассируется по бортам эллипсоидной чашеобразной котловины оз. Колок, размеры которой составляют 2,5x7,0 км. Субстрат – гранитоиды баргузинского комплекса. Юго-западный борт котловины (кольцевой структуры) ограничен серией крутопадающих (70–80°) от центра к

бортам кулисовидных тектонических нарушений. По геолого-структурному положению Колокскую структуру можно отнести в разряд мини-астроблем. Рыхлые отложения этого ареала богаты магнетитовыми сферулами. Они имеют различные оттенки черного цвета с металлическим блеском и черно-бурого с матовым. Форма этих минеральных обособлений округлая; встречаются полусферические обломки с белыми включениями внутри. Поверхность гладкая, иногда шагреневая «припыленная». Размерность сферул от 50 до 300 μm .

Выводы. На обширной площади Саяно-Байкальской складчатой области

впервые в разновозрастных магматических, гидротермально метасоматических породах и рудах профилирующего в регионе благороднометалльного оруденения выявлены оксидные, силикатные и сульфидные минеральные образования сферической формы различных гранулометрических классов (1–700 μm). Во всех разновидностях горных пород и руд присутствуют оксидно-железные сферулы. Силикатные и сульфидные сферические образования находятся только в минеральных парагенезисах изученных рудных и нерудных объектов, характеризуют минерагенический профиль вещественных комплексов и могут рассматриваться как индикаторы эндогенного и экзогенного рудообразования региона.

Библиографический список

1. Адушкин В.В., Андреев С.Н., Попель С.И. Кавитационный механизм формирования нано- и микрочастиц минералов в рудных месторождениях // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, №5. С. 363–370.
2. Бадюков Д.Д., Райтала Й. Абляционные сферулы Сихотэ-Алинского метеорита и условия их формирования. М.: Наука, 2012. Т. 20, №6. С. 574.
3. Лазаренков В.Г., Малич К.Н. Содержание элементов платиновой группы в силикатно-оксидно-железных сферулах как критерий их земного происхождения // ДАН СССР. 1990. Т. 311, №2. С. 466–468.
4. Медведев Е.И., Молчанов В.П., Хомич В.Г. Палладийсодержащее золото, микросферулы магнетита и шорломита россыпей Благодатненского узла (Приморье) и возможные их источники. // Тихоокеанская геология. 2006 Т. 25, №4. С. 92–96.
5. Миронов А.Г., Жмодик С.М., Крылова Т.Л. и др. Золото-уранинитовая ассоциация с самородным железом в кварц-карбонатных жилах в Северном Забайкалье // Материалы Международной конференции «Рудоге-нез». Миасс: УрО РАН, 2008. С. 192–193.
6. Портнов А.М. Глубинные золотоносные «реки земли» // Известия вузов. Серия геол. 1997. №4. С. 56–69.
7. Рычагов С.Н. Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры флюидного режима и минералорудообразования в современной гидротермальной системе Баранского (о-в Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38, №1. С. 31–40.
8. Сандиминова Е.И. Сферические минеральные образования вулканических пород Курильских островов Камчатки: автореф. ... канд. геол.-минералог. наук. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2008. С. 3–24.
9. Сандиминова Е.И., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н. Магнитные сферулы из вулканогенных пород Курильских островов и Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. №1. С. 135–139.
10. Симонов В.А., Шилова Т.В., Масленников В.В. и др. Флюидные включения в минералах «черных курильщиков» Галапагосского рифта, Тихий океан // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. С. 64–66.
11. Скублов Г.Т., Марин Ю.Б., Семиколенных В.М. и др. Волховиты – новый тип тектитоподобных стекол // Записки Российского минералогического общества, 2007. Ч. СXXXVI, №1. С. 50–68.
12. Татаринев А.В., Яловик Л.И. Состав и генезис природных микрошляков системы FeO-MnO-TiO₂ // Материалы международного петрографического совещания «Петрография XXI века». Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2005. Т. 2. С. 251–253.
13. Хрусталева В.К., Жатнуев Н.С., Развозжаева Э.А. и др. Золоторудные углеродистые тектониты в гранитоидах Морского хребта // Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и

разведка рудных месторождений. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. №1(40). С. 5–17.

14. Яценко И.Г., Бекеша С.Н., Варичев А.С. Микросферулы, шлакоподобные частицы, самородные металлы в взрывных структурах и вулканогенно-осадочных формациях Украины // Международная конференция. «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма». Львов: НАН Украины, 2011. С. 193–195.

References

1. Adushkin V.V., Andreev S.N., Popel S.I. Cavitation mechanism of formation of nano- and micro particles of minerals in ore deposits. [Kavitacionniy mehanizm formirovaniya nano- i mikro chastits mineralov v rudnykh mestorozhdeniyah]. Zhurnal Geologia rudnykh mestorozhdeniy – J. Geology of ore deposits, 2004, V. 46, no. 5, pp. 363–370.
2. Badjukov D.D., Raitala Y. Ablation spherules of Sikhote-Alin meteorite and conditions of their formation. [Abljatsionnye sferuly Sihote-Alinskogo meteorita i uslovia ih formirovaniya]. Moscow: Nauka, 2012, V. 20, no. 6, pp 574.
3. Lazarenkov V. G., Malich K.N. Pt-group element content in silicate-oxide-ferruginous spherules as the criterion of their terrestrial origin. [Soderzhanie elementov platinovoy gruppy v silikatno-oksидnyh-zheleznyh sferulah kak kriteriy ih zemnogo proishozhdeniya]. Trudy: Doklady DAN SSSR – Proc. Doklady AN SSSR, 1990, V. 311, no. 2. pp. 466–468.
4. Medvedev E.I., Molchanov V.P., Homich V.G. Palladium-bearing gold, micro spherules of magnetite and shorlomite of Blagodatny placer cluster (Primorje) and their possible sources. [Palladiy-soderzhashee zoloto, mikro sferuly magnetite i shorlomita rossypei Balagodatnenskogo uzla (Primorje) i vozmozhnye ih isochniki]. Zhurnal Tihookeanskaja Geologia – J. Pacific Geology. Vladivostok: Pacific Geology, 2006, V. 25, no. 4, pp. 92–96.
5. Mironov A.G., Zhmodik S.M., Krylova T. L., Karmanov N.S. Gold-Uraninite association with native iron in quartz-carbonatite veins in North trans-Baikal area. [Zoloto-uraninitovaja associatsiya s samorodnym zhelezom v kvarc-karbonatnyh zhilah v severnom zabaikalje]. Materialy Mezhdunarodnoy konferencii –Rudogenez” – Proc. Intern.Conf. –Ore Genesis”. Miass, Ur.Br. RAS, 2008, pp. 192–193.
6. Portnov A.M. Deep-seated gold-bearing rivers of the Earth”. [Glubimnye zolotonosnye reki zemli”]. Izvestia Vuzov – Proc. Univ. Ser. Geol., 1997, no. 4, pp. 56–69.
7. Rychagov S.N. Ore and silicate magnetic balls as indicators of fluid regime structure and ore formation in the recent Baransky hydrothermal system (Iturup Island). [Rudnye i silikatnye magnitnye shariki kak indikatory struktury fluidnogo regima i rudoobrazovaniya v sovremennoi gidrotermalnoi sisteme Baranskogo (O.Iturup)]. Zhurnal Geologia rudnykh mestorozhdeniy – J. Geology of ore deposits, 1996, V. 38, no. 1, pp. 31–40.
8. Sandimirova E.I. Spherical mineral formations of volcanic rocks of Kamchatka Kuril islands. [Sfericheskie mineralnye obrazovaniya vulkanicheskikh porod Kuriskikh ostrovov Kamchatki]. Avotoreferat kand. Diss. – Cand. Thesis abstract. Petropavlovsk on Kamchatka: Institute of Volcan. & Seismol. FEB RAS, 2008, pp. 3–24.
9. Sandimirova E.I., Glavatskih S.F., Rychagov S.N. Magnetic spherules from volcanic rocks of Kuril Islands and Southern Kamchatka. [Magnitnye sferuly iz vulkanicheskikh porod Kurilskikh ostrovov i juzhnoy Kachatki]. Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle – Bulletin KRAUNTS. Earth sciences, 2003, no. 1, pp. 135–139.
10. Simonov V.A., Shilova T.V., Maslennikov V.V., Jonnason I.R. Fluid inclusions in minerals of “black smokers” of the Galapagos rift, mPacific Ocean. [Fluidnye vkljucheniya v mineralah “chernykh kurilshikov” Galapagosskogo rifta, Tohii okean]. Sbornik: metallogeniya

drevnih i sovremennyh okeanov – In: Metallogeny of ancient and recent oceans. Miass: Min. Inst. Ur. Br. Ac. Sci., 2009, pp. 64–66.

11. Skublov G.T., Marin Yu.B., Semikolennyh V.M. et al. Volkhovites – new type of tektite-like glasses. [Volhovity – noviy tip tektitopodobnyh stekol]. Zapiski rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva - Proceedings of the Russian mineralogical society, 2007, part CXXXVI, no. 1, pp. 50–68.

12. Tatarinov A.V., Yalovik L.I. Composition and genesis of natural micro slag in the FeO-MnO-TiO₂ system. [Sostav i genesis prirodnyh mikro shlakov sistemy FeO-MnO-TiO₂. Materialy mezhdunar. Petrograph. Konf. – Proc. Intern. Petrogr. Conf., Apatity: RAS, 2005, V. 2, pp. 251–253.

13. Khrustalev V.K., Zhatnuev N.S., Razvozzhaeva E.A., Kanakin S.V. Gold ore carbonaceous tectonites in granitoids of the Morskoy Range. [Zolotorudnye carbonaceous tektopnity v granitoidah Morskogo Hrebta]. Izvestia SO Secii nauk o zemle RAEN - Proceedings SB Section Earth Sci. RANS. Geology, prospecting and exploration of ore deposits. Irkutsk: ISTU, 2012, no. 1(40), pp. 5–17.

14. Yatsenko I.G., Bekesha S.N., Varichev A.S. Micro spherules, slag-like particles, native metals in explosive structures and volcanogenic-sedimentary formations of the Ukraine. [Mikrosferuly, shlakopodobnye chastici, samorodnye metally v eksplozivnyh strukturah i volkanogennyh-osadochnykh formaciakh Ukrainy]. Trudy mezhd. Konf. – Proc. Intern. Conf., Ljvov: Ukraine Ac. Sci., 2011, pp. 193–195.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Иркутского государственного технического университета С.В. Ефремов

УДК 553.434(571.55)

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИИИ МЕДНЫХ РУД УЧАСТКА «ЗАПАДНЫЙ» УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВО ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ

© С.Е. Мезенцев¹, М.В. Яхно²

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Проанализировано распределение минеральных ассоциаций во вмещающих породах и рудных жилах на Западном участке Удоканского месторождения. Показано, что сульфидные руды представлены пирит-халькопиритовыми и борнит-халькопирит-халькозиновыми минеральными ассоциациями. Они образуют маломощные согласные и секущие обособления, выступают в роли цемента в межзерновом пространстве во вмещающих породах и образуют секущие жилы и прожилки кварц-сульфидного, сульфидного составов и кварц-эпидотовые с сульфидами.

Библиогр. 3 назв. Ил. 3. Табл. 1.

Ключевые слова: халькопирит; борнит; халькозин; гидротермальный процесс.

MINERAL ASSOCIATIONS OF COPPER ORE IN «ZAPADNY» SITE OF THE UDOKAN FIELD, PATTERN OF THEIR DISTRIBUTION IN HOST ROCKS

S.E. Mezentsev, M.V. Yakhno

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The distribution of mineral associations was analyzed for host rocks and ore veins of «Zapadny» site occurring in the Udokan field. It is found that sulphide ores involve pyrite-chalcopyrite and bornite-chalcopyrite-chalcocine mineral associations. They produce thin concordant or intersecting nodules in host rocks, act as cement in the within-grain space of host rocks and form cutting veins and veinlets of quartz-sulphide and sulphide composition, as well as quartz-epidote bearing sulphides.

3 references. 3 figures. 1 table.

Keywords: chalcopyrite; bornite; chalcocine; hydrothermal process.

Руды Удоканского месторождения по минеральным ассоциациям традиционно [3] разделяются на три типа: пирит-халькопиритовые, борнит-халькозиновые и окисленные, представленные в основном сульфатами и в меньшей степени карбонатами меди. Однако в настоящее время в процессе полевых работ получены новые данные о структурных и морфологических особенностях этих руд, отражающих закономерности распределения рудных минералов и их ассоциаций в осадочных породах, а следовательно, и генетические особенности месторождения.

Детальное изучение распределения рудных минералов сульфидных руд в шлифах и в штучках 80 образцов, отобранных в ходе полевых работ из керна скважин, из стенок штолен и с поверхности на участке «Западный» Удоканского месторождения, позволило выделить четыре обстановки распределения концентраций рудных минералов, которые условно могут быть названы *текстурными типами*.

Первый тип представлен массивными рудами с борнит-халькопирит-халькозиновой минеральной ассоциацией, которая выступает в роли наложенного цемента (псевдоцемента)

¹Мезенцев Сергей Евгеньевич, аспирант кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, тел.: 89246389344, e-mail: sergmezenc@mail.ru

Mezentsev Sergei, Postgraduate of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, tel.: 89246389344, e-mail: sergmezenc@mail.ru

²Яхно Марина Владиславовна, старший преподаватель кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, тел.: 8(3952) 405653, e-mail: ymar@istu.edu

Yakhno Marina, Senior Lecturer of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, tel.: 8(3952) 405653, e-mail: ymar@istu.edu

во вмещающих песчаниках (рис. 1).

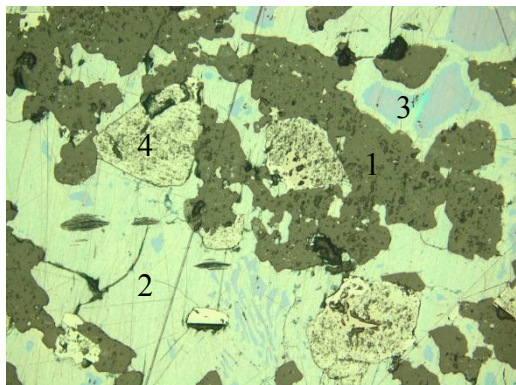


Рис. 1. Борнит-халькозиновая руда в виде «наложенного» цемента в песчанике:

1 – песчаник; 2 – халькозин; 3 – борнит; 4 – магнетит. Полированный шлиф. Ув. X 100

В этой ассоциации халькопирит пользуется незначительным распространением и наблюдается в виде пластинок, решеток и эмульсий в борните с образованием структур распада твердых растворов.

Халькозин представлен двумя генерациями: халькозин-1 образует мirmekитовые сростания с борнитом, а халькозин-2 как вторичный минерал связан с замещением борнита по трещинам и по краям зерен. Халькозин и борнит в свою очередь замещаются ковеллином по трещинам.

Часто в виде отдельных аллотриоморфных зерен различных размеров присутствует магнетит первой генерации, который замещается гематитом.

Сульфиды этой формы нахождения заполняют пустоты межзернового пространства в песчанике, как бы цементируя зерна вмещающих пород, но являются поздними по отношению к самой породе. Этот вид мог образоваться в результате потока рудоносных флюидов по проницаемой зоне, образованной, например, за счет выщелачивания карбоната из песчаника. Такие формы выделений четко видны на стенках штолен юго-восточнее участка «Западный». На самом участке такие руды установлены в керне, но имеют здесь меньшую мощность.

Второй тип представлен пирит-халькопиритовой и борнит-халькопирит-халькозиновой минеральными ассоциациями (рис 2). Для пирит-халькопиритовых руд важным структурно-литологическим элементом являются тонкие экранирующие алевролитовые прослойки в песчанике, на контакте с которыми сконцентрированы аллотриоморфные зерна халькопирита в сростании с идиоморфными зернами пирита. В самих песчаниках встречаются аллотриоморфные зерна магнетита первой генерации. Прослойки представлены черными и серыми тонкозернистыми алевролитами, небольшими по мощности и по простиранию, иногда прерывистыми. Располагаются согласно слоистости и залегают горизонтально или субгоризонтально. Такие горизонтальные прослойки повторяются в разрезе с интервалом 5–10 см. Рудные минералы образуют также серию маломощных рудных просечек согласно слоистости.

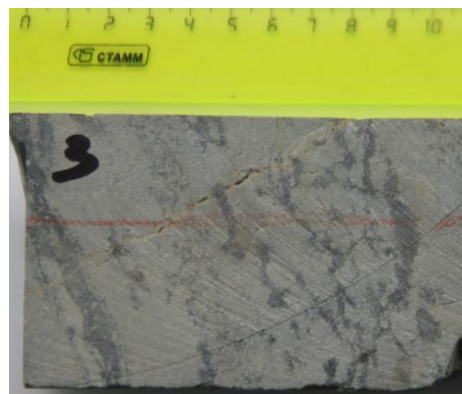


Рис. 2. Просечки борнит-халькозиновой руды. Штуфной образец

К этому же виду локализации относятся и концентрации борнит-халькозиновых руд с халькопиритом. Для этих руд структурные особенности немного отличаются. Это опять же тонкие сульфидные просечки, залегающие согласно слоистости пород, но уже не привязанные к контактам с алевролитами, а заполняющие пустоты в породе, которые, вероятно, также обусловлены наличием тонких про-

слоев с выщелоченным карбонатным веществом.

Основным рудным минералом в этой форме нахождения и в этом типе руд является борнит, который по трещинам замещается халькозином второй генерации, и далее этот халькозин замещается ковеллином. В песчанике присутствуют аллотриоморфные зерна магнетита, которые замещаются гематитом.

Третий тип представлен секущими прожилками. Но так как состав прожилков и, судя по всему, время их образования различаются, они были разделены на три подтипа по составу: кварц-сульфидные, собственно сульфидные и кварц-эпидотовые с сульфидами.

Наиболее распространенные из них кварц-сульфидные прожилки. Они представляют собой разрозненные секущие образования мощностью от первых мм до 100 мм. Рудные минералы в них представлены борнитом, халькозином обеих генераций, в меньшей степени халькопиритом, ковеллином, магнетитом двух генераций и гематитом.

Основные и самые ранние минералы остаются теми же, что и описанные в предыдущих структурных типах. Характерны структуры распада халькопирита в борните, который далее замещается ковеллином. Халькопирит также представлен в отдельных случаях самостоятельными, очень мелкими аллотриоморфными зернами в кварцевых жилах. Борнит также по трещинам замещается халькозином второй генерации, который далее замещается ковеллином. Присутствуют кварц-сульфидные прожилки кварц-магнетит-гематитового состава, без основных медных минералов. В этих прожилках магнетит отличается радикально-лучистой формой зерен и по этому признаку выделяется вторая генерация магнетита. Сама же жила сопровождается аллотриоморфными зернами магнетита первой генерации.

Магнетит обеих генераций замещается гематитом.

Собственно сульфидные прожилки характеризуются халькопиритом, борнитом, халькозином второй генерации, ковеллином, магнетитом первой генерации и гематитом.

К данному типу относятся также отдельные сульфидные гнезда, схожие по своему минеральному составу с прожилками.

В отдельных случаях собственно сульфидные прожилки цементируют остроугольные обломки вмещающих пород, а также обломки более ранних кварцевых жил, образуя тем самым рудные брекчии (рис.3). Это указывает на возобновление тектонических процессов и образование новых рудопроводящих каналов. Главными и ранее образованными минералами здесь являются борнит и халькопирит. По трещинам борнит замещается халькозином второй генерации и ковеллином. В сростании с халькопиритом в отдельных случаях наблюдается магнетит, который также замещается гематитом. Мощности таких прожилков варьируют от первых мм до первых см.

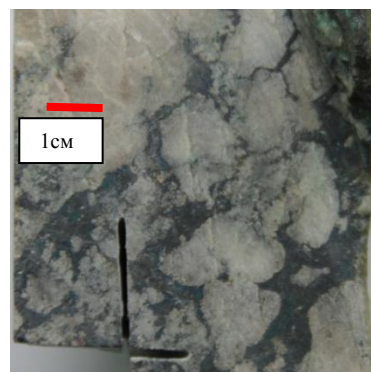


Рис. 3. Борнит-халькозиновые прожилки (темное), цементирующие обломки кварца (светлое). Штуфной образец

На месторождении и за его пределами широко развиты кварц-эпидотовые прожилки, зачастую не несущие рудной минерализации, но в отдельных случаях с ними связаны борнитовые гнезда, которые по трещинам замещаются халькозином и ко-

веллином. Судя по всему, это самые молодые жильные образования, пересекающие все остальные жилы и прожилки, распространяющиеся и за пределами Удоканского месторождения. Мощности таких прожилков варьируют от первых мм до первых см.

Все вышеперечисленные прожилки широко распространены на месторождении и несут богатую медную минерализацию. Простираются они ориентировано в крест слоистости, падение субвертикальное. Также отличаются между собой и по времени образования, что отчетливо видно в образцах, где одни рудные прожилки пересекают другие.

Четвертый тип установлен в дайке габбро-диабазов, которая схожа по составу с известной Удоканской дайкой. В составе этой дайки также наблюдаются вкрапленные структуры основных рудных медных минералов. Халькопирит образует характерную структуру распада в борните, по трещинам образуется халькозин второй генерации.

Итак, на основе изучения образцов руд и полированных шлифов было выделено девять основных рудных минералов и четыре «текстурных» типа (таблица).

Структурные типы различаются между собой по возрасту образования,

но, при анализе каждого из этих типов видно, что минеральный состав не изменяется. Исключением является наличие пирита, вкрапленного во вмещающую породу и образовавшегося вместе с халькопиритом тонкие просечки согласно слоистости. Вторым исключением служит халькозин первой генерации, который встречается вместе с халькопиритом и борнитом в виде цемента в песчанике и в сростаниях с борнитом в кварц-сульфидных жилах. Третья особенность – это наличие лишь в кварц-сульфидных жилах магнетита второй генерации. В остальной картине не меняется; во всех видах нахождения ранними и главными минералами являются борнит и халькопирит, которые замещаются халькозином второй генерации, следующие этапы замещения берет на себя ковеллин. Также во всех случаях имеет место магнетит первой генерации, который замещается гематитом.

Макротекстуры всех описанных выше руд массивные, прожилковые, прожилково-вкрапленные, гнездовые. Характерны микроструктуры распада твердых растворов, замещения и мirmekитовые. Такие структурно-текстурные особенности указывают на генетическую связь рудных минералов с гидротермальной деятельностью.

Распределение минералов по условиям их нахождения

Минералы	В межзерновом пространстве в породе	Согласно слоистости в породе	В секущих прожилках			В дайке габбро-диабазы
			кварц-сульфидных	сульфидных	кварц-эпидот-сульфидных	
Халькопирит			+	+		+
Пирит		+				
Борнит	+	+	+	+	+	+
Халькозин-1	+		+			
Магнетит-1	+	+	+	+		
Магнетит-2			+			
Халькозин-2	+	+	+	+	+	+
Гематит	+	+	+	+		
Ковеллин	+	+	+	+	+	

Выводы. Распределение минеральных ассоциаций медных руд и структурные типы указывают на неоднократное возобновление тектонической активности, которая сопровождалась последующим рудоотложением. Сейчас уже можно выделить три основных этапа тектоногенеза и рудогенеза.

Первый этап выражен, конечно, образованием общей структуры месторождения и благоприятной проницаемой среды во вмещающих песчаниках и далее – отложением медных руд.

Вторым этапом было образование серии секущих крутопадающих разрывных нарушений, которые в дальнейшем были залечены жилами и прожилками, несущими рудную минерализацию.

На третьем этапе часть трещин обновлялась, а новые трещины пересекали ранее залеченные. И вновь этап завершился отложением из богатых растворов рудных минералов в полостях новообразованных трещин.

Сходство минерального состава на всех этапах рудоотложения может указывать на длительное существование источника рудного вещества. Не исключено, что имела место регенерация рудного вещества и его переотложение от этапа к этапу.

Библиографический список

1. Гонгальский Б.И., Протерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района (Северное Забайкалье): автореф. ... докт. геол.-минералог. наук. М., 2012. 58 с.
2. Кренделев Ф.П. Окисленные руды Удокана. М.: Наука, 1987. 99 с.
3. Наркелюн Л.Ф. и др. Удоканское медное и Катугинское редкометалльное месторождения Читинской области. Чита: Изд-во ЗабНИИ, 2004. 515 с.

References

1. Gongalskiy B.I. Proterozoic metallogeny of the Udokan-Chiney ore district (Northern Baikal region). [Proterozoiskaja metallogenia Udokan-Chineiskogo rudnogo raiona (Severnoe Zabaikalje)]. Avtoreferat dokt. Dissert. – Abstract of doctor's thesis. Moscow, 2012, 58 p.
2. Krendelev F.P., Oxidized ores of Udokan. [Okislennye rudy Udokana]. Moscow: Nauka, 1987, 99 p.
3. Narkeljun L.F. et al. Udokan copper and Katuginsky rare-metal deposits of Chita Region. [Udokanskoe mednoe i Katuginskoe redkometaljnoe mestorozhdenia Chitinskoj Oblasti]. Chita: ZabNII, 2004, 515 p.

Рецензент доктор геолого-минералогических наук,
профессор Иркутского государственного технического университета Ж.В. Семинский

УДК 556.1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ «ВОДА-ПОРОДА» В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

© С.Х. Павлов¹, К.В. Чудненко²

¹Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

²Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А.

Приведены результаты исследования физико-химических взаимодействий воды с породой, позволившие раскрыть процессы формирования состава азотных термальных вод и установить возможность их происхождения в рамках системы «вода–порода» без привлечения вещества из других «внешних» источников. Подтверждена невозможность формирования гидротермальных месторождений флюорита с участием азотных терм.

Библиогр. 25 назв. Ил. 4. Табл. 3.

Ключевые слова: гидрогеохимия; физико-химические процессы; моделирование; процессы формирования состава подземных вод.

PHYSICO-CHEMICAL “WATER-ROCK” INTERACTION IN FORMATION OF NITRIC THERMAL WATERS

S.Kh. Pavlov, K.V. Chudnenko

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

A.P. Vinogradov Institute of geochemistry SB RAS, 1A Favorskii St., Irkutsk, 664033, Russia.

The research of physico-chemical water-rock interaction revealed the processes of formation of nitric thermal water composition and their possible origination resources within “water-rock” system without the substance supplied from any other “external” sources. The formation of fluorite hydrothermal deposits with the participation of nitric thermal waters was proved to be impossible.

25 references. 4 figures. 3 tables.

Key words: hydrogeochemistry; physico-chemical processes; modeling; processes of underground waters formation.

Состояние вопроса. Из всех типов природных термальных вод азотные термы считаются наиболее простыми, что нашло выражение даже в их названии – акратотермы. Однако острая дискуссия по вопросам, касающимся как источников вещества, формирующего химический состав азотных терм, так и возможного их участия в образовании гидротермальных месторождений полезных ископаемых, свидетельствует о кажущейся простоте этой проблемы. С азотными термальными водами, обогащенными фтором, вольфрамом и дру-

гими элементами, связывается образование флюоритовых и некоторых других месторождений Забайкалья [15]. Флюидопотоками Земли обосновываются процессы геотектоники, формирования рудообразующих систем, нефти и газообразования и т.д. Однако даже среди сторонников восходящих флюидопотоков существуют противоречивые взгляды на масштабность этого явления [21]. Связь повышенной металлоносности гидротерм с деятельностью ювенильной составляющей специалистами в области формирования рудного ве-

¹Павлов Сергей Харитонович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел.: 8(3952) 422777.

Pavlov Sergei, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher, tel.: 8(3952) 422777, e-mail: spavlov@crust.irk.ru

²Чудненко Константин Вадимович, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, тел.: 8(3952) 427079.

Chudnenko Konstantin, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Laboratory, tel.: 8(3952) 427079, e-mail: chud@igc.irk.ru

щества относится к сомнительной из-за маловероятной возможности непосредственного проникновения мантийных флюидов в верхние горизонты земной коры [2].

Результаты изучения изотопов кислорода и водорода термальных вод [25] показали инфильтрационное происхождение гидротерм и свидетельствуют о том, что в геотермальных областях различных районов мира они сформированы преимущественно метеорными, а также поверхностными (моря, озера, реки) и подземными водами осадочных образований [7, 22].

Различные подходы к проблеме существуют и среди сторонников инфильтрационной гипотезы формирования азотных терм. Одни считают важным процесс концентрирования атмосферных осадков в результате взаимодействия воды с породой [24], другие – видят проблему в количестве кислорода, необходимого для окисления сульфидов [12]. Продолжают обсуждаться источники вещественного состава азотных термальных вод [13]. С противоположных позиций рассматривается вопрос о содержании малых элементов в породах относительно кларковых величин, необходимых для накопления их в количестве, встречающемся в азотных термах [11, 18].

Моделирование физико-химических процессов взаимодействия воды с гранитом, содержащим кларковые концентрации летучих [20], показало, что в результате формируются гидросиликатные натриевые воды, состав которых сходен с азотными термальными водами, развитыми в природных гидрогеохимических системах [17]. Количество гидрокарбонатных, сульфатных и хлоридных ионов в модельных растворах, минерализация которых отвечает широко распространенным значениям минерализации природных терм, на один-два порядка ниже их содержания в азотных термах. Содержание фтора изменяется в широких пределах, и в достаточно большом интервале

взаимодействий «вода-гранит» формируются высоко фтористые воды. Таким образом, взаимодействие воды с гранитом, содержащим кларковые концентрации аниогенных летучих, не обеспечивает получения растворов, состав которых соответствовал бы составу широко распространенных типов азотных термальных вод. Задачей данного исследования являлось выявление возможности формирования состава азотных термальных вод в рамках системы «вода–порода» без привлечения внешних источников.

Моделирование взаимодействия в системе вода–реальная порода. Выше было отмечено, что широко распространенный прием изучения физико-химических процессов в системе «вода–порода» с использованием кларковых концентраций аниогенных летучих не позволяет получить растворы, состав которых отвечал бы составу реальных азотных терм. Чтобы проследить формирование состава растворов в приближенных к реальным условиям распространения гидротерм, был проанализирован химический состав пород крупнейшей Забайкальской провинции азотных терм. Оказалось, что из летучих компонентов наиболее изучен фтор. Очень слабо охарактеризованы углерод и сера, имеются лишь единичные определения хлора.

Содержание фтора в гранитах баргузинского и витимканского комплексов и в других породах, слагающих Ангаро-Витимский батолит и прилегающие структуры, в основном не превышает 0.08 % – величины, равной кларку. Содержание серы, по материалам средне-масштабного геологического картирования, изменяется от нулевых значений до величин, близких к кларку (0.04 %), и в среднем не превышает половины этого значения. Концентрация углерода изменяется в широких пределах и достигает значений, более чем на порядок превышающих кларковую величину (0.03 %) [1]. Единичные определения хлора свидетельствуют о его присут-

ствии в гранитоидах Западного Забайкалья [1] на уровне, меньшем величины кларка (0.024 %). Таким образом, содержание в породах анионогенных летучих в целом по Ангаро-Витимскому батолиту – структуре, в которой развита крупнейшая провинция азотных термальных вод, объективно не обеспечивает формирования состава распространенных здесь типов гидротерм.

Однако содержания химических элементов в основных геологических комплексах резко отличаются в меньшую сторону от содержаний химических элементов на площадях проявления наложенных геохимических провинций в этих комплексах. Такие провинции возникают в зонах или системах зон крупных разломов, в которых в периоды активизации тектономагматической деятельности формируются зоны околоразломного метаморфизма, цепочки интрузий, дайки, метасоматиты, поля гидротермальных жил, приводящие к повышению содержаний различных элементов. Подробное описание наложенных геохимических провинций рассматриваемой территории приведено в работе В.А. Дворкина-Самарского и др. [9]. В этих условиях отмечаются повышенные концентрации не только редких металлов и фтора, но и других летучих. На сопредельной территории в породах, претерпевших гранитизацию, установлено содержание хлора, на порядок превышающее его кларковую величину [6].

Формирование гидротерм Байкальской рифтовой зоны связано с зонами и пересечениями зон разломов, поэтому здесь также проявлены различные наложенные геохимические ореолы. Это особенно ярко проявилось в составе водовмещающих пород Енгорбойского источника азотных терм. Образец гранита, определенный как водовмещающий азотные термы Енгорбойского источника [19], отличается высоким, более чем на порядок по сравнению с кларковым, содержанием серы. Остальные летучие (С, Cl, F) не определялись,

поэтому для проведения расчетов физико-химических взаимодействий в системе «вода–гранит» их концентрации приняты на уровне кларковых [5]. Расчеты проведены методом минимизации термодинамических потенциалов с помощью программного комплекса «Селектор» [14] в его последней модификации [23] в рамках системы Al–Ar–C–Ca–Cl–Mn–F–Fe–He–K–Mg–N–Na–P–S–Si–Ti–H–O. В модели представлены все возможные в реальных условиях компоненты водного раствора, газы и твердые фазы, обеспеченные достаточно надежными термодинамическими данными, появление которых можно ожидать в процессе взаимодействия воды с гранитом при умеренно высоких температурах. Моделирование физико-химических процессов взаимодействия в системе «вода – гранит» выполнено в закрытой к атмосфере системе в условиях, близких к формированию азотных терм при температуре 100°C и давлении 250 бар.

В табл. 1 приведены результаты определения химического состава воды Енгорбойского термального источника разными исследователями в различное время и один из вариантов расчета физико-химических взаимодействий воды с водовмещающим гранитом, минерализация раствора которого сопоставима с минерализацией воды термального источника. Енгорбойский очаг разгрузки азотных терм представлен 15 выходами, температура в которых изменяется от 10 до 40°C, а минерализация от 0.6 до 1.3 г/л. Важным моментом является то, что изменения температуры, минерализации и состава воды происходят не только в дериватах. Как видно из табл. 1, и в основном выходе при близком и достаточно устойчивом значении одних характеристик имеются значимые отличия других. Такие колебания содержаний происходят у Na^+ , хлоридного и гидросульфидного ионов.

Сопоставление результатов расчета физико-химических взаимодействий воды с гранитом, в котором минерали-

зация модельного раствора соответствует минерализации воды Енгорбойского источника, показывает, что концентрации сульфатов и натрия, являющихся основными компонентами термального источника, соответствуют их фактическим определениям. Содержание хлора в модельном растворе равно наименьшему значению из фактических определений. В модельном растворе в меньшей концентрации присутствует гидросульфидный ион. Суммарное содержание карбонатов модельного раствора близко к результатам химического анализа. Наличие различных карбонатных форм в модельном растворе связано с его высокими щелочными свойствами, а присутствие только гидрокарбонатов в реальных определениях – с низким значением pH термальных вод. В растворах

Таблица 1
Физико-химические характеристики
термальных вод Енгорбойского
источника и модельного раствора
(мг/кг H₂O)

Характеристика	И.С. Ломоносов [19]	И.М. Борисенко, Л.В. Замана [3]	ИЗК СО РАН, 2002	Модельный раствор
t °C	37	40	39.5	100
pH	7.5	7.4	7.5	8.99
K ⁺	11.75	12	12.8	7.6
Na ⁺	259.7	355	296.0	387.1
Ca ²⁺	31	28	30.0	2x10 ⁻⁴
Mg ²⁺	1.18	1.2	1.2	5x10 ⁻⁵
F ⁻	12.5	12.5	10.0	49.6
Cl ⁻	14.9	98	61.0	15.4
HS ⁻	16.3	0	0	2.2
HCO ₃ ⁻	97.6	97.6	122.0	75.5
CO ₃ ⁻	0	0	0	10.9
SO ₄ ²⁻	538	614	491.0	457.4
HSiO ₃ ⁻	0	0	0	110
OH ⁻	–	–	–	13
SiO ₂ ⁰	55	70	53	54
Минер.	1036.9	1289.3	1077	1169.8

содержится близкое количество кремнекислоты, но в модельном растворе много кремния находится еще и в форме гидросиликатного иона. Этот раствор отличается также высоким содержанием фтора, многократно превышающим его значение в реальных термах. Содержание щелочноземельных металлов в модельном растворе резко отличается от реальных определений и соответствует их количеству в рассмотренных ранее растворах гранита среднего состава [20].

Сопоставление модельного расчета с реальным составом термальных вод показывает, что при взаимодействии воды с породой, состав которой в определенной степени приближен к реальному, формируются растворы, приближающиеся по составу к реальным термам, распространенным в этих породах. Высокое содержание фтора и некоторое несоответствие других компонентов устраняется путем уточнения состава исходной породы, который все еще не соответствует составу реальных водовмещающих пород.

Процедура такого корректирования состава вводимой в модель породы не формализована и поэтому имеет в определенной степени произвольный характер. Нами была поставлена задача выполнить исследование физико-химических взаимодействий воды с реальной породой, в составе которой определены все аниогенные летучие – углерод, сера, фтор и хлор. К числу таких редких определений относится химический анализ альбитизированного плагиоклазового порфирита [16]. Данный образец отличается высоким содержанием углерода, серы и фтора и пониженной относительно кларка концентрацией хлора. Исследование физико-химического взаимодействия воды с этим образцом было проведено в условиях, рассмотренных выше для гранита, водовмещающего азотные термы Енгорбойского источника. Сопоставление результатов расчетов физико-химических взаимодействий воды с

порфиритом проведено с гидрокарбонатными натриевыми высокофтористыми азотными термальными водами с невысокой минерализацией Былыринского и Кульдурского типов (табл. 2).

Таблица 2
Физико-химические характеристики термальных вод Былыринского и Кульдурского типов и модельного раствора в альбитизированном плагиоклазовом порфирите (мг/кг H₂O)

Характеристика	Былыринский источник [13]	Улуйский источник [13]	Котельниковская скважина	Модельный раствор
t °С	44.3	28.2	81	100
pH	9.1	9.8	8.95	8.7
K ⁺	1.4	1.7	3.03	10.2
Na ⁺	69.8	77.9	82.86	84.8
Ca ²⁺	0.7	0.6	1.8	0.4
Mg ²⁺	0.0	0.0	0.2	0.0001
F ⁻	10.4	13.8	19.5	12.6
Cl ⁻	10.4	13.6	1.1	0.5
HS ⁻	-	-	17.5	0.05
HCO ₃ ⁻	91.5	64.1	6.1	101.7
CO ₃ ⁻	12.0	22.5	51.6	7.2
SO ₄ ²⁻	16.7	23,2	24.7	12.4
HSiO ₃ ⁻	-	-	-	54.1
OH ⁻	-	-	-	6.4
SiO ₂ ⁰	80.4	102	108	54.1
Минер.	293	320	299.2	341.5

Рассматриваемые примеры терм Былыринского типа распространены в пределах Даурского поднятия, а Котельниковские термальные воды – в центральной части Байкальской рифтовой зоны. Все природные аналоги имеют достаточно близкие значения величины минерализации и большинства основных гидрохимических характеристик. В Котельниковских термах повышено содержание фтора и гидросульфидных ионов, а также в незначительном количестве присутствуют гидрокарбонатные ионы и хлор.

В модельном растворе содержание калия значительно выше его значений в природных аналогах. Далеким от реальных значений, как и в растворах гранита среднего состава и Енгорбойского термального источника, осталось содержание магния, зато концентрация кальция поднялась до уровня, сопоставимого с природными аналогами.

В модельном растворе в заметном количестве присутствует гидроксид ион, а кремний распределен между кремнекислотой и гидросиликатным ионом. Значения величин большинства компонентов модельного раствора или приближаются к их значениям в каком-либо типе терм, или занимают промежуточное положение. Таким образом, взаимодействие воды с породой, в составе которой определено большее по сравнению с обычными петрохимическими анализами число компонентов, участвующих в формировании анионов, приводит к формированию растворов, состав которых в основном соответствует составу реальных термальных вод.

Результаты взаимодействия воды с порфиритом особенно показательны, поскольку образец взят из жильного образования безотносительно какой-либо современной гидротермальной системы. Из изложенного выше, касающегося как результатов настоящего исследования, так и данных ранее проведенного моделирования [4], выясняется важность состава исходной породы для получения состава растворов, соответствующих составу распространенных в них термальных вод. Поэтому, нами был проведен сбор не только гидрогеохимических, но и геохимических данных на 12 проявлениях минеральных вод Байкальской рифтовой зоны и Забайкалья.

Из числа летучих в исследованных породах как Забайкалья, так и Байкальской рифтовой зоны наиболее распространен фтор. Он присутствует на всех объектах и во всех отобранных образцах пород. Содержание его изменяется от величины, в несколько раз меньшей

кларка, до значений, превышающих кларк. Вторыми по распространенности являются хлор и сера, содержания которых изменяются от нулевых значений до величин, достигающих кларковых у хлора и в несколько раз превышающих их у серы. Углерод не обнаружен в гранитоидах в очагах разгрузки минеральных вод Забайкалья, а в породах Байкальской рифтовой зоны его содержание изменяется от нулевых значений до величин, в несколько раз превышающих кларковую.

Даже весьма ограниченные данные показывают значительные колебания содержаний летучих в породах в очагах разгрузки минеральных вод. Состав пород в очагах разгрузки минеральных вод в лучшем случае лишь в определенной степени отражает его в области их формирования. По мере движения воды состав породы изменяется в определенных, часто достаточно значимых пределах. Поэтому, принятый к моделированию химический состав породы на месторождении термальных вод Ниловой Пустыни представляет собой определенным образом реконструированный образец. Содержания петрогенных окислов и количество серы взяты из результатов определения образца с повышенным содержанием серы. Для фтора принято наименьшее его значение, а для углерода и хлора – величины, близкие к средним аналитическим определениям. Состав породы в целом хорошо сопоставим с определениями, выполненными ранее по разведочным скважинам на термальные воды [3]. И хотя количественно содержание серы и других летучих при проведении этих работ не определялось, визуально зафиксировано увеличение с глубиной встречаемости пирита и других сульфидных минералов.

Взаимодействие воды с гранитом в условиях динамичной модели. Приближение к реальным условиям физико-химических взаимодействий воды с породой осуществляется по нескольким направлениям. Выше на примере

Енгорбойского месторождения термальных вод был рассмотрен подход, позволяющий учитывать летучие, изначально отсутствующие в анализах вмещающих пород. Однако получение состава модельного раствора в результате физико-химических взаимодействий воды с породой в статичных термодинамических условиях, сопоставимого с составом реальных термальных вод, является лишь одним из первых этапов на пути познания процессов формирования гидротерм. Состав реальных терм является не только итогом взаимодействий воды с породой определенного состава. Эволюционное развитие этой системы заключается также в изменении степени взаимодействия воды с породой и в существенном преобразовании термодинамических условий при движении растворов от области питания до области разгрузки термальных вод. Чтобы проследить влияние на состав формирующихся растворов не только степени взаимодействия воды с породой, но и таких важных управляющих параметров, как температура и давление, была сформирована модель из 19 резервуаров.

В процессе моделирования происходит перемещение порции водного раствора, которая с 1 по 10 резервуар погружается на глубину 4.5 км и нагревается до 100 °С, а с 10 по 19 резервуар поднимается к поверхности и охлаждается до 40 °С. В каждый последующий резервуар переходит состав водного раствора, сформированный в предыдущем резервуаре. Система вода–гранит закрыта к атмосфере, за исключением первого и последнего резервуаров, имитирующих инфильтрацию атмосферных осадков и выход глубинных вод на поверхность. Для этой модели было проведено большое количество вычислительных экспериментов по различным сценариям погружения и подъема водных растворов, формирующихся в результате взаимодействия породы с чистой водой, атмосферными осадками и родниковыми водами высокогорий.

В настоящее время среди исследователей геотермического направления Байкальской рифтовой зоны принята модель формирования гидротерм не под воздействием локальных источников тепла, а в результате влияния регионального теплового поля [8]. С целью получения конкретных термодинамических данных для решения поставленной задачи температура для нисходящей ветви погружения холодных вод на глубину рассчитана по фактическим данным скважины Л-2, пробуренной в п. Лиственничное на Байкале. Глубже отметки забоя скважины (1126 м) значения температуры получены экстраполяцией. Давление принято гидростатическим. Для верхней части восходящей ветви нагретых вод (резервуары 17–19) приняты параметры, полученные при разведке азотных термальных вод Ниловой пустыни [3] = [2]. Для нижней ее части (резервуары 11–16) параметры рассчитаны интерполяцией между величинами температуры на максимальной глубине (резервуар 10) и установленной в [3] = [2] на глубинах до 300 метров (резервуар 17). В результате многочисленных вычислительных экспериментов, с учетом данных моделирования взаимодействий в системе вода–гранит по степени протекания гидрогеохимического процесса и результатов исследования гидрогеохимических разрезов кристаллических пород горноскладчатых сооружений были определены величины отношения поро-да/вода для различных резервуаров.

С учетом всего вышесказанного было проведено исследование физико-химических взаимодействий системы вода–гранит Ниловой Пустыни в многорезервуарной модели. Твердая фаза, формирующаяся при взаимодействии воды (в том числе дождевой и родниковой) с гранитом в резервуарной модели (рис. 1), в целом сохраняет сходство с минеральными образованиями, получающимися в модели по степени протекания гидрогеохимического процесса. Отличие ее заключается в следующем. В

ней отсутствуют гиббсит, магнетит и каолинит. Это связано с тем, что взаимодействие воды с гранитом в первом резервуаре происходит с большим количеством породы, интегрирующим взаимодействие воды с рядом более мелких частей породы в модели по степени протекания гидрогеохимического процесса. Поэтому эти аутигенные фазы, формирующиеся при более низких степенях отношения поро-да/вода, в данном случае не проявлены.

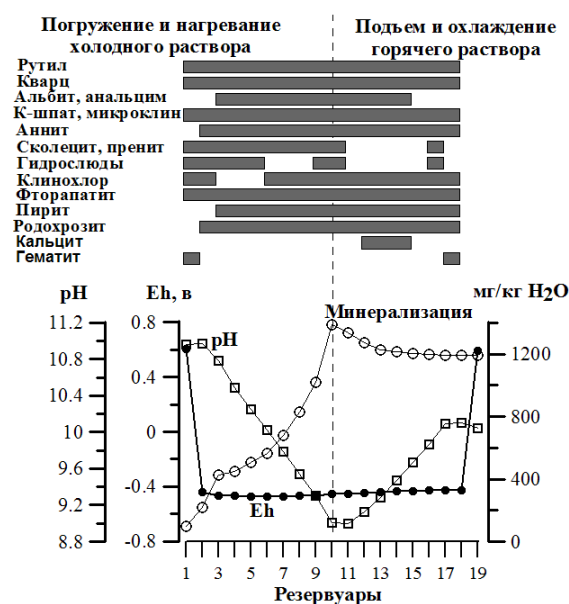


Рис. 1. pH, Eh, минерализация и вторичные минеральные образования в резервуарной модели взаимодействия вода–гранит Ниловой Пустыни

Более важным отличием является то, что в твердой фазе резервуарной модели происходит замещение одних цеолитных минералов другими – вместо ломонтита появляются сколецит и пренит. Это преобразование аутигенных фаз обусловлено особенностью многорезервуарной модели. В модели по степени протекания гидрогеохимического процесса, с каждым новым объемом породы взаимодействует исходный водный раствор. В резервуарной модели в каждом последующем резервуаре порода взаимодействует с раствором, обогащенным веществом в предыдущем резервуаре. Наличие дополнительного вещества в жидкой фазе, взаимодей-

ствующей с исходной породой, приводит к его перераспределению в твердой фазе иным образом, чем в случае взаимодействия этой породы с неизменным водным раствором.

Перераспределение кальция в твердой фазе резервуарной модели в пользу цеолитов уменьшает в ней количество других кальцийсодержащих минералов. В ней исчезли сфен и гидроксилapatит. Фосфор, входящий в гидроксилapatит, теперь представлен во фторапатите, а титан – только в рутиле. В этих условиях клинохлор не является единственным минералом, концентрирующим магний. На определенных этапах физико-химических взаимодействий магний концентрируется также во флогопите. Процесс взаимодействия воды с породой в данной модели не достигает степени, при которой происходит формирование флюорита.

Кислотно-щелочные условия и окислительно-восстановительное состояние растворов резервуарной модели имеют определенно выраженные закономерности (см. рис. 1). Кислород, содержащийся в дождевой воде и придающий ей высокие окислительные свойства, уменьшается до единичного значения в первом резервуаре, но все еще сохраняет резко окислительную обстановку среды. Во втором резервуаре кислород исчезает полностью, и в резервуарах со 2 по 18 растворы имеют резко восстановительные свойства при достаточно близком значении величины E_h . Только вступая в контакт с атмосферой при выходе на поверхность, растворы вновь приобретают резко окислительные свойства.

В резервуарной модели рН не является зеркальным отображением E_h , как в модели по степени протекания гидрогеохимического процесса. Гидролитическое взаимодействие воды с гранитом приводит к формированию высокощелочных растворов уже в первом резервуаре. Во втором резервуаре щелочность их увеличивается, но дальнейшее взаимодействие при увеличи-

вающейся температуре сопровождается устойчивым уменьшением величины рН. Происходит это, как будет показано ниже, несмотря на увеличение содержания в растворе гидроксид иона. Совокупное взаимодействие всех продуктов гидролиза в растворе, находящемся в равновесии с исходной и вторичной твердыми фазами, приводит к понижению кислотно-щелочного равновесия раствора. И только охлаждение раствора при его подъеме сопровождается увеличением его щелочных свойств. Минерализация растворов повышается на нисходящей ветви при погружении их на глубину, повышении температуры и увеличении степени взаимодействия с породой и уменьшается на восходящей ветви поднимающихся к поверхности охлаждающихся горячих вод, взаимодействующих с уменьшающимся количеством породы.

Поведение катионов в резервуарной модели (рис. 2) в целом отражает их изменение в зависимости от минерализации раствора в модели по степени протекания гидрогеохимического процесса [20]. Но содержание их в растворе, наряду с аутигенными фазами, существующими в модели по степени протекания, контролируется дополнительно другими вторичными минеральными образованиями, появившимися в резервуарной модели. Содержание главного катиона раствора натрия, определяющего его минерализацию (см. рис. 2), регулируется в основном альбитом. Альбит образуется только в более высокотемпературной зоне с 9 по 12 резервуар, что вполне согласуется с результатами моделирования по степени протекания процесса [20].

Содержание калия в растворе, наряду с аннитом, калиевым шпатом и мусковитом, регулируется микроклином и флогопитом. Содержание калия достигает максимальных значений в высокотемпературной зоне и уменьшается с охлаждением растворов до единичных значений. Содержание кальция в растворах резервуарной модели увеличива-

ется на порядок относительно его значений в растворах модели по степени протекания. Тем не менее, эти значения на порядок ниже его концентрации в реальных термальных водах. Барьером на пути его накопления в растворе являются фторапатит, сколецит и пренит. Фторапатит формируется на всем пути движения растворов, пренит доминирует на участке с повышенной температурой (8–11 резервуары) и сколецит преобладает в интервале пониженных температур. Содержание магния устойчиво остается на низком уровне, соответствующем его значениям в растворах модели по степени протекания. В растворах резервуарной модели его содержание контролируется не только клинохлором, но и флогопитом.

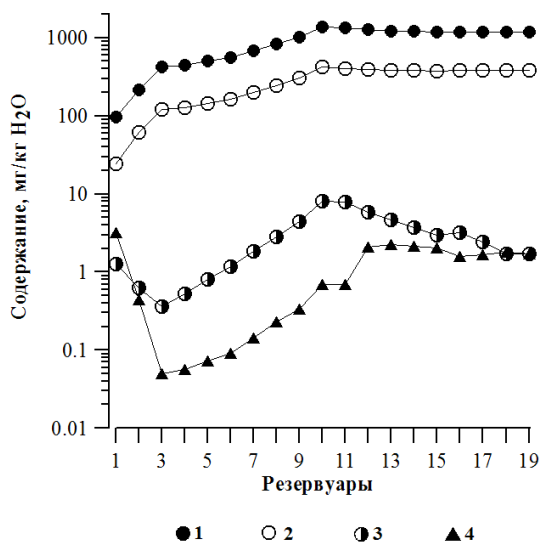


Рис. 2. Изменение минерализации и катионов в модельном растворе гранита Ниловой Пустыни (мг/кг H₂O):

1 – минерализация; 2-4 – ионы: 2 – натрий; 3 – калий; 4 – кальций

Анионная часть состава растворов представлена всеми компонентами, традиционно определяемыми различными аналитическими методами (рис. 3, 4).

При погружении растворов на глубину происходит увеличение содержаний всех компонентов. Сульфатный, гидрокарбонатный ионы и соединения кремния являются главными в растворе.

Сульфаты в данной системе, наряду с фтором и хлором, являются наиболее

устойчивыми компонентами. В отличие от окисленной формы серы (SO₄²⁻), содержание восстановленной (HS⁻) начинает существенно уменьшаться при охлаждении раствора (см. рис. 3).

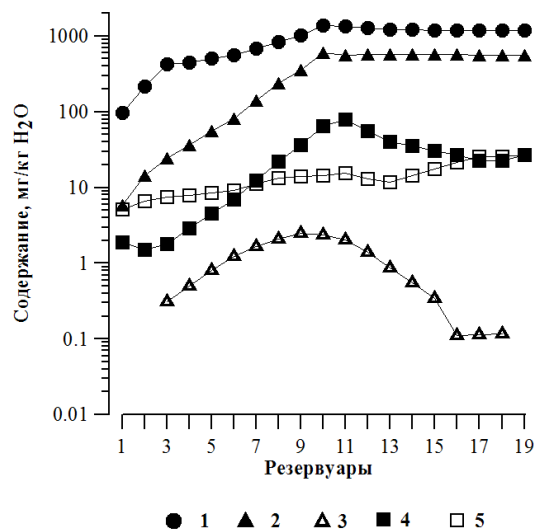


Рис. 3. Изменение минерализации и сульфатных и карбонатных ионов в модельном растворе гранита Ниловой Пустыни:

1 – минерализация; 2-5 – ионы: 2 – сульфатный, 3 – гидросульфидный, 4 – гидрокарбонатный, 5 – карбонатный

Несколько раньше начинает уменьшаться содержание гидроксид иона и происходит перелом в развитии изменения кислотно-щелочных свойств раствора (см. рис. 1–3). Подъем растворов к поверхности и их охлаждение сопровождаются уменьшением содержания кремнекислоты более чем в пять раз.

Концентрация таких анионов, как гидрокарбонатный, карбонатный, фтор и хлор, увеличивается по мере увеличения степени взаимодействия, до начала подъема раствора к поверхности (см. рис. 3, 4). Хлор как обычно, а фтор в условиях данной системы сохраняют высокую устойчивость в растворе. Концентрация гидрокарбонатных и карбонатных ионов, которая регулируется родохрозитом и кальцитом, с уменьшением степени взаимодействия и охлаждением раствора вначале несколько уменьшается. Затем общее содержание углерода остается на близком уровне,

но он активно перераспределяется между карбонатными и гидрокарбонатными ионами.

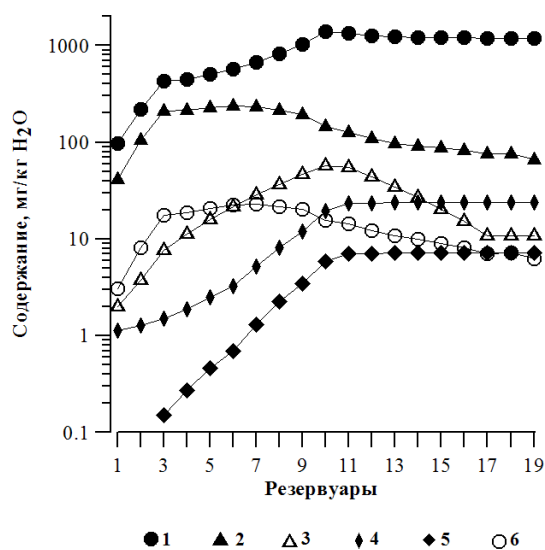


Рис. 4. Изменение минерализации, кремния, хлора, фтора и гидроксид иона в модельном растворе гранита Ниловой Пустыни:

1 – минерализация; 2-6 – ионы: 2 – HSiO_3^- , 3 – SiO_2^0 , 4 – Cl^- , 5 – F^- , 6 – OH^-

В данной системе хорошо выражены процессы комплексообразования как по количеству образуемых соединений (NaHSiO_3^- , NaSO_4^- , NaOH^0 , CaCO_3^0 , CaSO_4^0 , NaCl^0 и др.), так и по интервалу изменения их концентраций. Часть комплексных соединений ведет себя подобно анионам их образующим, поведение других определяется входящими в них катионами. Особенно показательно влияние анионов на поведение силиката, сульфата, гидроксида и хлорида натрия. Поведение карбонатных и сульфатных соединений кальция определяется поведением Ca^{2+} . Количество некоторых компонентов, входящих в состав комплексных соединений, занимает весомую долю от общего их содержания в растворе.

В табл. 3 приведены результаты расчетов физико-химических взаимодействий гранита Ниловой Пустыни с химически чистой водой в модели по степени протекания гидрогеохимического процесса и в резервуарной модели.

Таблица 3
Физико-химические характеристики модельных растворов гранита и термальных вод Ниловой Пустыни (мг/кг H_2O)

Характеристика	По степени протекания процесса H_2O	Резервуарная модель				Скважина 2
		H_2O	Дождь	Дождь частично открытый	Родник	
t °C	100	40	40	40	40	40
Eh, мв	-454	-427/+661	-425/+662	+590	-424/+660	-40
pH	9.04	10.1/8.9	10.1/8.9	10.04	10.1/8.9	8.2
K^+	6.7	1.7	1.7	1.72	1.8	8.3
Na^+	342	379	381	381	387	217
Ca^{2+}	0.15	1.6	1.8	1.7	1.56	56
Mg^{2+}	4×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	6×10^{-5}	3.2
F^-	4.7	7.1	7.1	7.1	7.1	6
Cl^-	15	22.7	23.7	23.7	24.4	23.5
HS^-	2.55	0.12/0	0.12/0	0	0.11/0	0.5
HCO_3^-	49.9	21/164	22.5/162	27.2	29.4/171	66.7
CO_3^-	9.48	26/12	25.8/11.6	27.2	31.7/12.9	0
SO_4^{2-}	484.3	561	566	567	568	601
HSiO_3^-	124.5	78.5/4.81	75.8/4.7	66	71.2/4.9	0
OH^-	14.8	7.4/0.5	7.1/0.4	6.25	6.7/0.5	0
SiO_2^0	53.7	10.8	10.8	10.8	10.8	46.2
O_2^0	0	6.89	6.89	6.85	6.89	0.47
Минерализация	1128	1043/1169	1123/1174	1190	1140/1019	1028

Для резервуарной модели включены также результаты взаимодействий гранита с дождевой и родниковой водой. Кроме того, в табл.3 представлены данные анализа азотных термальных вод Ниловой Пустыни. Компоненты состава растворов резервуарной модели приведены для последнего (19-го) резервуара и имеют два значения – в числителе для закрытой, в знаменателе для открытой к атмосфере системе. Компоненты растворов, содержание которых не изменяется при контакте с атмосферой, присутствуют в единственном числе. Для дождевой воды приведены также результаты расчетов, когда резервуар частично открыт к атмосфере (соотношение вода/атмосфера принято равным 100).

Сопоставление результатов взаимодействия гранита с химически чистой, дождевой и родниковой водой в резервуарной модели показывает не просто их хорошую сопоставимость, но свидетельствует фактически об их идентичности. Различие состава исходных растворов практически нивелировано в процессе их взаимодействия с породой. В сопоставлении этих данных с результатами моделирования по степени протекания гидрогеохимического процесса интересны следующие моменты. Несмотря на существенные различия температуры, геохимическая среда растворов является достаточно близкой. В растворах резервуарной модели кальция, фтор, хлор и сульфаты проявили различную степень накопления, а содержание калия уменьшилось в несколько раз. Содержание углерода в модельном растворе сопоставимо с его концентрацией в термальной воде.

В растворах резервуарной модели существенно уменьшилось содержание силикатного компонента, гидроксид ионов и кремнекислоты. Значительную трансформацию растворы приобретают при открытии их к атмосфере. При этом исчезает гидросульфидный ион, уменьшается содержание гидросиликатного и гидроксид ионов и резко увеличивается

концентрация гидрокарбонатного иона. В растворе появляется растворенный кислород и окислительно-восстановительная обстановка становится резко окислительной. Эти изменения существенно отдалают состав исследуемых растворов от реального. Положение улучшается, если последний резервуар частично открыт к атмосфере. Несмотря на то что насыщение раствора кислородом остается на прежнем уровне, содержание карбонатных ионов и кремния становится сопоставимым с реальным и этот модельный раствор по своим характеристикам наиболее приближается к термальным водам Ниловой Пустыни. Различие величины Eh в модельных растворах и реальных термах свидетельствует о влиянии на геохимическую среду инфильтрационных вод. Изучение изменения Eh по разрезу разведочных скважин выявило уменьшение его величины с глубиной до отрицательных значений [3]. Поэтому данные динамического моделирования в целом отражают ситуацию в области формирования термальных вод и их изменения при подъеме к поверхности.

Выводы. Проведенное исследование достаточно надежно и аргументированно подтверждает гипотезу формирования азотных терм в рамках системы вода–порода. Результаты моделирования по степени протекания гидрогеохимического процесса, в целом, достаточно хорошо сопоставимы с данными резервуарной модели. Резервуарная модель позволяет более полно учесть влияние изменения термодинамического режима на процесс формирования термальных вод. Хорошая сходимость составов моделируемых растворов и реальных термальных вод достигается обоснованным согласованием состава водовмещающих пород и учетом закономерностей изменения термодинамических параметров системы на пути движения растворов от области питания к области разгрузки. Кроме того, важным условием моделирования процесса формирования термальных вод является

выяснение возможных соотношений смешения термальных и холодных вод на основных и прилегающих к ним путях фильтрации. Существенным элементом дальнейшего развития исследования формирования состава термальных вод является определение условий метастабильности моделируемой системы, отвечающих уровню неравновесности природных термальных вод и влияния кинетических параметров на протекание гидрогеохимических процессов. Азотные термы, распространенные на территории Байкальской рифтовой зоны и Забайкалья, не могут формировать гидротермальные месторождения флюорита. Это свойство азотных термальных вод было исследовано Л.В. Заманой [10].

Библиографический список

1. Афанасьев Л.М., Браун К.Н. Эволюция мезозойского гранитоидного магматизма в Западном Забайкалье // Гранитоиды складчатых и активизированных областей и их рудоносность. М.: Наука, 1977. С. 124–171.
2. Барсуков В.Л., Рябчиков И. Д. Об источнике рудного вещества // Геохимия. 1980. № 10. С. 1439–1449.
3. Борисенко И.М., Замана Л.В. Минеральные воды Бурятской АССР. Улан-Удэ: Бурятс. Книж. изд-во, 1978. 162 с.
4. Борисов М.В., Рыженко Б.Н., Крайнов С.Р. Влияние кислотно-основных свойств горных пород на состав равновесного водного раствора // Геохимия. 1984. № 5. С. 705–713.
5. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
6. Гаврикова С.Н., Жариков В.А. Геохимические особенности гранитизации архейских гранулитовых пород в Восточном Забайкалье // Геохимия. 1984. № 1. С. 26–49.
7. Германов А.И., Маврицкий Б.Ф., Питьева К.Е. и др. Проблема глубинно-го происхождения термальных подземных вод в свете современной информации о верхней гидрогеосфере // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972. № 8. С. 113–123.
8. Голубев В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2007. 222 с.
9. Дворкин-Самарский В.А. и др. Типы редкометалльных геохимических провинций Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1978. 141 с.
10. Замана Л.В. О роли азотных терм в формировании гидротермальных месторождений Забайкалья // Геохимия горных пород и руд Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1980. С. 99–101.
11. Замана Л.В. Фтор в азотных термах Забайкалья // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 11. С. 1575–1581.
12. Замана Л. В. О происхождении сульфатного состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Докл. РАН. 2000. Т. 372, № 3. С. 361–363.
13. Замана Л.В. и др. Химический состав и соленость азотных терм Забайкалья // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. С. 108–119.
14. Карпов И. К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.
15. Климов Г.И. О возможных источниках фтора и кальция низкотемпературных проявлений флюорита // Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. Чита, 1968. С. 141–143.
16. Козлова П.С., Рыбалова Э.К. Геологическое положение и особенности петрографического и химического составов верхнепалеозойских интрузивных комплексов среднего течения р. Ангрэн (Средняя Азия) // Геология и геохимия гранитных пород. М.: Наука, 1965. С. 82–143.
17. Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швецов В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: ЦентрЛитНефтегаз, 2012. 672 с.

18. Крайнов С. Р., Швец В.М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1992. 463 с.

19. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1974. 166 с.

20. Павлов С.Х., Чудненко К.В. Физико-химические аспекты формирования азотных терм в системе «вода – гранит» // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2011. Т. 2, № 2. С. 172–189.

21. Рябчиков И.Д. Формы нахождения и глубина зарождения флюида в мантии // Флюидные потоки в земной коре и мантии. М., 2002. С. 185–190.

22. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009. 632 с.

23. Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2010. 287 с.

24. Шварцев С.Л. О некоторых вопросах эволюции объема и состава подземных инфильтрационных вод в алюмосиликатных породах // Геохимия. 1975. С. 905–917.

25. Craig H. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas // Nuclear geology on geothermal areas. – Spoleto. 1963. P. 17–53.

References

1. Afanasjev L.M., Brown K.N. Evolution of Mesozoic granitoid magmatism in Western Trans-Baikal. [Evolucija mezozoiskogo granitoidnogo magmatizma v Zapadnom Zabaikalje]. Sbornik: Granitoidy skladchatykh i aktivizirovannykh oblastei I ih rudonosnostj – Collected papers: Granitoids of folded and activated areas and their ore potential. Moscow: Nauka, 1977, pp. 124–171.

2. Barsukov V.L., Ryabchikov I. D. On ore substance source. [Ob istochnike rudnogo veschestva]. Zhurnal Geohimia – J. Geochemistry. 1980, no. 10, pp. 1439–1449.

3. Borisenko I.M., Zamana L.V. Mineral waters of Buryat Republic. [Mineralnyye vody Burjatskoy ASSR]. Ulan-Ude: Buryat Publ. H., 1978, 162 p.

4. Borisov M.V., Ryzhenko B.N., Krainov S.R. Effect of acid-base properties of rocks on the composition of equilibrated aqua solution. [Vlijanie kislotno-osnovnykh svoystv gornyh porod na sostav ravnovesnogo vodnogo rastvora]. Zhurnal Geohimia – J. Geochemistry. 1984, no. 5, pp. 705–713.

5. Vinogradov A.P. Mean contents of chemical elements in main types of igneous crustal rocks. [Srednie sodержania himicheskikh elementov v glavnykh tipah izverzhennykh porod zemnoi kory]. Zhurnal Geohimia – J. Geochemistry. – 1962, no. 7, pp. 555–571.

6. Gavrikova S.N., Zharikov V.A. Geochemical features of granitization of Archean granulite rocks in Eastern Trans-Baikal. [Geohimicheskie osobennosti granitizacii arheiskih granulitovykh porod v Vostochnom Zabaikalje]. Zhurnal Geohimia – J. Geochemistry. no. 1, 1984, pp. 26–49.

7. Germanov A.I., Mavritskiy B.F., Piyjeva K.E., et al. Problem of deep origin of thermal ground waters in terms of recent information on the upper hydrosphere. [Problema glubinnogo proishozhdenia termalnykh podzemnykh vod v svete sovremennoy informacii o verhney gidrosfere]. Buletentj Izvestia AN SSSR – Bulletin Izvestia Ac.Sci.USSR. Ser Geol. 1972, no. 8, pp. 113–123.

8. Golubev V.A. Conductive and convective heat efflux in the Baikal rift zone. [Konduktivnyy i kovektivnyy vynos tepla v Baikalskoy riftovoy zone]. Novosibirsk: Academ. Publ. H. «Geo», 2007, 222 p.

9. Dvorkin-Samarskiy V.A. et al. Types of rare-metal geochemical provinces of Trans-Baikal area. [Tipy redkometalnykh geohimicheskikh provintcii Zabaikalja]. Novosibirsk: Nauka, 1978, 141 p.

10. Zamana L.V. On the role of nitric thermae in formation of hydrothermal deposits of Trans-Baikal. [O roli azotnykh term v formirovanii gidrotermalnykh mestorozhdenii Zabaikalja]. Sbornik: Geohimia gornyh

porod I rud Zabaikalia – Collected papers: Geochemistry of rocks and ores of Trans-Baikal. Novosibirsk: Nauka, 1980, pp. 99–101.

11. Zamana L. V. Fluorine in nitric thermae of Trans-Baikal. [Ftor v azotnyh termah Zabaikalia]. Zhurnal Geologia i Geofizika – J. Geology and Geophysics, 2000, V. 41, no.11, pp. 1575–1581.

12. Zamana L. V. On the origin of sulphate composition of nitric thetrmae of the Baikal rift zone. [O proishozhdenii sulfatnogo sostava azotnyh term Baikalskoy riftovoy zony]. Doklady RAN – Proc. RAS, 2000, V. 372, no. 3, pp. 361–363.

13. Zamana L. V. et al. Chemical composition and salinity of nitric thermae. [Himicheskiiy sostav i soljonost azotnyh term Zabaikalia]. Sbornik: Problemy gidrogeologii, inzhenernoy geologii I gidrogeoekologii. Tomsk: Publ. H. NTL, 2011, pp. 108–119.

14. Karpov I.K. Physico-chemical modeling by IBM in geochemistry. [Fiziko-himicheskoe modelirovanie na EVM v geohimii]. Novosibirsk: Nauka, 1981, 247 p.

15. Klimov G.I. On possible sources of fluorine and calcium of low-T fluorite occurrences. [O vozmozhnyh istochnikah flora i kalcia nizko-temperaturnykh proyavlenii fluorita]. Sbornik: Voprosy geologii Pribaikalia i Zabaikalia – Issues of geology in PreBaikal and Trans-Baikal areas. Chita, 1968, pp. 141–143.

16. Kozlova P.S., Rybalova E.K. Geological position and features of petrographic and chemical compositions of the Upper Paleozoic intrusive complexes of the Angren midstream in Central Asia. [Geologicheskoe polozhenie I osobennosti petrograficheskogo i himicheskogo sostavov verhnepaleozoiskih intruzivnykh kompleksov srednego techenia r. Angren (Srednaja Azia)]. Moscow: Nauka, 1965, pp. 82–143.

17. Krainov S. R., Ryzhenko B. N., Shvets V.M. Geochemistry of underground waters. Theoretical, applied and ecological aspects. [Geohimia podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspek-

ty]. Moscow: CentrLitNefteGas, 2012, 672 p.

18. Krainov S. R., Shvets V.M. Hydrogeochemistry. [Gidrogeohimia]. M.: Nedra, 1992, 463 p.

19. Lomonosov I.S. Geochemistry and formation of recent hydrothermae of the Baikal rift zone. [Geohimia I formirovanie sovremennykh gidroterm Baikalskoy riftovoy zony]. Novosibirsk: Nauka, 1974, 166 p.

20. Pavlov C.H., Chudnenko K.V. Physical-chemical aspects of nitric thermae formation in the “water-granite” system. [Fiziko-himicheskie aspekty formirovaniya azotnykh term v sisteme «voda – granit». Izvestia Irkutsk gosuniversitet. Seria nauk o Zemle – Bull. Izv.Irkutsk State Univ. Ser. Earth Sci., 2011, V. 2, no. 2, pp. 172–189.

21. Ryabchikov I. D. Forms of occurrence and depth of origination of fluid in the mantle/Fluid flows in the earth crust and mantle. [Formy nahozhdenia i glubina zarozhdenia fluida v mantii. Fluidnye potoki v zemnoi kore i mantii]. Moscow, 2002, pp. 185–190.

22. Ferronskiy V.I., Polyakov V.A. Isotopy of the Earth hydrosphere. [Izotopia gidrosfery zemli]. Moscow: Nauchniy Mir, 2009, 632 p.

23. Chudnenko K. V. Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications. [Termodinamicheskoe modelirovanie v geohimii: teoria, algoritmy, programnoe obespechenie, prilozhenia]. Novosibirsk: Acad.Publ. H. «Geo», 2010, 287 p.

24. Shvartsev S.L. Some issues of evolution of volume and composition of underground infiltration waters in alumino-silicate rocks. [O nekotorykh voprosakh evolutsii ob’jema i sostava podzemnykh infiltratsionnykh vod v alumosilikatnykh porodah]. Zhurnal Geohimia – J. Geochemistry. 1975, pp. 905–917.

25. Craig H. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas // Nuclear geology on geothermal areas. Spoleto. 1963, pp. 17–53.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Иркутского государственного технического университета Ю.Н. Диденков

УДК 551.311.23:553.465+553.493(571.51)

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ОХРЫ КАРБОНАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

© Р.А. Цыкин¹

Сибирский федеральный университет, 660025, Россия, г. Красноярск, проспект газеты «Красноярский рабочий», 95.

Рассмотрены три месторождения, в которых первичное оруденение связано с карбонатитами разного геологического возраста, а кондиционные руды – с охрами мел-палеогеновой эпохи гипергенеза. Охры полигенетичны, сложены элювиальными, инфлювиальными и гравитационными генерациями. Содержания металлов в них повышены от 2 до 6 раз.

Библиогр. 5 назв. Ил. 4.

Ключевые слова: карбонатиты; минералы Nb и TR; мел-палеогеновый гипергенез; вторичное обогащение руд.

RARE-METAL AND RARE-EARTH OCHERS OF CARBONATITE DEPOSITS IN THE ANGARA RIVER DOWNSTREAM

R.A. Tsykin

Siberian Federal University, 95 Gazety «Krasnoyarsky Rabochii» Ave., Krasnoyarsk, 660025, Russia.

In three described deposits primary mineralization holds carbonatites of different ages, and economic ores contain ochers of Cretaceous-Paleogenic epoch of hypergenesis. Ochers are composed of eluvial, influvial and gravitational generations. The metal grades are 2- to 6-fold increased.

5 references. 4 figures.

Key words: carbonatites; niobium, rare earth metals; Cretaceous-Paleogenic hypergenesis; secondary enrichment.

В субширотной полосе протяженностью около 500 км расположены месторождения (с запада на восток): Кийское, Татарское и Чуктуконское. В них продуктивными являются карбонатиты, а вмещающими их коренными породами – преимущественно известняки и доломиты. Гипсометрический уровень поверхности месторождений составляет от 500 м и менее, что способствовало сохранению гипергенных образований мел-палеогенового возраста, рассматриваемых геологоразведчиками как коры выветривания. Но карбонатный субстрат, по мнению автора, не является корообразующим, так как при гипергенезе происходили процессы растворения, просадок нерастворимых минералов и нередко боковой привнос их с более возвышенных частей месторожде-

ний в просевшие. Продукты гипергенеза имеют признаки элювия алюмосиликатных пород, инфлювия карбонатных и гравитационных аккумуляций в коррозийных депрессиях. Есть также инфльтрационные концентрации подвижных элементов (Fe, Mn, P). Вынос карбонатов Ca и Mg эндогенного происхождения привел к многократному росту содержания металлов. Кроме того, механическое разрушение пород существенно облегчает извлечение руды для ее последующего обогащения. Рыхлый обогащенный продукт разных расцветок автор именует рудными охрами.

Кийское месторождение расположено в правобережье р. Кии, правого притока Енисея. Оно выявлено в 1948 г. при ревизии радиометрической аномалии. В 1956–1960 гг. на участке прове-

¹Цыкин Ростислав Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии, минералогии и петрографии, e-mail: ASazonov@sfu-kras.ru

Tsykin Rostislav, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Geology, Mineralogy and Petrography, e-mail: ASazonov@sfu-kras.ru

дены геологоразведочные работы, в результате чего выделено одно рудное тело в приповерхностной части месторождения протяженностью 2500 м, шириной 500–550 м, при средней мощности охр 29,7 м. В его центральной части расположена обогащенная зона в виде трех изометричных залежей.

По данным среднемасштабного картирования [1], на участке вскрываются нижнекембрийские отложения, представленные доломитами, известняками с пластами алевролитов и песчаников мощностью 200–250 м. Они слабо дислоцированы, несогласно перекрыты красноцветными отложениями верхнего кембрия, среди которых преобладают песчаники, алевролиты и аргиллиты, заключающие линзы конгломератов. Среди интрузивных пород древнейшими являются двуслюдяные граниты по-сольненского комплекса рифея. Кембрийские отложения прорваны щелочными породами кийского комплекса, которые по уточненным данным имеют пермский возраст. Широким развитием пользуются нефелиновые сиениты второй фазы, переходящие в сиенит-порфиры и трахитовые порфиры. Первая фаза представлена породами ий-олит-мельтейгит-якупирангитового ряда, наблюдавшимися на небольших участках. Широким развитием пользуются дайки лампрофиров, нефелиновых сиенитов, тингуаитов и сиенит-порфиров. Все породы комплекса подвергались метасоматозу. Меланократовые породы частично преобразованы в амфибол- и апатитсодержащие метасоматиты или слюдиты, а лейкократовые – в полевошпатовые и полевошпат-карбонатные породы.

Со становлением кийского комплекса связано образование карбонатитов. Среди интрузивных и метасоматических измененных магматитов наблюдались прожилки и жилы мощностью до нескольких метров, карбонатитов анкерит-, кутногорит-сидеритового состава с включениями флюорита, фторкарбонатов редких земель и сульфидов. Более

широкое развитие карбонатитов предполагается в основании охр с редкоземельной минерализацией, развитых над кембрийскими отложениями между массивами сиенитов (рис. 1).

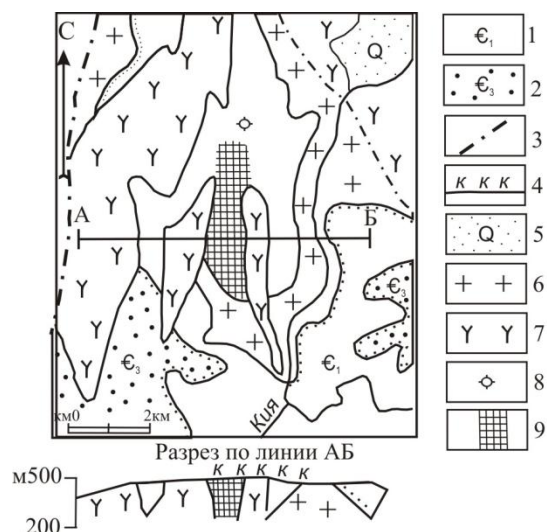


Рис. 1. Геологическая позиция Кийского торий-редкоземельного месторождения, по Н.В. Воробьеву [1], с изменениями:

1 – нижний кембрий, доломиты и доломитизированные известняки, песчаники, линзы кремней; 2 – средний-верхний кембрий: красноцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты, горизонт водорослевых известняков; 3 – разрывные нарушения; 4 – мел-палеогеновые гипергенные образования (кора выветривания) в приповерхностной части разреза; 5 – четвертичный галечно-песчаный аллювий; 6 – гранитоиды по-сольненского комплекса верхнего рифея; 7 – нефелиновые и щелочные сиениты, сиенит-порфиры, фойдолиты, карбонатиты кийского комплекса перми; 8 – диатрема серпентинизированных оливинитов триаса (?); 9 – зона рудоносных метасоматитов и карбонатитов

В охрах, варьирующих по окраске в связи с изменчивыми количествами гидрооксидов железа и марганца, карбонатов и фосфатов, а по крупности материала – в пределах дресвяно-щебнистых, песчано-алевритовых и глинисто-алевритовых композиций, в переменных количествах содержатся минералы редкоземельно-ториевых руд. В их числе диагностированы соединения фтор-карбонатного семейства (бастнезит, па-

ризит, синхизит, рентгенит), фосфаты (рабдофанит, ксенотим, монацит), оксиды (лопарит, торрианит, пироклор), силикаты (торит) и сложные соединения (бритолит). В составе лантанидов ведущую роль играют легкие лантаноиды с соотношением Ln_{Ce} : $(Ln_Y + Y)$ около 4-х. Содержание оксидов редких земель составляет 3,6–5,9%, ниобия – 0,8% [3, 4]. Технологические испытания показали целесообразность извлечения концентратов TR флотацией с гидрохимической переработкой концентратов [3, 4].

По данным геологической съемки масштаба 1:50 000 под руководством А.Б. Хисамудинова северо-восточнее разведанной площади в фойдолитах I фазы кийского комплекса картированными скважинами глубиной до 100 м были встречены интервалы метасоматитов от нескольких до 10 м с содержанием суммы лантаноидов 9% и тория 1%. В коре выветривания щелочных пород, вскрытой шурфами, выявлены концентрации ниобия от 1% и более. Из-за изменчивого распределения лантаноидов в орах и коре выветривания, их повышенной радиоактивности, сложности обогащения и переработки сырья месторождение остается недоизученным. Его ресурсы и потенциал, в числе прочих рассматриваемых объектов, отражены на рис. 4.

Татарское месторождение находится в верховьях р. Большая Пенченга, левого притока Большого Пита, и р. Татарка, правого притока Ангары, в 85 км северо-западнее пос. Мотыгино. Оно открыто в 1948 г. при заверке радиометрической аномалии. Геологоразведочные работы проводились в 1956–1980 гг.

В рельефе месторождение занимает эрозионно-тектоническую депрессию между Татарским «хребтом» (грядой) с отметками до 857 м и поднятием на гранитоидах Татарской интрузии с отметками до 660 м. Рудное тело протягивается с севера на юг на 25 км при ширине 2–6 км, занимая площадь 60 км². Более половины ее приходится на мо-

ноклиально залегающие с крутыми (60–80°) углами падения на запад карбонатно-терригенные отложения пенченгинской свиты нижнего протерозоя. В разрезе свиты прослежены (снизу): кальцитовые мраморы (более 700 м), песчаники кварцитовидные в переслаивании с кварц-мусковит-биотитовыми сланцами (200 м), сланцы кварц-серицитовые и кварц-биотит-мусковитовые с линзами амфиболитов (400 м), сланцы кварц-биотитовые и кварц-биотит-мусковитовые с пластами кальцитовых и доломитовых мраморов (около 1400 м). На отдельных участках прослежена перекрывающая толща сланцев кварц-серицитовых, кварц-биотитовых и серицит-хлорит-кварцевых мощностью до 1800 м. В мраморах и сланцах заключены пластовые и секущие тела метадолеритов индиглинского комплекса нижнего протерозоя. Они слагают около 25% площади месторождения. Метаморфиты содержат субсогласные тела карбонатитов мощностью 100–200 м и в значительной степени изменены щелочным метасоматозом с продуктами амфибол-полевошпатового, флогопит-амфи-болового, флогопитового (слюдиты) и амфибол-альбит-кальцитового составов. Метасоматиты развиты как в лежащем, так и в висячем боках пачек сланцев в виде полос шириной от 30–50 до 100 м.

На месторождении небольшие площади занимают отложения палеогена и неогена. Они перекрывают кору выветривания, возраст которой на этом основании определен как мел-палеогеновый. На сланцах диагностированы до четырех зон элювиального профиля: 1 – дезинтеграции, 2 – выщелачивания и гидратации (сапролита), 3 – глинизации с ассоциацией гидрослюд и местами каолинита, 4 – гидролиза («латерита») с каолинитом, кальциевыми и алюмофосфатами. Мощности коры выветривания резко изменчивые, от первых метров до 200–300 м на контактах мраморов, карбонатитов и сланцев. К перераспределенным продуктам латеритного

выветривания большинство исследователей Татарского месторождения Nb-P [2–4] относят карстовые бокситы одноименного месторождения, расположенные в непосредственной близости от южной части месторождения ниобиево-фосфатных руд. Но стоит вопрос, почему бокситы залегают в глубоком (до 220 м) покрытом карсте, слагают тела мощностью в десятки метров, а в остаточных и переотложенных продуктах коры выветривания в депрессии ниобий-фосфатного месторождения с аналогичными высотными отметками практически отсутствуют. По мнению автора, карстовые бокситы являются специфическими гипергенными образованиями, а не механическими свалами латеритных руд [5].

Месторождение, в отличие от других исследователей, мною названо ниобиево-фосфатным, поскольку отношение пентаоксида фосфора к таковому ниобия в рудах составляет около 13. Руды по физико-механическим свойствам делят на первичные и вторичные. Первичные связаны с доломитными карбонатами и в меньшей мере с метасоматитами. Они прослежены на глубину более 400 м без признаков выклинивания, содержат в среднем 0,18% Nb₂O₅ и 2,42% P₂O₅. Первичные руды, абсолютный возраст которых определен в 1740 млн лет, разведаны в северной части месторождения, в пределах Первой рудной зоны (рис. 2). Всего же на площади рудного поля выделены 6 зон ниобиево-фосфатных руд.

В северной части месторождения расположены Первая и восточнее – Параллельная зоны. В охрах здесь развиты так называемые «зернистые» руды ниобия в виде дезинтегрированной массы октаэдрических кристаллов и округлых сростков пирохлора, частично превращенных в колумбит и сгруженных в залежах на карбонатах. Кроме концентраций ниобия в доломитовых карбонатах и фосфора (вместе с пирохлором и в оторочках его руд) в Первой и Второй рудных зонах есть залежи вермику-

лита по разложенным слюдитам и амфибол-флогопитовым метасоматитам. Руды ниобия Первой зоны с 2000 г. разрабатываются, вермикулит же – периодически, ввиду отсутствия спроса.

Юго-западнее, в 0,5–1,5 км от названных зон, находится рудная зона Вторая. В ней есть зернистые руды ниобия и дисперсные «латеритные», практическая ценность которых получила отрицательную оценку по результатам технологических испытаний.

Рудная зона Восточная расположена субпараллельно Второй, в приконтактной части гранитной интрузии. Руды в ней бедные, преимущественно дисперсные.

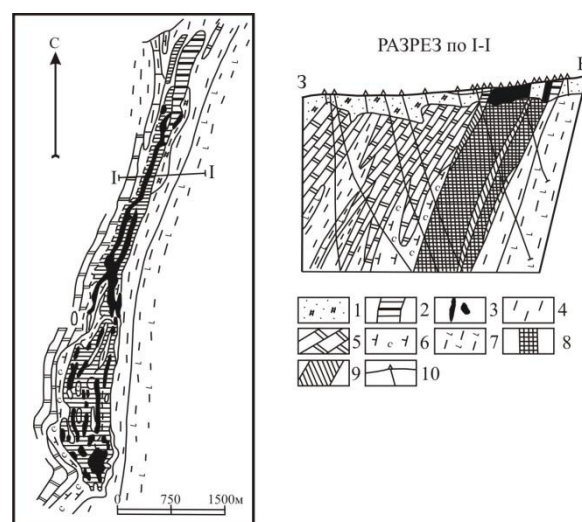


Рис. 2. План и разрез Первой рудной зоны Татарского месторождения:

1 – безрудные охры; 2 – вермикулиты; 3 – рудные охры; 4 – кварц-биотитовые, кварц-биотит-мусковитые сланцы; 5 – мраморы; 6 – микроклин-альбит-амфиболовые метасоматиты; 7 – амфиболиты по долеритам; 8 – карбонаты; 9 – залежи апатитов; 10 – разведочные скважины

Рудная зона Правобережная расположена западнее и юго-западнее от Второй. Рудные охры распространены на глубину 50–70 м. Тела зернистых ниобиевых руд маломощные и непротяженные, более распространены дисперсные руды.

Центрально-Березовская рудная зона расположена между Второй и Во-

сточной, характеризуется дисперсными рудами ниобия.

В рудах месторождения присутствуют лантаноиды, стронций, рубидий, иттрий, гафний, германий, скандий и торий, но эти элементы фиксируются лишь как второстепенные, не имеющие практического значения, Радиоактивность ниобий-фосфатных охр низкая ($Th_{экв} - 0,0061$).

Татарское месторождение комплексное. Кроме ниобиевых руд, локализованных в серых, буровато-серых охрах, которые развиты на глубину от нескольких до более чем 300 м, в нем представлены вкрапленность и залежи апатита, частично превращенного в франколит, с ресурсами в зоне охр 5,7 млн т P_2O_5 , а также вермикулита – 1,6 млн т.

Чуктуконское месторождение расположено в южной части Чадобецкого поднятия, в бассейне ручья того же названия, правого притока Чадобца. От объекта до райцентра г. Кодинск 98 км бездорожья. Он выявлен в 1960 г. при обследовании радиометрической аномалии. Геологоразведочные работы проводились с 1961 по 1971 г. и затем в 1983–1985 гг. В геолого-структурном отношении площадь месторождения находится в брахиантиклинали. Сводовую часть ее занимают доломиты и доломитистые известняки чуктуконской свиты верхнего рифея мощностью 450–500 м. На крыльях залегают глинистые и алевроито-глинистые сланцы териновской свиты мощностью около 200 м, сменяемые выше по разрезу ритмично-слоистыми алевроито-глинистыми сланцами брусской свиты мощностью 200–300 м. Далее от центра залегают песчаники с подчиненными пластами аргиллитов и алевролитов медведковской свиты мощностью 120–150 м.

Отложения верхнего рифея прорваны интрузиями ультраосновных щелочных пород чадобецкого комплекса триаса – пикритами, их брекчиями и карбонатитами. Выявлены два штокообразных тела карбонатитов – Южное и

Центральное (рис. 3). Первое сложено доломитовыми карбонатитами с редкоземельной минерализацией (отношение TR/Nb около 15), второе – кальцитовыми Nb-TR карбонатитами (отношение TR/Nb около 6,5). Коренные породы брахиантиклинали превращены процессами гипергенеза в охры различных окрасок и состава с повышенными, до рудных, содержаниями железа, марганца, ниобия, редких земель и тория. Охры унаследовали первичную зональность распределения химических элементов. Контуры распространения залежей гипергенных руд нечеткие, но околтурены два блока редкоземельных руд – Центральный размерами на плане 400x600 м при глубине распространения

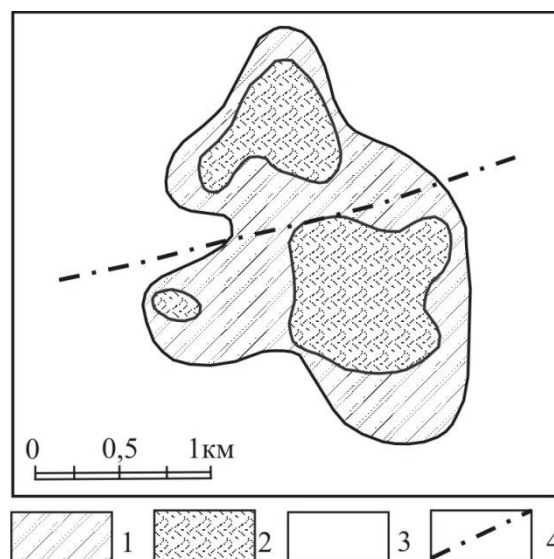


Рис. 3. Схематический план Чуктуконского месторождения:

1 – рудные охры мощностью более 10 м; 2 – то же, мощностью более 50 м; 3 – отложения рифея (чуктуконская карбонатная и териновская терригенная свиты); 4 – разрывное нарушение.

около 200 м и Южный, размерами 800x300 м с увеличением глубины залегания с запада на восток от 100 до 200 м. Главными компонентами редкоземельных руд являются элементы цериевой группы и иттрий. Ниобиевые руды при бортовом содержании Nb_2O_5 0,8% большей частью обрамляют редкоземельные. В приповерхностной части

месторождения есть коррозионные депрессии, выполненные бокситоносными отложениями палеогена и терригенными – неогена суммарной мощностью до 100 м [5].

Рудные охры имеют сложный состав с преобладанием минералов железа (гетит, гидрогетит, гематит), марганца (псиломеланы и пиролюзит), фосфора (апатит, франколит, флоренсит). В ниобиевых охрах диагностированы разновидности пирохлора (бариевая, стронциевая и цериевая). Носителями редких земель являются монацит, флоренсит, церианит, черчит и бастнезит. Радиоактивность охр обусловлена концентрацией тория в минералах железа, редких земель и апатите ($\text{ThO}_2 - 0,11\%$). Химический состав охр по данным 16 анализов групповых проб говорит о выносе карбонатов, привносе Fe, Mn, P, Nb и TR (в %): SiO_2 4,82-18,86; TiO_2 0,77-1,02; Al_2O_3 4,79-15,50; Fe_2O_3 34,82-49,57; FeO 0,09-0,11; CaO 2,31-3,28; MgO 1,83-1,85; MnO 4,25-7,76; Na_2O 0,35-0,36; K_2O 0,15-0,19; P_2O_5 3,28-5,88; S 0,9-0,10; CO_2 0,46-0,58; Nb_2O_5 0,66-1,26; P_2O 3,66-6,26; Ппп 12,45-12,59. В технологических пробах, по данным В.Г. Ломаева, содержание Fe составляет 35,3-38,0%, Mn 7,0-8,5%, P_2O_5 3,6-4,3%, P_2O 4-6,8%.

Основные особенности Чуктуконского месторождения обусловлены как геолого-структурными факторами (залегание сравнительно крупных тел интрузивных карбонатитов в известняках), так и длительностью периода гипергенного изменения пород, по крайней мере, с конца мелового периода. Первичные карбонаты удалены и замещены полиминеральной ассоциацией. Избирательное растворение карбонатных пород в куполовидном поднятии без привноса алюмосиликатных компонентов со стороны имело следствием локальные просадки, гравитационное перераспределение нерастворимых соединений и обогащение охр рудными минералами.

Объект	Nb		TR	
	% к российским	$C_{\text{ср}}$	% к российским	$C_{\text{ср}}$
Кийский	-	-	20	3,5
Татарский	2	0,2	-	-
Чуктуконский	25	1,0	27	5,6
шкала, %	20 10 0 5		20 10 0 5	

Рис. 4. Запасы, ресурсы Nb и TR месторождений Приангарья в процентах от российских и содержания в рудных охрах

Выводы

1. В образовании месторождений TR и Nb проявлены два этапа – эндогенный и гипергенный. Минералогическо-геохимические особенности последнего обусловлены разрушением карбонатов Ca и Mg и образованием полигенетических полиминеральных ассоциаций охр.

2. Элементный состав и формы залежей Nb и TR определяются минералообразованием эндогенного этапа, а минералогическо-геохимические особенности, морфология и технологические свойства руд – гипергенными процессами.

3. Интенсивность гипергенеза можно в общих чертах определить по составу кор выветривания алюмосиликатных пород. Так, в Татарском месторождении зернистые руды Nb образованы в обстановке начального выветривания (сапролиты, вермикулиты), а дисперсные с более высоким содержанием – в зоне гидролиза. Именованые их латеритными нет оснований, исходя из определения латерита. Состав охр в этой зоне полиминеральный, без скоплений гиббсита, хотя проявлено образование алюмофосфата. Дисперсные Nb руды связаны с карстовыми бокситами парагенетически.

4. По мере роста интенсивности гипергенеза увеличиваются содержания Nb и TR, но ухудшаются технологические свойства руд из-за диспергации минералов, увеличения их агрегативности с гидроксидами железа и марганца.

5. Потенциальная значимость рассмотренных выше месторождений Приангарья в балансе ниобий-редкоземель-

ного сырья Российской Федерации показана на рис. 4.

Библиографический список

1. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000 листа О-46-VIII с объяснительной запиской / И.В. Воробьев. М.: Недра, 1968. 56 с.

2. Лапин А.В., Плошко В.В., Малышев А.А. Карбонатиты зоны Татарского глубинного разлома в Енисейском крае // Геология рудных месторождений. 1987. Т. XXIX, №1. С. 3–14.

3. Ломаев В.Г., Озерский Ю.А. О развитии минерально-сырьевой базы и создании редкометалльной промышленности в Красноярском крае // Состояние и проблемы геологического изучения недр и развития минерально-сырьевой базы Красноярского края. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2003. С. 159–161.

4. Минеральные ресурсы Нижнего Приангарья и их экономический потенциал. Красноярск: РИЦ КНИИГиМС, 2004. 236 с.

5. Цыкин Р.А., Попова Н.Н. Кайнозой Нижнего Приангарья. Геология и полезные ископаемые. Красноярск: СФУ, 2010. 145 с.

References

1. Geological map of the USSR at scale 1:200 000, sheet O-46-VIII

with legend. [Geologicheskaja karta SSSR masshtaba 1:200 000 lista O-46-VIII s ob'jasnitelnoy zapiskoy]. I.V. Vorobjev (Ed.). Moscow: Nedra, 1968, 56 p.

2. Lapin A.V., Ploshko V.V., Malyshev A.A. Carbonatites of the zone of the Tartar deep fault in the Enisey Ridge. [Karbonatity zony Tatarskogo glubinnogo razloma v Eniseiskom kryazhe]. Zhurnal: Geologia rudnyh mestorozhdeniy – J. Geology of ore deposits, 1987, V. XXIX, no.1, pp. 3–14.

3. Lomaev V.G., Ozerskiy Yu.A. On the development of mineral base and creation of rare-metal industry in the Krasnoyarsk Region. [O razvitii mineral'no-syr'jevoy bazy i sozdanii redkometal'noy promyshlennosti v Krasnoyarskom krae]. Krasnoyarsk: RITS KNIIGiMS, 2003, pp. 159–161.

4. Mineral resources in the low stream of the Angara River area and their economic potential. [Mineral'nyye resursy Nizhnego Priangar'ja i ih ekonomicheskij potencial]. Krasnoyarsk: RITS KNIIGiMS, 2004, 236 p.

5. Tsykin R.A., Popova N.N. Cenozoic of the low stream of the Angara River area and mineral resources. [Kainozoy Nizhnego Priangaria. Geologia i poleznye iskopaemye. Krasnoyarsk: SFU, 2010, 145 p.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
профессор Иркутского государственного технического университета Г.Д. Мальцева

Технологии геологической разведки и разработки полезных ископаемых

УДК 550.4:551.3:622.17(571.51)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ДЛЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАЮЩИХ ФАБРИК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

© О.И. Целюк¹, Д.И. Целюк²

¹Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, ул. Киренского, 26.

²ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», 660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 55.

Оценены перспективы вовлечения в промышленную переработку лежалых хвостов золотодобывающих фабрик Восточной Сибири. Рассмотрены вопросы подготовленности вещественного состава минерального техногенного сырья для извлечения золота методом кучного выщелачивания.

Библиогр. 4 назв. Ил. 3. Табл. 1.

Ключевые слова: лежалые хвосты; вещественный состав; технологические решения.

HEAP LEACHING OF GOLD FOR COMMERCIAL UTILIZATION OF OLD TAILINGS OF GOLD CONCENTRATION PLANTS IN EAST SIBERIA

O.I. Tselyuk, D.I. Tselyuk

Siberian Federal University, 26 Kirensky St., Krasnoyarsk, 660041, Russia.

Krasnoyarsk Scientific Research Institute of Geology and Raw Minerals, 55, Mir Ave., Krasnoyarsk, 660049, Russia.

The prospects to involve old tailings at gold concentration plants in East Siberia into industrial processing are assessed. The efficiency of mineral composition of technogenic raw material for gold extraction by heap leaching was considered.

4 references. 3 figure. 1 table.

Key words: old tailings; material composition; technological solutions.

Восточная Сибирь является одним из лидирующих регионов в стране по запасам золотосодержащих руд. На протяжении 150 лет здесь ведется активная добыча благородных металлов. Освоены Дарасунское, Бaleyское, Коммунарское, Советское и другие месторождения, золоторудные месторождения Ольховско-Чибихежского рудного узла и др.

Многолетняя отработка богатых легкообогатимых руд привела к истощению минерально-сырьевой базы золота вблизи действующих горнорудных пред-

приятий, усложнению горно-геологических и экономико-географических условий эксплуатации месторождений, росту себестоимости добычных работ.

В результате современные золотодобывающие предприятия испытывают серьезные хозяйственные и экономические проблемы, связанные с нехваткой сырья на обрабатываемых месторождениях. Решение вопросов воспроизводства запасов золота осложняется значительной удаленно-

¹Целюк Олег Игоревич, аспирант, тел.: 8(391) 2277544, e-mail: tselukoi@mail.ru

Tselyuk Oleg, Postgraduate, tel.: 8(391) 2277544, e-mail: tselukoi@mail.ru

²Целюк Денис Игоревич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией промышленного техногенеза, тел.: 8(391) 2230849, e-mail: cdi@kniigims.ru

Tselyuk Denis, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Head of the Industrial Technogenesis Laboratory, tel.: 8(391) 2230849, e-mail: cdi@kniigims.ru

стью новых минерально-сырьевых участков от промышленных площадок, требует от горнодобывающих организаций больших капитальных затрат на развитие соответствующей инфраструктуры. Особо острая проблема связана с размещением промышленных отходов. За длительный период эксплуатации в районе золотоизвлекающих фабрик сформированы крупные хранилища техногенных массивов лежалых хвостов.

Одним из вариантов расширения минерально-сырьевой базы золота в регионе является вовлечение в промышленную переработку техногенного сырья. В качестве таких объектов можно рассматривать лежалые хвосты намывных хвостохранилищ. В настоящее время объемы техногенных залежей весьма велики: в хвостохранилищах Балейского ГОКа размещено около 12,5 млн м³, Коммунарковского рудника – 8,2 млн м³, Дарасунского рудника – 7,5 млн м³ [1]. Техногенные объекты представляют собой крупные намывные отстойники протяженностью несколько километров и мощностью десятки метров. Как показывают исследования [2, 3], техногенные отложения намывных хвостохранилищ не являются стабильным массивом, а представляют собой активно изменяющуюся гетерогенную систему, сформированную в результате гипергенного преобразования хвостов. Под воздействием техногенного водоносного горизонта в теле техногенного массива происходят вторичные преобразования, связанные с разрушением и окислением золотосодержащих пород и минералов, высвобождением золота как механическим, так и физико-химическим путем. Различная степень разложения породообразующих и рудных минералов приводит к развитию вертикальной зональности техногенного массива. В результате этого, в основании хвостохранилищ формируются горизонты, обогащенные золотом. Запасы залежей металла с содержанием от 2,0 до 16 г/т могут достигать десятков тонн.

Для решения вопросов, связанных с промышленным освоением намывных

лежалых хвостов, важное значение приобретает внедрение новых технологий переработки техногенного минерального сырья, обеспечивающих рентабельное извлечение товарной продукции. Одной из таких технологий является кучное выщелачивание золота. Эффективность применения этого метода зависит от степени подготовленности вещественного состава минерального техногенного сырья для действия выщелачивающих растворов. Определяющими показателями являются следующие условия: минеральная форма золота, парагенетические ассоциации золота с рудными минералами и особенности локализации в них благородных металлов, степень вторичных изменений и окисленности руд. Зарубежный опыт показывает, что рентабельная переработка минерального сырья методом кучного выщелачивания возможна при содержании в сырье золота не ниже 0,9 г/т, а в некоторых случаях и при содержании 0,5 г/т [4].

Однако применение методов кучного выщелачивания золота осложняется рядом факторов. Одними из самых неблагоприятных являются наличие в рудах повышенных концентраций тяжелых металлов, большого количества минералов сурьмы, мышьяка, ртути, а также руды, в которой золото запечатано в кварце и сульфидах. В результате воздействия неблагоприятных факторов извлечение золота из руд при кучном выщелачивании обычно не превышает 60%, а из техногенных отложений – 50%.

С целью оценки степени эффективности применения метода кучного выщелачивания для извлечения золота из продуктивных горизонтов лежалых хвостов проведены геолого-технологические исследования сырья из хвостохранилища Советской ЗИФ. За столетний период эксплуатации фабрики в долине р. Безымянка сформировано хвостохранилище общей площадью 0,4 млн м². Максимальная высота

накопителя достигает 50 м, длина 2500 м. В пределах хранилища уложено более 6,2 млн м³ хвостов. Лежалые хвосты сформированы в результате переработки малосульфидных золото-кварцевых руд Советского месторождения и месторождения Эльдorado.

Эксплуатация хвостохранилища ООО «Соврудник» производится по замкнутой гидравлической системе. Накопление хвостов осуществляется путем подачи пульпы в рабочие емкости через пульпопроводы. Жидкая составляющая пульпы относится к сульфатно-кальциево-магниевому типу, имеет химически нейтральную среду с показателем pH 6,9–7 ед. Она отличается высокими содержаниями кальция, магния, калия натрия и марганца. Содержание остальных элементов в жидкой фазе не превышает 1 мг/л. В твердой фазе присутствуют в основном кремний – 75% и железо – 14%, содержание остальных элементов менее 5%. В хвостохранилище происходит разделение пульпы путем отделения от водной среды тяжелой фракции и осаждения ее на дно отстойника. Исследования осветленных вод показали, что по химическому составу они подобны жидкой фазе сбрасываемой пульпы. Воды представляют собой сульфатно-магниевую-кальциевый тип, с показателем pH 7,5 ед. Содержание Ag, Au, As, В, Ва, Со, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb Ti, V, W, Zn в жидкой фазе составляет менее 1 мг/л.

В химическом составе хвостов, уложенных в хвостохранилище ООО «Соврудник», преобладающим является оксид кремния (SiO₂), содержание которого достигает 35–65%. Содержание оксида железа (Fe₂O₃) изменяется от 5 до 25 %, оксида алюминия (Al₂O₃) – от 10 до 15 %, оксида кальция (CaO) – от 0,2 до 0,5%. Среди щелочей выделяется K₂O с содержанием 1–3%, при этом концентрация Na₂O – менее 1%. В лежалых хвостах установлено существенное накопление целой группы тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Li, As, Ti, V, Mo, Cd, Pb, Cr, Sr, Ba. Максимальное значение валовых концентраций, лежащих в

пределах 0,1–1%, характерно для мышьяка, марганца, титана. В концентрациях 0,01–0,1% присутствует бор, барий, свинец, сурьма, ванадий, цинк. В интервале от 0,001 до 0,01% находится кобальт, хром, медь, литий, никель, вольфрам.

По минеральному составу толща лежалых хвостов характеризуется преобразованием слюдистых минералов и кварца. Доля кварца достигает 60%, мусковита и хлорита – до 35%. В подчиненных количествах присутствуют сульфиды – от 3 до 10%.

Хвосты в нижней части разреза техногенного массива отличаются повышенным содержанием сульфидов – до 20% и включают: пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирротин. Характерной особенностью является наличие горизонта, претерпевшего интенсивное гипергенное преобразование, где широко развиты вторичные минералы – лимонит, скородит (питтитит), англезит, а также новообразованные формы – гематит, сульфаты железа и свинца, самородная сера, гипс, гидроокислы железа.

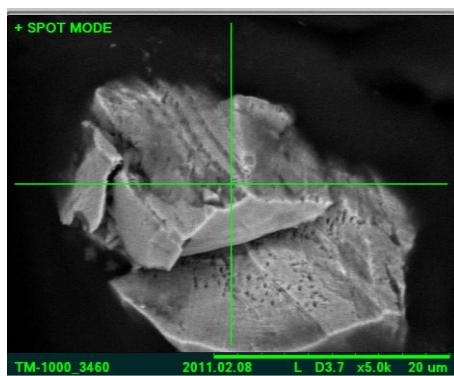
В основании массива хвостов пляжной зоны выделен горизонт мощностью 7 м, в котором содержание золота резко увеличено по отношению к вышележащим техногенным образованиям и составляет от 1,2 до 18,8 г/т при среднем содержании 5–6 г/т. В верхних толщах массива хвостов его содержание не превышает 0,5 г/т, золото в подавляющем большинстве тонкое, фиксируется в сульфидах, большей частью в арсенопирите и пирите. Пирит представлен четкими кубическими и октаэдрическими кристаллами, на поверхности которых выявлено образование микропористости и микротрещиноватости. Форма, размер пор и трещин разнообразны. Микронзондовым анализом в химическом составе пирита установлено: железа – 45,9%, серы – 54,1%. Арсенопирит представлен кристаллами призматической формы стального-серого цвета с

металлическим блеском. В химическом составе первичных зерен арсенопирита установлено железо – до 44,5%, мышьяк – 28%, сульфаты – 20,3%, алюминий – 7%, медь – 0,2%.

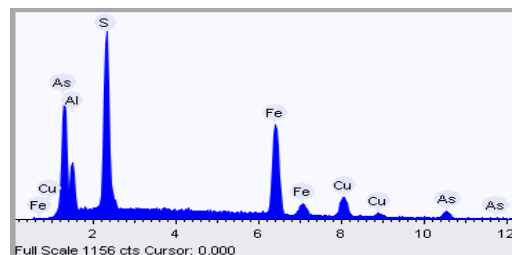
В нижнем продуктивном горизонте под воздействием высокоминерализованных техногенных вод золотосодержащие сульфиды окисляются. Поверхность минералов становится рыхлой. Микрозондовым анализом установлено резкое падение содержания серы – от 50 до 10% в периферийных долях кристаллов. Повсеместно наблюдается полное разложение сульфидов до землистых масс, сложенных преимущественно гидроокислами железа, где содержание серы не превышает 6–7% (рис. 1). По результатам микроскопических исследований гидроокислы железа представлены черными и темнобурыми коломорфными образованиями и землистыми массами. В химическом составе гидроокислов железа содержание

железа составляет 80,8%, меди 5,5%, магния 3,5%, алюминия 2,6%. По сравнению с первичными рудными минералами количество серы снижается в 7 раз и не превышает 7,6%. При окислении арсенопирита наряду с серой происходит вынос мышьяка. В исследованных псевдоморфозах микрозондовым анализом установлено железа 88%, алюминия 8,0%, мышьяка 1,6%, серы 1,2%, меди 1,1%.

В результате гидролиза сульфидов в техногенных водах существенно возрастает содержание сульфатов. По данным лабораторных аналитических исследований содержание сульфатов в техногенном водоносном горизонте достигает 6374,92 мг/л. Помимо жидкой фазы широко присутствует выход серы в виде H_2S , на что указывает наличие в верхних толщах разреза массива хвостов большого количества сферообразных полостей размером от



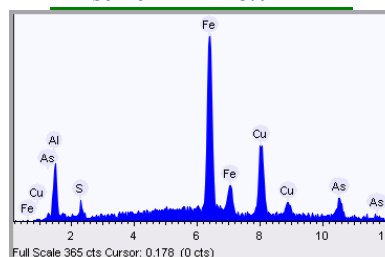
а



Element	Weight %
Aluminum	7.0
Sulfur	20.3
Iron	44.5
Copper	0.2
Arsenic	28.0



б



Element	Weight %
Aluminum	8.0
Sulfur	1.2
Iron	88.0
Copper	1.1
Arsenic	1.6

Рис. 1. Окисление арсенопирита в лежалых хвостах и его микрозондовый анализ:
 а – первичный арсенопирит из лежалых хвостов; б – остаточные формы арсенопирита в нижнем горизонте техногенного массива

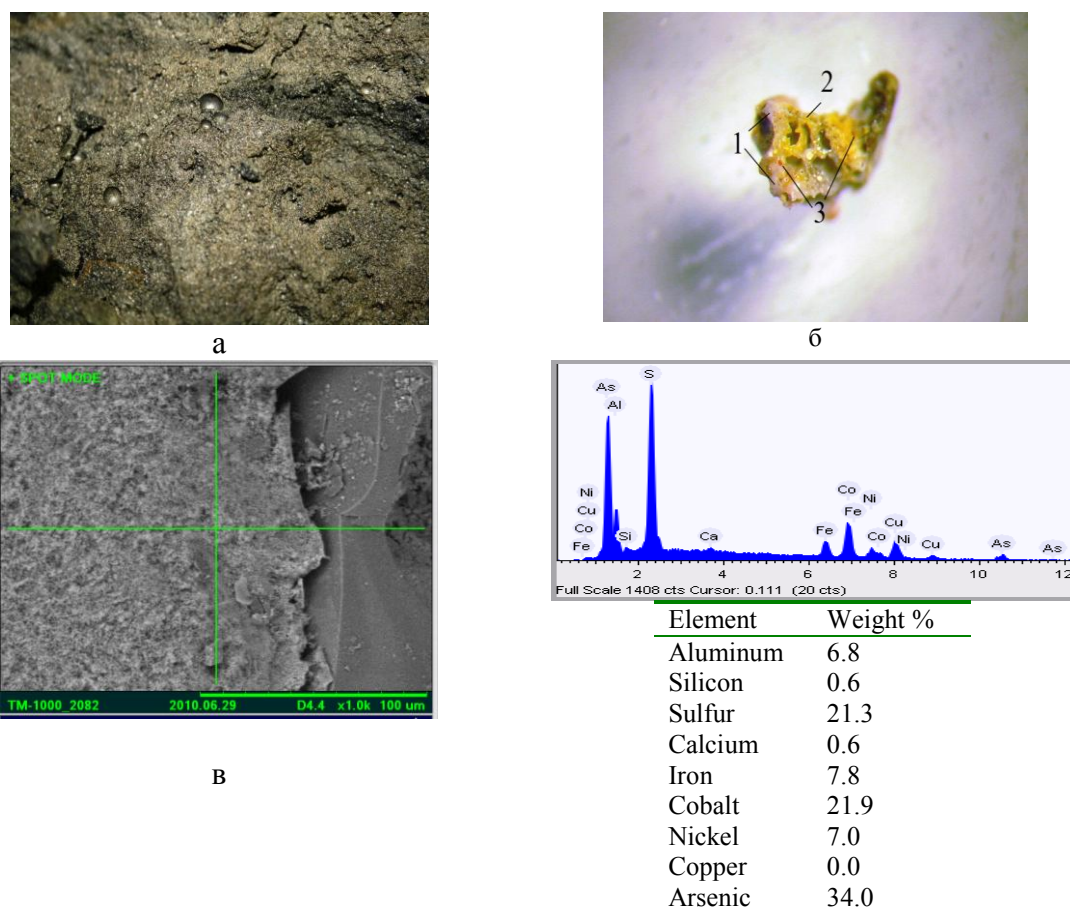


Рис. 2. Вторичные серосодержащие вещества в толще техногенного массива:
а – сферообразные полости, содержащие H_2S ; б – выделения аморфного кремнезема (1) в тесном сростании с серой (2) и гидроксидами железа (3) в основании техногенного массива; в – микрозондовый анализ сульфатной – мышьяковистой массы

0,1 до 3 мм, заполненных газовыми составляющими (рис. 2,а). Вторичное преобразование сульфидов в продуктивном нижнем горизонте сопровождается падением показателя рН среды от нейтрального к кислому на 2–3 ед. В результате интенсивного воздействия кислых растворов на минеральную массу лежалых хвостов, из сульфидов наряду с серой и мышьяком происходит интенсивный вынос тяжелых металлов.

При сопоставлении результатов анализа химического состава поровых растворов из верхнего и нижнего горизонтов (таблица) видно, что в водных вытяжках из гипергенно преобразованного

нижнего горизонта хвостов содержание тяжелых металлов увеличивается на несколько порядков. Обращает на себя внимание аномально высокое содержание водорастворимых форм As, Mn, Ni, Zn, Cu, Li, Fe, Pb, Au.

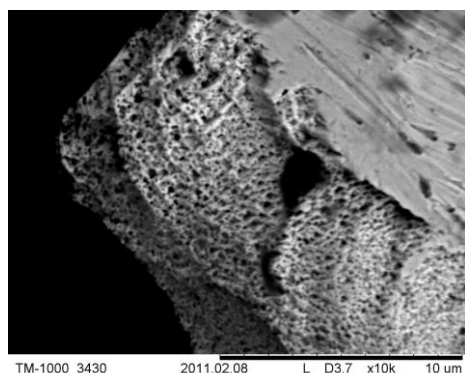
В основании преобразованного горизонта, в области геохимического барьера «техногенные отложения – подстилающие грунты» сера и тяжелые металлы кристаллизуются из пересыщенных растворов, выпадая в осадок в виде новообразованных минералов, преобладающими из которых являются гематит, сульфаты железа и свинца, самородная сера, гипс, гидро-

Среднее содержание элементов (мг/кг) в водных вытяжках из лежалых хвостов

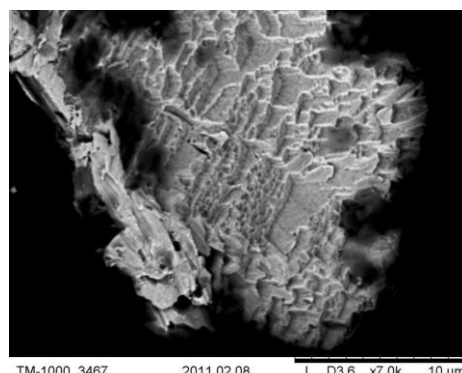
Интервал опробования	Fe	Li	Cu	Zn	Ni	Mn	As	Au
Верхний горизонт, слабо окисленный (0,0–6,0 м)	0,32	0,04	0,01	0,1	0,23	4,2	3,75	0,0001
Нижний гипергенно измененный продуктивный горизонт (6,0–14,0 м)	49,9	0,12	2,29	3,11	1,78	11,3	369,2	0,1

окислы железа. Обращает на себя внимание, что в ряде случаев сера образует самостоятельные самородные минералы в виде тонких корочек желтого цвета в тесном срастании с кремнеземом и с гидрооксидами железа. В агрегатных образованиях скрытокристаллические выделения серы играют роль цементирующей массы (рис. 2,б). В составе сульфатов сера присутствует в новообразованном милантерите и других

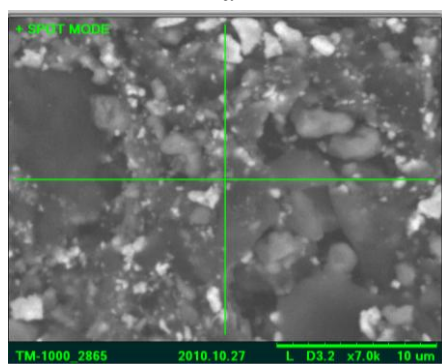
сульфатах железа и свинца. Образование проявляются в виде натечных форм светло-зеленого или сероватого цвета и имеют неустойчивую структуру, а также легко растворимы. Помимо сульфатных минералов в основании техногенного массива формируется сульфатно-мышьяковистая масса, характеризующаяся высокими содержаниями мышьяка, серы, тяжелых металлов (рис. 2,в).



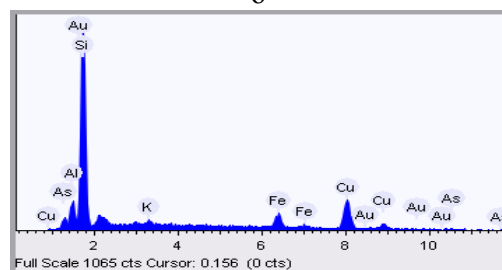
а



б



в



Element	Weight %
Aluminum	6,6
Silicon	56,2
Potassium	2,1
Iron	21,8
Copper	2,0
Arsenic	7,1
Gold	4,2

Рис. 3. Формы проявления золота в техногенном массиве:

а – ямочно-каверзионная поверхность золота; б – сотово-ячеистая поверхность золота; в – золотосодержащая глинисто-железистая масса, цементирующая минеральные формы, и ее микрондовый анализ

В результате процессов вторичного преобразования золотосодержащих сульфидов в продуктивном горизонте лежалых хвостов происходит высвобождение золота. Процессы трансформации сульфидов и механическое высвобождение тонкого золота сопровождаются частичным растворением металла, на что указывает повсеместно развитая коррозионная структура поверхности золота (рис. 3,а,б).

Большинство выделений золота в продуктивном горизонте имеет ярко выраженную ямочно-каверзионную и сотово-ячеистую поверхность. Обращает на себя внимание существенное повышение доли растворенного золота до 0,1 мг/кг (см. таблицу) в водных вытяжках из хвостов продуктивного горизонта.

Увеличение доли водорастворенного золота приводит к значительному повышению концентрации металла в техногенных водах из хвостов продуктивного горизонта. Концентрация золота в техногенных водах достигает 0,8–1,1 мг/л, что существенно превышает его содержание в пульпе 0,0001 мг/л.

Наряду со структурами растворения установлено выпадение отдельных зерен в виде субмикроскопических тонкодисперсных частиц самородного металла размером в десятые-тысячные доли микрометра. Обычно это изометричные субкристаллики, характеризующиеся наличием пентагон-додекаэдрических граней, либо сочетанием куба и октаэдра. В химическом составе этих зерен установлено содержание золота 95,6% и алюминия 4,4%, отсутствие характерных для первичных минералов серебра и меди. Золото, представленное в виде таких нано- и микроразмерных частиц, локализуется в отдельных полостях на поверхности более крупных золотин тонких размеров.

Помимо сростков, золото присутствует в составе землистых агрегатов сульфатов железа и меди, а также в глинисто-железистой массе, цементирующей минеральные формы. Ее исследова-

ние микронзондовым анализом показало наличие золота 9,4%, меди 1,6%, железа 16,9%, алюминия 72,1% (рис. 3,в).

Проведенные исследования показывают, что существенное изменение минерального состава продуктивного горизонта, особенно окисление рудных сульфидных минералов, способствует раскрытию золота и удалению из рудного сырья вредных примесей. В результате техногенные минеральные образования гипергенно преобразованного горизонта представляют собой объекты, пригодные для извлечения из них золота методами цианирования, в том числе методом кучного выщелачивания.

Исследования на двух малообъемных пробах, выполненных совместно с ОАО «Иргиредмет», показали, что при применении цианистых растворов на исходном сырье доля извлечения золота из хвостов составляет 70,5%. При доизмельчении материала до размера фракции 0,074 мм выход металла в цианистые растворы увеличивается до 84%.

Таким образом, в намывных лежалых хвостах, образованных при обогащении руд золото-кварцевой малосульфидной формации, сформирован техногенный минеральный золотосодержащий тип сырья, пригодный для переработки методами цианирования, в частности кучным выщелачиванием. Полученные результаты позволяют осуществить вовлечение лежалых хвостов золотодобывающих предприятий в промышленное производство и существенно расширить сырьевую базу благородных металлов. Полученный опыт можно перенести на золотодобывающие предприятия не только Восточной Сибири, но и Российской Федерации в целом.

Библиографический список

1. Межеловский Н.В., Смыслов А.А. Недр России. Т. 2: Экология геологической среды. СПб.: Горный ин-т., 2002. 662 с.
2. Целюк И.Н. Особенности вещественного состава хвостов из хвосто-

хранилища ООО «Соврудник» // Разведка и охрана недр. 2010. № 9. С. 37–41.

3. Целюк Д.И. Перспективы золотоносности лежалых хвостов ЗИФ Центральной Сибири // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. М., 2011. С. 81–83.

4. Дементьев В.Е., Дружина Г.Я., Гудков С.С. Кучное выщелачивание золота и серебра. Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2004. 352 с.

References

1. Mezhelovskiy N.V., Smyslov A.A. Earth Interior. [Nedra Zemli]. V. 2. Ecology of geological environment. St-Ptb.: Mining Inst., 2002, 662 p.

2. Tseljuk I.N. Features of mineral composition of tailings at storage of JSC «SovRudnik». [Osobennosti veshchestvennogo sostava khvostov iz khvostokhranilischa ООО «SovRudnik». Zhurnal Razvedka i Okhrana Nedr – J. Prospecting and Protection of Earth Interior. 2010, no. 9, pp. 37–41.

3. Tseljuk D.I. Prospects of gold-bearing potential of old tailings at ZIF of Central Siberia. [Perspektivy zolotonosnosti lezhalyh hvostov ZIF Centralnoy Sibiri]. Sbornik: Tehnologii osvoenia nedr – In: Technologies of mineral resource development. Moscow, 2011, pp. 81–83.

4. Dementjev V.E., Druzhina G.Ya., Gudkov S.S. Heap leaching of gold and silver. [Kuchevoe vuschelachivanie zolota I serebra]. Irkutsk: «IrGiredMet», 2004, 352 p.

Рецензент кандидат технических наук, профессор
Иркутского государственного технического университета О.А. Пунишко

УДК 622.243.272

ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ, РЕАЛИЗУЮЩИХ РАЗНЫЕ ПРИНЦИПЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ СТВОЛОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

© Н.А. Буглов¹, А.В. Карпиков², П.С.Гриб³

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассмотрена зависимость стабилизирующей способности технических средств направленного бурения от горно-геологических условий. Определено влияние носителей анизотропии на выбор принципов стабилизации направления стволов скважин и компоновок нижней части бурильной колонны.

Библиогр. 6 назв. Табл. 2.

Ключевые слова: направленное бурение; геологоразведочная скважина; искривление; анизотропия.

EFFECTIVE OPERATION OF TOOLS FOR DIRECTIONAL DRILLING TO STABILIZE DIRECTION OF EXPLORATION BOREHOLES

N.A. Buglov, A.V. Karpikov, P.S. Grib

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article offers the study on the dependence of stabilizing capacity of directional drilling tools on mining and geological conditions. Besides, it reports the influence of anisotropy carriers on selecting principals to stabilize borehole directions and assembling special drilling tools of the drilling string lower part.

6 references. 2 tables.

Key words: directional drilling; borehole; curve; anisotropy.

Проведенный нами анализ результатов практического применения в различных геологических организациях широкого комплекса технических средств борьбы с естественным искривлением скважин при алмазном бурении [1, 4–6 и др.] показал, что:

- всегда имеет место значительный разброс в их стабилизирующей способности по отношению друг к другу в одних и тех же горно-геологических условиях;
- уменьшение интенсивности естественного искривления скважин на одном и том же участке работ при исполь-

зовании нескольких отличных по конструктивным параметрам компоновок осуществляется с разными технико-экономическими показателями;

- коэффициент стабилизирующей способности (отношение интенсивности искривления при применении обычного колонкового набора к интенсивности искривления при эксплуатации опытного снаряда или способа каждого отдельного технического средства) является величиной непостоянной и зависит от горно-геологических условий место рождения;

- в настоящее время отсутствуют

¹Буглов Николай Александрович, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой нефтегазового дела, тел.: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

Buglov Nikolay, Candidate of technical sciences, Pro-Rector for Academic Affairs, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business, tel.: 8(3952) 405090, e-mail: dis@istu.edu

²Карпиков Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, тел.: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

Karpikov Alexander, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business, tel.: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

³Гриб Петр Сергеевич, старший преподаватель кафедры нефтегазового дела, тел.: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

Grib Petr, Senior Lecturer of the Department of Oil and Gas Business, tel.: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

практические рекомендации по определению областей эффективного использования компоновок или способов, реализующих разные принципы стабилизации направления стволов скважин.

Данные выводы убедительно подтверждаются результатами (табл. 1) наших многолетних работ по управлению кривизной скважин на Пограничном флюоритовом месторождении при эксплуатации комплексов КССК-76 [1].

Геологический разрез участка месторождения, на котором проводились исследования, был сложен крутопадающими, перемежающимися породами VII-XI категории по буримости – сланцами различного состава, порфиритами, грейзенами, грейзенезированными гранитами, брекчиями и флюоритовой рудой.

Интенсивное искривление стволов скважин (6–15 градус/100 м) происходило в интервалах, представленных сланцами, мощность которых изменялась от 10 до 420 м. В других породах этот показатель составлял 1–1,5 градус/100 м.

Авторами совместно с технологической службой Артемовской экспедиции и ОМПНТ ГГП «Приморгеология» были апробированы в большом объеме практически все приемлемые для комплекса КССК-76 технические средства и способы снижения интенсивности естественного искривления скважин. Результаты этих работ приведены в табл. 1, из которой видно, что:

- компоновки, реализующие разные принципы стабилизации направления стволов скважин, в одних и тех же горно-геологических условиях имеют

Таблица 1
Технические показатели применения технических средств и способов снижения интенсивности естественного искривления скважин на Пограничном месторождении

№ п/п	Техническое средство (способ) снижения интенсивности естественного искривления скважин	Средние параметры			
		Механическая скорость бурения, м/ч	Длина цикла, м	Проходка на коронку, м	Интенсивность искривления по полному углу, град/100 м
1	Колонковый набор КССК-76	1.64	1.30	20.22	6.5
2	УБТР-73+ КССК-(3 м)	1.82	1.52	21.20	4.0
3	Центрированные колонковые трубы КССК-76Ц	1.50	1.65	20.22	1.6
4	Предварительно деформированные колонковые трубы КССК-76Д	1.65	1.50	20.22	2.5
5	Несимметричные алмазные коронки (по а.с. №1681598)	2.15	2,00	22.62	1.6
6	Профилированные колонковые трубы КССК-76П	1.64	1.65	20.22	3.9
7	Жесткие компоновки КССК –76 ЖСК	1,45	1,5	20	2,4
8	Использование технологических приемов (снижение в 2 раза осевого усилия)	0,75	1,3	13,5	3,3

* Цены на 01.07.91 г.

значительный разброс в стабилизирующей способности по отношению друг к другу;

- конструктивные параметры стабилизирующих компоновок оказывают заметное влияние на производительность бурения;

- в горно-геологических условиях Пограничного месторождения наиболее эффективными являются несимметричные алмазные коронки, гарантирующие в процессе бурения минимально возможное отклоняющее усилие на своих подрезных алмазах, обусловленное действием технико-технологических факторов.

Предварительно деформированные колонковые наборы, обеспечивающие одинаковый с несимметричными коронками принцип стабилизации, имели в вышеописанных условиях неоптимальные параметры, в силу чего результативность их применения оказалась ниже ожидаемых.

Компоновки, снижающие интенсивность естественного искривления скважин за счет центрации и повышения жесткости своего поперечного сечения (КССК-76 ЖСК, КССК-76Ц и КССК-76П), оказались в данной ситуации заметно менее эффективными, чем бессекторный алмазный породоразрушающий инструмент.

В табл. 2 представлены результаты использования некоторых известных технических средств на ряде месторождений России и СНГ, отличающихся друг от друга особенностями геологического разреза. При этом все геометрические размеры компоновок (ТСБИС, ЭКТ, ЖК-5) оставались неизменными и соответствовали конструкторской документации разработчиков, а параметры режимов бурения поддерживались в пределах, рекомендуемых правилами их эксплуатации.

Приведенный в табл. 2 материал убедительно свидетельствует о том, что для каждой компоновки существуют благоприятные геологические разрезы,

в которых её стабилизирующая способность максимальна.

Анализ изложенной выше информации позволяет сделать вывод: в настоящее время как со стороны ученых, так и со стороны специалистов-производственников отсутствуют какие-либо конкретные практические рекомендации по определению областей эффективного применения компоновок или способов, реализующих разные принципы снижения интенсивности естественного искривления скважин, которые бы изначально учитывали структурно-текстурные особенности строения месторождения и физико-механические свойства пород.

Технико-технологическая сложность обеспечения проектной плотности разведочной сети при исследовании недр на каждом конкретном участке работ зависит от неоднородности геологического разреза в целом или числа носителей анизотропии, к основным из которых мы относим перемежаемость слагающих его пород и угол встречи последних с осью стволов скважин.

При этом перемежающиеся породы могут быть изотропными, изотропными и анизотропными, анизотропными. К последним, согласно трудам В.В. Ржевского [3], относятся те из них, которые имеют хотя бы один из перечисленных ниже факторов:

- преимущественную ориентацию зерен (кристаллов) одного и того же минерала (флюидальность); линейное распределение или преимущественную ориентацию пор или плоскостей ослабления (рассланцеватость, кливаж);

- линейное распределение различных минералов (слоистость);

- линейное распределение зерен одного минерала по размерам (сезонная слоистость).

Величина интенсивности естественного искривления в данных породах обуславливается значениями угла встречи оси скважины с плоскостью их наименьшего сопротивления разруше-

Таблица 2

Зависимость величины стабилизирующей способности некоторых технических средств от горно-геологических условий их применения

№ п/п	Техническое средство или метод снижения интенсивности искривления	Объект работ (организация, регион)	Диаметр бурения, мм	Стабилизирующая способность
1	Техническое средство борьбы с искривлением скважин (ТСБИС)	Октябрьское железорудное месторождение (Иркутская область)	76	1,5
		Коршуновское железорудное месторождение (Иркутская область)	76	1,85
		Холоднинское полиметаллическое месторождение [25] (Республика Бурятия)	76	3,5
2	Эллипсные колонковые трубы (ЭКТ)	п/я В-8788[6] (Республика Казахстан)	59	2,35
		Майское золоторудное месторождение (Магаданская область)	59	1,73
3	Жесткие компоновки ЖК-5 комплекса ССК-59	Оловорудные месторождения Комсомольского района (Хабаровский край)	59	1,9
		Свинцово-цинковое месторождение «Зимнее» (Приморский край)	59	2,23
		Свинцово-цинковое месторождение «Восток-2» (Приморский край)	59	1,83
		Красногорское полиметаллическое месторождение (Приморский край)	59	1,5
		Семипалатинская ГРЭ [19] (Республика Казахстан)	59	6,25

нию и показателя анизотропии по буримости.

Из сказанного следует, что трудоемкость технико-технологических мероприятий по поддержанию заданного направления стволов скважин в анизотропном массиве зависит от числа геологических причин, вызывающих их искривление, или носителей его анизотропии (термин предложен М.В. Рацем [2]), которые перечислены выше, а также от количественных показателей последних:

- разности в механических свойствах контактируемых пород;
- показателя анизотропии по буримости каждой отдельной породы;
- частоты перемежаемости пород.

Количественные показатели носителей анизотропии массива пород, если они известны, перед началом геолого-разведочных работ позволяют нам сделать только предположение о том, каким будет значение интенсивности естественного искривления – высоким, средним или незначительным, а не о

том, какое техническое средство будет наиболее результативным по удержанию первоначального направления стволов скважин в данных условиях.

Превалирующее влияние какого-либо одного или нескольких носителей анизотропии в конкретном геологическом разрезе обуславливает, по мнению авторов, тип его носителя анизотропии в целом, что необходимо учитывать при выборе принципов стабилизации направления стволов скважин, т.к. каждому из них соответствует свой механизм предупреждения естественного искривления.

Определение принципа стабилизации всей скважины или отдельных ее интервалов позволит в свою очередь выбрать тип компоновки наиболее эффективно его реализующий, конструктивные параметры которой должны быть оптимальными для данных технико-технологических условий.

Анализ большого фактического материала по естественному искривлению скважин и горно-геологическим условиям их бурения на многих рудных месторождениях Восточной Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока, Якутии, Камчатки и Приморья позволил авторам выделить три основных типа носителя анизотропии их массива пород.

Носителем анизотропии является частая перемежаемость существенно отличающихся по механическим свойствам практически изотропных наклоннозалегающих пород. В этом случае в местах пересечения скважинами контактов пород разной твердости их стволы получают значительную локальную девиацию (1–4 градус). Величина интенсивности естественного искривления переменна по глубине скважин, прямо пропорциональна частоте перемежаемости пород, разности в механических свойствах, значению осевого усилия и обратно пропорциональна диаметру бурения. Переход на смежный меньший диаметр бурения однотипными снарядами приводит к увеличению кривизны ствола скважины в 1,5–2,1 раза (участок

«Дугуйсин» Байкальского железорудного месторождения, ряд минерализованных участков Забайкалья и др.).

Носителем анизотропии служит частая перемежаемость по буримости анизотропных в различной степени пород, не имеющих горизонтального залегания. Интенсивность естественного искривления также переменна по глубине скважин, прямо пропорциональна частоте перемежаемости пород, значению показателя анизотропии по буримости каждой из них, разности в их механических свойствах и значению осевого усилия. Ее средняя величина изменяется в пределах от 3 до 23 градус/100 м, достигая на отдельных интервалах ствола скважины 30 градус/100 м, и не столь ощутимо, как в первом случае, зависит от диаметра алмазной коронки. Переход на последующий меньший диаметр породоразрушающего инструмента однотипного снаряда (например, с 76 на 59 мм) способствует росту интенсивности естественного искривления максимум на 75% (золоторудное месторождение «Сухой Лог», Нежданское золоторудное месторождение, свинцово-цинковые месторождения «Зимнее» и «Восток-2», месторождения Мамско-Чуйского слюдоносного района, Холодинское колчеданно-полиметаллическое месторождение, Горкинское железорудное месторождение и др.).

Носителем анизотропии является перемежаемость незначительно отличающихся по механическим свойствам практически изотропных наклоннозалегающих пород с прослоями различной мощности анизотропных пород. Величина интенсивности естественного искривления, также переменная по глубине скважины, в перемежающихся породах составляет 1,0–2,0 градус/100 м, в анизотропных – 3–15 градус/100 м и мало зависит от диаметра алмазных коронок однотипных снарядов при бурении в этих прослоях. Смена диаметра бурения на следующий приводит к изменению кривизны ствола скважины максимум на 40% в интервалах анизо-

тропных пород (железородные месторождения «Октябрьское», «Капаевское» и «Коршуновское», оловородное месторождение «Фестивальное», флюоритовое месторождение «Пограничное», зоны «Ленинградская» и «Нежданная» Комсомольского оловородного района и др.).

Тип носителя анизотропии, как следует из вышеизложенного, отражает особенности механизма естественного искривления скважины по ее глубине и служит индикатором выбора технических средств и способов управления кривизной ее ствола на каждом интервале.

Так, при бурении скважин в геологических разрезах, характеризующихся наличием анизотропии первого типа, стабилизацию направления их стволов, исходя из механизма естественного искривления, можно эффективно осуществлять путем применения компоновок, которые одновременно:

- обладают максимально возможной жесткостью поперечного сечения;
- гарантируют устойчивый вид движения призабойного участка бурильной колонны в режиме Φ_1 (прямая прецессия) в конкретных горно-геологических и технико-технологических условиях;
- обеспечивают равномерно возможное разрушение забоя под торцом алмазной коронки, представленного контактами пород с разными механическими свойствами;
- имеют минимально допустимый радиальный зазор в стволе скважины.

Стабилизирующие средства, отвечающие этим требованиям, необходимо постоянно включать в компоновку нижней части бурильной колонны.

При строительстве геологоразведочных скважин в массивах пород, имеющих второй тип носителя анизотропии, решение поставленной задачи усложняется тем, что в этой ситуации имеем два постоянно меняющихся друг друга по глубине механизма естественного искривления их стволов. Так, с од-

ной стороны, при проходке каждой из анизотропных по буримости пород искривление происходит за счет неравномерного расширения ствола скважины и его постоянной девиации в сторону линии их наименьшего сопротивления разрушению с интенсивностью, пропорциональной отклоняющему усилию, реализованному на породоразрушающем инструменте технико-технологическими факторами.

С другой стороны, при пересечении контакта анизотропных пород разной буримости ствол скважины приобретает существенное локальное искривление вследствие неравномерного разрушения забоя под торцом алмазной коронки. Более сложный механизм искривления скважин в геологических разрезах с носителем анизотропии второго типа по сравнению с первым выдвигает дополнительные требования к конструктивным параметрам технических средств или способам стабилизации направления их стволов, основными из которых являются:

- реализация близкой к нулю отклоняющей силы на боковой поверхности матрицы алмазной коронки при конкретных технико-технологических условиях;
- обеспечение максимально возможных механической скорости бурения и длины рейса (цикла).

При сооружении геологоразведочных скважин в разрезах с данным типом носителя анизотропии обязательным является постоянное включение в состав нижней части бурильной колонны технических средств направленного бурения, отвечающих вышеприведенным требованиям.

Представленный материал убедительно подтверждает вывод авторов о том, что компоновки, эффективно работающие в одних условиях, малорезультативны в других, если меняется тип носителя анизотропии массива пород.

При бурении скважин в разрезах, характеризующихся наличием носителя анизотропии пород третьего типа, ста-

билизацию направления их стволов осуществляют, как правило, только в интервалах, представленных анизотропными прослоями (сланцами, аргиллитами, алевролитами, песчаниками и др.). В данных породах применяемая компоновка должна одновременно:

- реализовать на алмазной коронке отклоняющую силу, близкую к нулю;
- обеспечивать максимально возможные механическую скорость бурения и длину рейса (цикла).

В случае необходимости поддержания проектного направления стволов глубоких скважин, в интервалах перемежающихся и незначительно отличающихся по буримости пород, следует использовать технические средства направленного бурения для месторождений, имеющих первый тип носителя анизотропии.

Таким образом, горно-геологические особенности строения месторождения, определяющие тип носителя анизотропии его массива пород, являются основой для выбора принципов стабилизации направления стволов скважин, а также компоновок или способов, эффективно их реализующих. Практическое использование предложенных рекомендаций позволит в производственных условиях оперативно решать поставленные задачи с максимальным экономическим эффектом.

Библиографический список

1. Буглов Н.А., Карпиков А.В., Скрипченко И.А. Совершенствование технологии бурения направленных скважин комплексами КССК и ССК в сложных геологических условиях Приморья. Отчет (заключительный). № ГР 01880057715. Иркутск: Изд-во ИПИ, 1992. 91 с.
2. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М.: Недра, 1968. 107 с.
3. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.
4. Страбыкин И.Н. Управление процессом искривления разведочных скважин малых диаметров: дис. докт. техн. наук. М.: МГРИ, 1987. 315 с.
5. Сулакшин С.С., Боярко Ю.Л., Рязанов В.И. и др. Искусственное искривление скважин коронками специальной геометрии в анизотропных породах // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1977. №6. С. 38–41.
6. Суслов Г.В. Оценка влияния формы профиля торца импрегнированной коронки на ее износостойкость и интенсивность естественного искривления скважин: дис. канд. техн. наук. М.: МГРИ, 1985. 133 с.

References

1. Buglov N.A., Karpikov A.V., Skripchenko I.A. Upgrading drilling technology of directional wells by instruments KССК and ССК under complicated geological conditions of Primorye. [Sovershenstvovanie tehnologii burenia napravlennyh skvazhin kompleksami KССК i ССК v slozhnyh geologicheskikh usloviyah Primorya]. Otchet (zakljuchitelnyy) – Final report. No. ГР 01880057715. Irkutsk: ISTU, 1992, 91 p.
2. Rats M.V. Heterogeneity of rocks and their physical properties. [Neodnorodnostj gornyh porod i ih fizicheskikh svoystv]. Moscow: Nedra, 1968, 107 p.
3. Rzhhevskiy V.V., Novik G.Ya. Basics of rock physics. [Osnovy fiziki gornyh porod]. Moscow: Nedra, 1984, 359 p.
4. Strabykin I.N. Managing the process of distortion of exploration wells of small diameter. [Upravlenie processom iskrivlenia razvedochnyh skvazhin malyh diametrov]. Doct. Dissert. Tech. Sci., Moscow: MGRI, 1987, 315 p.
5. Sulakshin S.S., Boyarko Yu.L., Ryazanov V.I et al. Artificial hole distortion by bits of special geometry in anisotropic rocks. [Iskusstvennoe iskrivlenie skvazhin koronkami specialjnoy geometrii v anisotropnyh porodah]. Izvestia VUZov: Geologia i razvedka – Bull. Izvestia of

Universities: geology and exploration. 1977, no. 6, pp. 38–41.

6. Suslov G.V. Assessment of effect of impregnated bit form on its wear life and intensity of natural hole distortion. [Ocenka vlijania formy impregirovannoy skvazhiny on eje iznosostoikostj I inten-

sivnostj estestvennogo iskrivlenia skvazhin. Doct. Dissert. Tech. Sci., Moscow: MGRI, 1985, 133 p.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Иркутского государственного технического университета В.Г. Заливин

УДК 622. 243

КРИТЕРИЙ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

© В.В. Нескоромных¹, П.С. Пушмин²

¹Сибирский федеральный университет, 660025, Россия, г. Красноярск, проспект газеты «Красноярский рабочий», 95.

²Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Предложен и обоснован критерий оптимизации процесса алмазного бурения скважин, устанавливающий связь крутящего момента и углубки за один оборот и отражающий закономерную тенденцию развития методов разрушения горных пород при бурении. Критерий может быть использован при разработке алгоритма управления процессом алмазного бурения.

Библиогр. 4 назв. Ил. 1.

Ключевые слова: алмазное бурение; эффективность бурения скважин; критерий оптимизации; разрушение горных пород.

CRITERION TO SELECT OPTIMAL CONDITIONS FOR ROCK DESTRUCTION WHILE DRILLING

V.V. Neskromnykh, P.S. Pushmin

Siberian Federal University, 95 Gazety "Krasnoyarsky Rabochiy" Ave., Krasnoyarsk, 660025, Russia.

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The criterion to optimize diamond drilling of wells is proposed by the authors. It is proposed to set up connection of rotational moment and deepening per a turn, to reflect the tendency in developing rock destruction methods in drilling operations. The criterion can also be employed in working out the algorithm targeted to control diamond drilling.

4 references. 1 figure.

Key words: diamond drilling; efficiency of drilling holes; optimization criterion; rock destruction.

В работах по вопросам оптимизации процесса бурения рекомендуется комплексная оценка оптимальности процесса бурения следующего вида [1, 4]:

$$\frac{N}{v_m} \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Критерием (1) учитываются два основных показателя: затраты мощности на бурение скважины N и механическая скорость бурения v_m .

Критерий $N/v_m \rightarrow \min$ по своей сути близок к требованиям идеального конечного результата (ИКР) работы технической системы, известной из теории

решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанной в своей основе Г.С. Альтшуллером, так как отражает требования к достижению максимальной механической скорости проходки скважины, то есть максимального результата при минимальных затратах энергии на процесс бурения [3].

Следует учесть, что при механическом вращательном бурении основная доля затрат энергии (порядка 80–90%) приходится на работу бурильной колонны и подачу через колонну очистного агента, и только малая доля энергии расходуется собственно на разрушение горных пород на забое. В этом случае

¹Нескоромных Вячеслав Васильевич, доктор технических наук, профессор, тел.: 8(3952) 405737, e-mail: TTR_drill@istu.irk.ru

Neskromnykh Vyacheslav, Doctor of technical sciences, Professor, tel.: 8(3952) 405737, e-mail: TTR_drill@istu.irk.ru

²Пушмин П.С., кандидат технических наук, доцент, тел.: 8(3952) 405737, e-mail: pps@istu.irk.ru

Pushmin P.S., Candidate of technical sciences, Associate Professor, tel.: 8(3952) 405737, e-mail: pps@istu.irk.ru

становится понятным, что поиск оптимальных условий для механического бурения должен быть в первую очередь ориентирован в направлении оптимизации затрат энергии на работу бурильной колонны и только во вторую очередь может быть учтен процесс собственно разрушения породы на забое. Тем не менее, учитывая современные возможности буровых технологий, а именно использование забойных приводов и применение неразъемных колонн типа «колтюбинг», следует отметить существенную минимизацию затрат энергии на работу бурильной колонны.

Рассмотрим возможности оптимизации процесса бурения с точки зрения соответствия требованиям идеального конечного результата (ИКР) [3].

Учитывая, что мощность на бурение определяется из зависимости

$$N = M_{кр} \cdot \omega,$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м; ω – частота вращения, мин⁻¹, получим зависимость для расчета критерия управления (1) в несколько ином аналитическом виде:

$$W = \frac{M_{кр} \cdot \omega}{v_m} \Rightarrow \min.$$

Основным преимуществом критерия W является возможность его измерения через параметры крутящего момента и механической скорости бурения. Этот критерий может использоваться для выбора породоразрушающего инструмента или даже классификации горных пород по буримости.

Крутящий момент определяется из зависимости

$$M_{кр} = R \cdot F_m, \quad (2)$$

где R – средний радиус торца коронки, м; F_m – тангенциальное суммарное усилие на торце инструмента, определяемое как суммарное усилие сопротивления резанию-скалыванию породы, Н.

Тангенциальное суммарное усилие сопротивления резанию-скалыванию породы F_m (рисунок) определится из формулы [2]:

$$F_m = \frac{\sigma_{ск} h a N_p K}{\sin \gamma_{ск}} + P f, \quad (3)$$

где h – глубина внедрения резца в породу, м;

a – ширина внедрившейся в породу части резца, м;

$\sigma_{ск}$ – предел прочности породы на скалывание, Па;

N_p – число работающих на разрушение породы резцов на торце инструмента;

f – коэффициент трения торца инструмента о породу;

P – осевая нагрузка, Н;

K – коэффициент уширения борозды разрушения ($K=1$ для пластичных горных пород, $K=1,5$ – для хрупких горных пород);

$\gamma_{ск}$ – угол скалывания породы перед резцом, град.

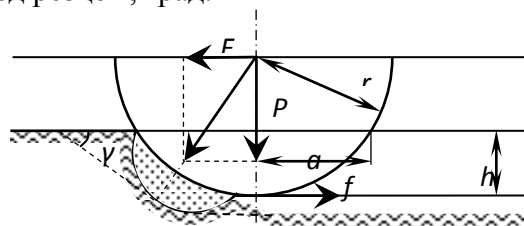


Схема для исследования процесса разрушения горной породы алмазным резцом радиусом r

Ширина внедрившейся в породу части резца a определится из зависимости

$$a = \sqrt{dh}, \quad (4)$$

где d – диаметр резца, м.

После подстановок (3) и (4) в формулу (2) получим зависимость для определения крутящего момента на забое скважины:

$$M_{кр} = R \left(\frac{\sigma_{ск} h \sqrt{dh} N_p K}{\sin \gamma_{ск}} + P f \right).$$

Таким образом, рост крутящего момента, достаточный для сохранения углубки за один оборот, достигается в основном повышением осевого усилия P , что приводит к росту глубины внедрения резца h (см. рис. 1).

Известно, что механическая скорость бурения определяется как произведение углубки за оборот $h_{об}$ и частоты вращения ω : $v_m = h_{об} \cdot \omega$. Поэтому критерий оптимизации «мгновенного характера», полученный из соотношения $N/v_m \rightarrow \min$, можно выразить следующим образом:

$$W = \frac{M_{кр}}{h_{об}} \Rightarrow \min.$$

Указанный критерий позволяет рассмотреть условия получения максимума углубки за оборот при минимуме крутящего момента на бурильной колонне при определенном значении площади забоя скважины. В этом случае возможно определение условий эффективной работы как бурильной колонны по минимуму величины крутящего момента, так и бурового инструмента по величине углубки за один оборот. В случае, если рациональная углубка за один оборот задана как величина постоянная, например, через параметр управления *RPI* компании *Boart Longyear* [4], критерий W может быть сориентирован на поиск условий эффективной работы бурильной колонны через минимум величины крутящего момента.

Учитывая, что углубка за оборот определяется как произведение глубины внедрения резца в породу h и числа работающих на разрушение резцов N_p : $h_{об} = h \cdot N_p$, получим формулу для расчета критерия W в следующем виде:

$$W = R \left(\frac{\sigma_{ск} \sqrt{dhK}}{\sin \gamma_{ск}} + \frac{Pf}{hN_p} \right). \quad (5)$$

Из зависимости (5) следует, что минимизация параметра оптимизации критерия W возможна при следующих условиях: $R \rightarrow \min$; $P \rightarrow \min$; $f \rightarrow \min$; $d \rightarrow \min$; $h \rightarrow \max$; $N_p \rightarrow \max$.

В то же время, глубина внедрения резца в породу h в первом слагаемом формулы (5) находится в числителе, а во втором – в знаменателе, то есть возникает некоторое противоречие, которое вполне устраняется тем, что в пер-

вом слагаемом степень влияния фактора $h - 1/2$, а во втором слагаемом – 1.

Следует учитывать, что в балансе затрат мощности и усилий первое слагаемое занимает не более 10–20% общих затрат, а второе – 80–90%, поэтому, отметив, что более желательны по условию оптимального критерия мелкорезцовые и импрегнированные коронки ($d \rightarrow \min$, $N_p \rightarrow \max$), представим искомым критерий оптимизации в более компактном виде:

$$W = R \frac{Pf}{hN_p}. \quad (6)$$

Из зависимости (6) следует, что при бурении более оптимальны буровые инструменты меньшего диаметра, так как затраты мощности на бурение в этом случае будут меньше, а достигаемые скорости бурения – более высокими.

В то же время, между параметрами h и N_p имеется противоречие, так как повышение числа резцов неизбежно приведет к уменьшению их размеров, а соответственно и снижению глубины внедрения резцов в породу. Выявленное противоречие является любопытным с точки зрения создания новых типов бурового инструмента и отражает, очевидно, уже реально назревающий переход от инструментов механического типа к другим типам буровых наконечников, способным реализовать разрушение породы не механическим, а иным, например, термомеханическим способом или плавлением горной породы, например, лазером. В этом случае минимизация критерия W становится возможна также за счет снижения и последующего устранения таких параметров, как осевое усилие и коэффициент внешнего трения, поскольку эти параметры не являются необходимыми при реализации немеханических способов разрушения горных пород.

Выводы

1. Обоснован критерий оптимизации процесса бурения скважин, устанавливающий связь крутящего момента

и углубки за один оборот инструмента. Предложенный критерий может быть использован при разработке алгоритма управления процессом алмазного бурения.

2. Анализ полученного критерия оптимизации процесса бурения, учитывающий минимизацию величины крутящего момента, реализуемого при бурении с возрастающим значением углубки за один оборот, отражает закономерную тенденцию развития методов разрушения горных пород при бурении, согласно которой идеальное соответствие предложенному критерию оптимизации процесса бурения может иметь не механическое разрушение горных пород при бурении, а иные, в частности, физико-химические способы породоразрушающего воздействия.

Библиографический список

1. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения / Б.И. Воздвиженский [и др.]. М.: Недра, 1990. 208 с.

2. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ: учеб. пособие. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. 297 с.

3. Нескоромных В.В., Рожков В.П. Методологические и правовые основы

инженерного творчества: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 304 с.

4. Нескоромных В.В., Пушмин П.С. Оптимизация в геологоразведочном производстве: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 161 с.

References

1. Vozdvizhenkiy B.I. Raising efficiency of diamond drilling. [Povyshenie effektivnosti kolonkovogo almaznogo burenia]. B.I. Vozdvizhenskiy, G.A. Vorobjev, I.K. Gorshkov [et. al.]. Moscow: Nedra, 1990, 208 p.

2. Neskromnykh V.V. Rock destruction in geological survey. [Razrushenie gornyh porod pri provedenii geologo-razvedochnyh rabot]. Uchebnik-Textbook. Krasnoyarsk: Publ.H. SFU, 2012, 297 p.

3. Neskromnykh V.V. Methodical and legal foundation of engineering creative work. [Metodologicheskie and pravovye osnovy inzhnernogo tvorchestva] Neskromnykh V.V., Rozhkov V.P. (Eds.). Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2011, 304 p.

4. Neskromnykh V.V. Optimization in geological survey. [Optimizacia v geologicheskom proizvodstve]. Uchebnik – Textbook by Neskromnykh V.V., Pushmin P.S., Irkutsk: Publ. H. ISTU, 2011, 161 p.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук, доцент Иркутского государственного технического университета В.В. Большаков

УДК 550.822.7

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН НА ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

© С.А. Сверкунов¹

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты исследования конструкции эксплуатационных скважин на Юрубчено-Тохомском месторождении, выявлены существенные недостатки принятой на месторождении конструкции скважин. Предложен технический и технологический вариант по оптимизации затрат при строительстве эксплуатационных скважин.

Библиогр. 5 назв. Ил. 1. Табл. 3.

Ключевые слова: эксплуатационное бурение; конструкция скважины; направление; техническая колонна; дебит скважины.

PRODUCTION WELL OPTIMIZATION IN YURUBCHEN-TOKHOMSKY FIELD

S.A. Sverkunov

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article offers results on production well design in the Yurubchen-Tokhomsky oil field. It reveals essential limitations of the well design employed in the field. The technical and technological proposal was made to optimize costs of constructing production wells.

5 references. 1 figure. 3 tables.

Key words: production drilling; well constructions; conductor; protecting string; well production.

При проектировании конструкции эксплуатационных скважины на нефть и газ необходимо учитывать большое количество факторов, основными из которых являются:

- экономичность,
- максимальный дебит нефти и газа,
- обеспечение требований безопасности в нефтяной и газовой промышленности.

По результатам исследования конструкций эксплуатационных скважин на Юрубчено-Тохомском месторождении выявлено, что его геологические условия позволяют пересмотреть действующие проектные решения. Разбуривание месторождения началось сравнительно недавно (2010 г.), поэтому сокращение затрат на начальном этапе разработки месторождения позволит оптимизировать в дальнейшем затраты на строительство скважин.

Типовая конструкция скважины при бурении эксплуатационных скважин на нефть и газ обычно предусматривает несколько операций при спуске обсадных колонн на разную глубину в зависимости от их назначения и с учетом геологических условий месторождения [5].

Направляющая обсадная колонна предназначена для перекрытия рыхлых четвертичных отложений, для предотвращения размыва устья и поглощения бурового раствора при бурении под кондуктор.

Кондуктор необходим для изоляции верхних водоносных горизонтов от нижележащих пластов, установки противовыбросового оборудования, перекрытия зон поглощения бурового раствора.

Промежуточная техническая обсадная колонна используется с целью

¹Сверкунов Сергей Александрович, аспирант кафедры нефтегазового дела, тел./факс: 8(3952) 526057, 89500505386, e-mail: dobro_75@mail.ru

Sverkunov Sergei, Postgraduate of the Department of Oil and Gas Business, tel./fax: 8(3952) 526057, 89500505386, e-mail: dobro_75@mail.ru

перекрытия зон, несовместимых по условиям бурения.

Эксплуатационная обсадная колонна проектируется с целью перекрытия газовой части продуктивного пласта.

Открытый ствол (горизонтальная часть) проектируется с целью вскрытия нефтяной части продуктивного пласта.

Исходя из этих условий, выбирается окончательная конструкция скважины.

В табл. 1 представлена типовая конструкция скважин, в которой отражены последние проектные решения, применяющиеся при бурении эксплуатационных скважин на Юрубчено-Тохомском месторождении.

В данной конструкции можно отметить несколько существенных недостатков:

- в условиях полного поглощения в интервалах направления и кондуктора возможно исключение направления с заменой его на шахтное направление, как это рекомендовалось ранее [3];

- техническая колонна в условиях Юрубчено-Тохомского месторождения не выполняет функцию *перекрытия несовместимых зон по условиям бурения*.

Эти недостатки могут быть ликвидированы путем внесения изменений в конструкцию скважин на Юрубчено-Тохомском месторождении при бурении под техническую и эксплуатационную колонну. Этот интервал бурения сложен доломитами и солями с пластовыми залежами долеритов (в ангарской, усольской, катангской свитах).

За время разработки данного месторождения (с 2010 г.) проект на строительство скважин несколько раз менялся (табл. 2).

Согласно первому проектному решению [1] глубина установки технической колонны предусматривалась до подошвы нижнебельской свиты (1500 м) *с целью перекрытия несовместимых по условиям бурения зон*, включая ангарскую, булайскую и верхнебельскую свиты. С этой конструкцией пробурено 7 скважин (вариант 1 в табл. 2).

После внесения изменений в проект [2] спуск технической колонны предусмотрен до глубины 2150 м до подошвы тэтэрской свиты *с целью перекрытия несовместимых по условиям бурения зон*, включая усольскую свиту и осинский горизонт. С данной конструкцией пробурено 3 скважины (вариант 2 в табл. 2).

Таблица 1

Типовая конструкция скважины на Юрубчено-Тохомском месторождении

Название колонны	Интервал по вертикали, м	Интервал по стволу, м	Плотность бурового раствора	Диаметр ствола колонны, мм	Интервал подъема тампонажного раствора, м
Направление	0 - 50	0 - 50	1,1	490/426	До устья
Кондуктор	0 - 360	0 - 360	1,1	394/324	До устья
Промежуточная колонна	0 - 2150	0 - 2695	1,05	295,3/245	До устья
Эксплуатационная колонна	0 - 2380	0 - 3140	0,96	219,1/178	До устья / Открытый забой
Открытый ствол (горизонтальный)	2380 - 2382	3140 - 4140	0,96	152,4	Не цементируется

При бурении скважин с двумя различными конструкциями в обоих случаях осложнений при вскрытии осинского горизонта не выявлено. При этом в первом варианте (при спуске технической колонны до подошвы нижнебельской свиты) вскрытие осинского горизонта происходило при плотности бурового раствора 1,04–1,06 г/см³. В дальнейшем при бурении нижележащих интервалов происходило снижение плотности до 0,96 г/см³ (при вскрытии кровли рифея) без проведения каких-либо работ по изоляции осинского горизонта.

Из этого можно сделать вывод, что

градиент пластового давления в осинском горизонте и усольской свите не соответствует заявленному в проекте (0,101 кг/см²/м). Даже при снижении плотности бурового раствора ниже 1 г/см³ осинский горизонт никак себя не проявляет. Следует отметить, что проектные данные по пластовому давлению в интервалах усольской свиты и осинского горизонта являются расчетными величинами, чем и объясняется данное несоответствие.

Основной же проблемой при бурении являются поглощения вплоть до

Таблица 2

Геологические характеристики проводки скважин на Юрубчено-Тохомской зоне

Индекс стратиграфического подразделения свита	Интервал, м	Конструкция скважины				Глубины спуска обсадных колонн	Градиент пластового давления	Градиент гидроразрыва пород					
							кгс/см ² на м	кгс/см ² на м					
1	2	3				4	5	6					
Эвенкийская	0 - 378					Направляющая колонна 426мм до 50м	0,095	0,176					
						Кондуктор 324мм до 360м							
Литвинцевская	378 - 623					Вариант 1 Техническая колонна 245мм до 1500м	0,096	0,151					
Ангарская	623 - 918						0,096	0,151					
Булайская	918 - 1008						0,093	0,15					
Верхнебельская	1008 - 1323						0,093	0,15					
Нижнебельская	1323 - 1573											0,094	0,151
	1573 - 1927											Вариант 2 Техническая колонна 245мм до 2150м	0,101
Усольская	Осинский горизонт						1927 - 2013	0,101	0,156				
	Подосинские долериты						2013 - 2053	0,098	0,198				
	2053 - 2113											0,101	0,156
Тэтэрская	2113 - 2160											0,093	0,15
Собинская	2160 - 2220						0,093	0,15					
Катангская	2220 - 2298						0,093	0,15					
Оскобинская	2298 - 2318						0,093	0,15					
Ванаварская	2318 - 2323						0,093	0,15					
Рифей газовая часть	2323 - 2348						Эксплуатационная колонна 178мм до 2380м	0,092	0,096				
Рифей нефтяная часть	2348 - 2380							0,092	0,096				
Рифей нефтяная часть	2380 - 2382											0,092	0,096
											Открытый ствол интервал по вертикали 2380-2382м		

катастрофических в интервалах подоси-
нских долеритов, катангской свиты и
риффея. Причина поглощений – ано-
мально низкие пластовые давления. По-
этому, наряду с традиционными мерами
по борьбе с поглощениями, необходимо
прибегать и к снижению плотности бу-
рового раствора.

Следовательно, основная задача
технической обсадной колонны не вы-
полняется. В интервале при бурении
под техническую и эксплуатационную
колонны нет несовместимых по бурению зон и данный интервал может быть пройден одним диаметром без спуска промежуточной обсадной колонны (рисунки).

Таким образом, бурение на рас-
творе плотностью 0,96 г/см³ возможно в
интервале 600–2380 м. То есть вместо
спуска двух обсадных колонн в данном
интервале (245 мм и 178 мм) достаточно
спустить одну обсадную колонну диа-
метром 245/219 мм

Предлагаемая конструкция скважины с учетом результатов исследования (табл. 3, рисунок) предусматривает исключить техническую обсадную колонну и на всем интервале использовать только эксплуатационную колонну.

Технологически есть возможность

бурить данный интервал в соответствии с первым проектным решением, то есть вплоть до катангской свиты (до 2220 м) поддерживать плотность бурового раствора 1,04-1,06 г/см³. Далее при бурении венда и риффея (газовая часть) снижать плотность до 0,96 г/см³. Хотя есть возможность бурения всего интервала 600–2380 м на плотности 0,96 г/см³. Данное техническое и технологическое решение не является нарушением правил безопасности (ПБ-03) в нефтяной и газовой промышленности, так как пластовые давления по пробуренным скважинам ниже, чем представленные в проектной документации [3].

Предлагаемая конструкция скважины в целом имеет преимущество перед традиционной конструкцией, хотя можно отметить как положительные, так и отрицательные моменты.

Положительными моментами предлагаемой конструкции скважины являются:

- уменьшение затрат на обсадную трубу диаметром 178 мм (порядка 15–20 млн руб);
- значительное уменьшение затрат на долота диаметром 152,4 мм;
- уменьшение сроков строительства скважины;

Таблица 3

Предлагаемая конструкция эксплуатационной скважины Юрубчено-Тохомском месторождении

Название колонны	Интервал глубины по вертикали, м	Интервал глубины по стволу, м	Плотность бурового раствора	Диаметр ствола колонны, мм	Интервал подъема тампонажного раствора, м
Шахтное направление	0 - 10	0 - 10	1,1	490/426	До устья
Кондуктор	0 - 600	0 - 600	1,1	394/324 (298,5)	До устья
Эксплуатационная колонна	0 - 2380	0 - 3140	0,96	295 / 245 (219)	До устья/ Открытый забой
Открытый ствол (горизонтальный ствол)	2380 - 2382	3140 - 4140	0,96	215,9 (190,5) / 146,1	Не цементируется

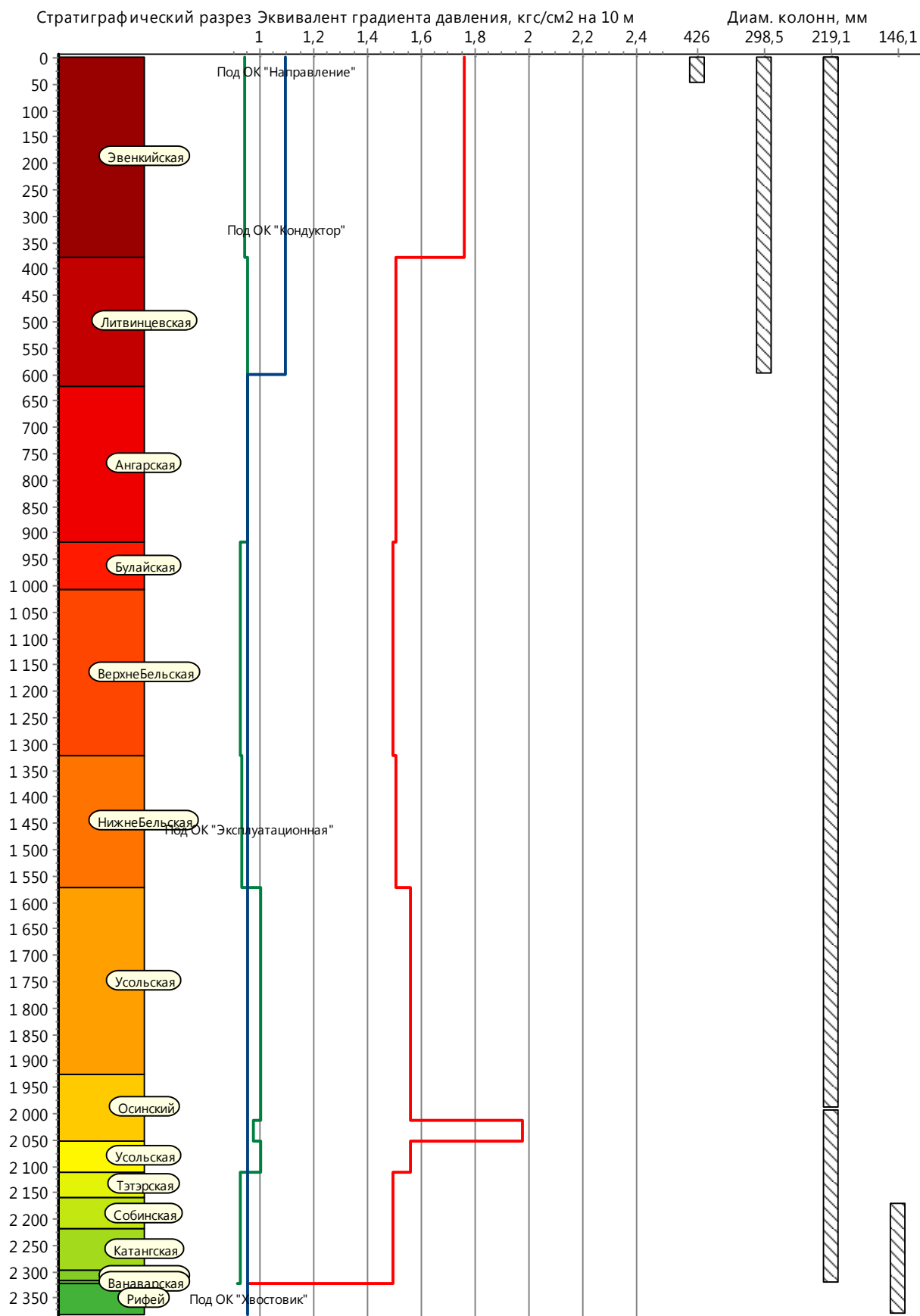


График совмещенных давлений

- исключение технической обсадной колонны из конструкции скважины приведет к увеличению конечного диаметра бурения горизонтального ствола (190,5–215,9 мм по сравнению с 152,4 мм), что даст возможность провести более широкий комплекс геофизических и гидродинамических исследований в скважине.

Отрицательными моментами предлагаемой конструкции скважины являются:

- увеличение затрат на долота диаметром 295 мм;

- увеличение глубины спуска кондуктора 324/298,5 мм;

- сложность внесения изменений в существующий проект.

Выводы. Предложенная конструкция значительно снижает затраты на строительство скважины и обеспечивает увеличение конечного дебита нефти, но при этом обладает одним существенным «минусом» – это сложность изменения действующего проекта, но сделать это в данной ситуации представляется целесообразным.

Библиографический список

1. Групповой рабочий проект № 653 на строительство эксплуатационных наклонно-направленных скважин с горизонтальным окончанием на первоочередном участке Юрубчено-Тохомского месторождения (кусты: к-3 (304, 581, 589), к-4 (579, 580, 588), к-6 (234, 533, 543, 558)). – Томск, 2010. – 338 с.

2. Дополнение № 1 к групповому рабочему проекту № 653 на строительство эксплуатационных наклонно-направленных скважин с горизонтальным окончанием на первоочередном участке Юрубчено-Тохомского месторождения (кусты: к-3 (304, 581, 589), к-4 (579, 580, 588), к-6 (234, 533, 543, 558)) со спуском промежуточной колонны в подошву тэтэрской свиты. – Красноярск, 2012. – 358 с.

3. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (ПБ 08-624-03). – Москва, 2003. – 168 с.

4. Сверкунов С.А., Сокольников Д.С. Необходимость изменения конструкции скважин в геологических условиях Восточной Сибири при добыче углеводородов. – Вестник НИИрГТУ, 2012. – №9 (68). – С. 72-76

5. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: Учеб.для вузов / Под ред. А.И. Спивака. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 509 с.

References

1. Work project № 653 for construction of operating inclined-directional holes with horizontal ending at the site of Jurubchen-Tokhomsy deposit (clusters nos.) [Rabochiy project № 653 na stroitelstvo expluatacionnyh naklonno-napravlennyh skvazhin s gorizontalnym okonchaniem na uchastke Jurubchen-Tohomsy mestorozhdenia]. Tomsk, 2010, 338 p.

2. Adendum № 1 to work project no. 653 with descending intermediate pipe string into the bottom of the Tetersky formation. [Dopolnenie № 1 k rabochemu proektu so spuskom promezhutochnoy kolonny v podoshvu Teterskoi svity]. Krasnoyarsk, 2012, 358 p.

3. Safety regulations in petroleum and gas industry. [Pravila bezopasnosti v nyftjanoy I gazovoy promyshlennosti]. Moscow, 2003, 168 p.

4. Sverkunov S.A., Sokolnikov D.S. Change of well construction necessitated by geological conditions in East Siberia in hydrocarbon production. [Neobhodimostj izmenenija konstrukcii skvazhin v geologicheskikh uslovijah Vostochnoy Sibiri pri dobyche uglevodorodov. Bulletin RI ISTU, 2012, no. 9 (68), pp. 72-76

5. Technology of drilling of oil and gas wells. [Tehnologia burenia neftjanyh I gazovyh skvazhin]. Uchebnik – Textbook. Ed. Spivak A.I. Moscow: «Nedra-Business Center», 2003, 509 p.

УДК 622.243.272

ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛОНЕННЫХ ПЕСЧАНИКОВ ВЕРХНЕЧОНСКОГО ГОРИЗОНТА НА ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ НЕФТИ НА ВЕРХНЕЧОНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕТОДОМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

© В.А. Качин¹, Е.О. Чертовских², А.В. Карпиков³

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены сведения о выносе соли (галита) из верхнечонского горизонта при добыче нефти на Верхнечонском месторождении естественным и механизированным методами, указаны отрицательные явления крепких рассолов на добычу нефти.

Библиогр. 4 назв. Ил. 1. Табл. 2.

Ключевые слова: засолонение; нефть; пластовая и технологическая воды; дебит нефти и воды.

HALITE SEDIMENTATION DURING OIL AND GAS EXTRACTION ON THE VERKHNECHONSK'S OIL AND GAS-CONDENSATE FIELD

V.A. Kachin, E.O. Chertowskich, A.V. Karpikov

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The evidence is provided on salt (halite) removal in oil recovery at the Verkhnechonsky field by natural and mechanized procedures. The negative effect of strong brines on oil production is described.

4 references. 1 figure. 2 tables.

Key words: reservoir water; injected water; reservoir; bottomhole pumping equipment; well; productivity index; skin effect; halite sedimentation.

Верхнечонский горизонт на Верхнечонском месторождении залегает в основании разреза осадочных пород на размытой поверхности докембрийского фундамента. Сложен он двумя пластами песчаников, разделенных глинистой перемычкой мощностью от 0 до 24 м. Мощность самого продуктивного горизонта увеличивается с севера-запада на юго-восток от 2,7 до 58 м. Коллекторские свойства песчаников довольно высокие: проницаемость до нескольких дарси, пористость 14–18%. Однако они ухудшаются [1] за счет глинизации (заполнения порового пространства глинистым субстратом), карбонатизации (наличия карбонатного цемента и вто-

ричного образования карбонатов) и засолонения (заполнения пор пород солью).

Первые два процесса довольно стабильны для осадочных пород, как по площади, так и по разрезу. Засолонение наблюдается участками, значительными по площади развития песчаников, и нередко поры их полностью заняты солью. На разрабатываемом месторождении, где применяется обратная семиточечная система заводнения для поддержания пластового давления (ППД), происходит размыв соли из песчаников, что приводит к химико-физическому изменению закачиваемого агента (состав, вязкость, плотность). Это изменяет и

¹Качин Виктор Афанасьевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, тел. 8(3952) 405278, e-mail: burenie@istu.edu

Kachin Wiktor, Candidate of geological sciences, an associate professor of oil and gas chair, phone: 8(3952) 405653, e-mail: dis@istu.edu

²Чертовских Евгений Олегович, аспирант кафедры нефтегазового дела ИрГТУ, тел. 8(3952) 405278, e-mail: cheevg@mail.ru

Chertowskich Ewgeni, Postgraduate student of oil and gas chair, phone: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

³Карпиков Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазового дела, тел. 8(3952) 405659, e-mail: karpikov@istu.edu

Karpikov Alexander, Candidate of technical sciences, an associate professor of oil and gas chair, phone: 8(3952) 405090, e-mail: burenie@istu.edu

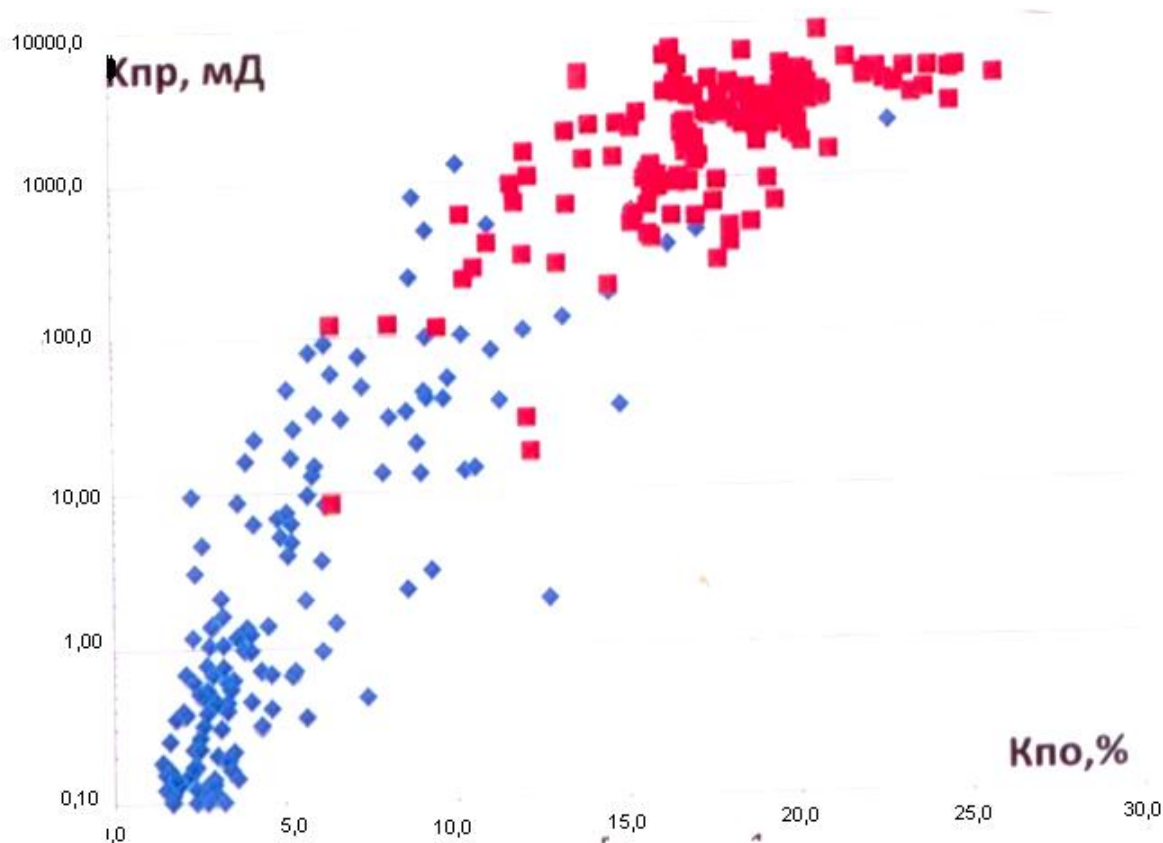
емкостно-фильтрационные свойства коллекторов, что подтверждается лабораторными анализами пород и закачиваемой и получаемой вместе с нефтью воды.

На рисунке отражено изменение емкостно-фильтрационных свойств песчаников до и после отмывки их от соли в эксплуатационных скважинах. Полученные данные позволяют сделать вывод, что не менее трети пор коллектора заполнено солью. Однако это не лишает песчаника способности обладать свойствами коллектора.

Степень заполнения песчаников солью определяется в эксплуатационных скважинах промыслово-геофизическими методами путем сравнения (вычитания) данных гамма-гамма-плотностного каротажа и нейтрон-нейтронного теплового каротажа. Первый дает количественное значение порового пространства, а

нейтрон-нейтронный тепловой каротаж – количество водородосодержания (или УВ). Ясно, что эти величины должны совпадать. В случае их разницы речь может идти о степени заполнения пород солью. Отсюда возникает возможность определять степень засоления коллекторов и, конечно, выделять участки незасоленных пород.

При эксплуатации залежей УВ в верхнечонском горизонте при использовании метода ППД появилась возможность определять количество выносимой соли из пласта самой нефтью и водой, пластовой и технической (закачиваемой в пласт для ППД). Это приводит к более четкому соотношению техногенного (во время поглощения при бурении и испытании скважин) и природного процессов заполнения пор коллектора солью. Рассмотрим это на примере скв. 1003, имеющей горизонтальный ствол в продуктивном горизонте, при



Зависимость пористости и проницаемости песчаников горизонта от степени их засоления:

■ ФЕС ВЧ – до отмывки; ◆ ФЕС ВЧ – после отмывки

вскрытии которого использовался солёный раствор, приготовленный на основе FLO-PRO, содержащего соль в количестве 35 кг/м^3 раствора. Общее поглощение промывочной жидкости при бурении составило 150 м^3 . В пласт попало 5250 кг соли. Во время глушения скважины при смене способа эксплуатации с фонтанного на механизированный (глубинный насос УЭЦН) раствором плотностью $1,05 \text{ г/см}^3$, содержащим 60 кг/м^3 соли KCl, общее поглощение жидкости составило 59 м^3 . Количество соли равняется $60 \times 59 = 3540 \text{ кг}$. Всего в пласте было размещено 8790 кг соли KCl [2,3].

Скважина №1003 введена в эксплуатацию в 2008 г. В табл. 1 приведены данные, согласно которым определялось количество солей, выносимых нефтью за период 2008–2012 г. Определение минимального содержания NaCl в пробах нефти проводилось по ГОСТ 21536-76 (СТ СЭВ 2879-81).

Более четырех лет из скважины получали безводную нефть.

Суммарное минимальное количество хлоридов, вынесенное нефтью из недр земных за все время работы скважины 1003, составляет более $30,5$ тонн, что в $3,5$ раза больше количества соли, доставленной в пласт буровым раствором при строительстве этой скважины.

Во многих продуктивных скважинах нефть поднимается на поверхность

вместе со свободной водой. Обводненность скважин на конец 2012 г. составила $4,4\%$. В сутки на месторождении добывается 24000 м^3 жидкости, в том числе 1056 м^3 воды. Для поддержания пластового давления в сутки в пласт закачивается около 25000 м^3 слабозасоленной до удельного веса $1,07 \text{ г/см}^3$ технической воды по 70 нагнетательным скважинам (на начало 2013 г.). Эта вода, проходя по пласту от нагнетательных скважин до добывающих, превращается в крепкий рассол.

В итоге мы имеем две разновидности получаемой с нефтью воды: классическая пластовая и засолоненная техническая. Они отличаются по составу и концентрации растворенных солей, что отражено в табл. 2.

Пластовая свободная вода скопилась в отрицательных структурных фермах подошвы верхнечонского горизонта («блюдцах»), имеющих незначительную площадь и запасы. Одной из скважин в процессе эксплуатации удалось извлечь всю эту воду на поверхность в объеме около 2000 м^3 , после чего скважина продолжает отдавать чистую (без воды) нефть.

Техническая вода при циркуляции по пласту растворяет соль (галит в основном) из пород, в малой степени принимая в себя остаточную и даже свободную пластовую воду, превращается

Таблица 1

Расчет выноса солей нефтью скв. 1003

Расчетный год/способ эксплуатации	Минимальное значение хлоридов в пробе, мг/дм^3	Среднесуточный дебит за расчетный год, $\text{м}^3/\text{сут.}$	Время работы скважины за расчетный год, с учетом текущих простоев, сут.	Вынос солей за расчетный год, кг
2008 г./ФОН	94,4	150	90	1274,4
2008 г освоение	15874	100	5	7937
2009 г./ФОН*	65,7	135	351	3113,2
2010 г./ФОН	78,9	115	349	3166,5
2011 г./ФОН	105	90	28	264,6
2011 г. ВНР	19747	125	3	7405
2011 г./ЭЦН	105	125	316	4147,5
2012 г./ФОН	92	100	348	3201,6
Итого:				30509,8

Примечание. ФОН – фонтанный метод эксплуатации; ЭЦН – механизированный метод эксплуатации скважины.

Состав твердого осадка проб пластовой и минерализованной воды системы ППД, отобранных из скважин

№ п/п	Ионы	Пластовая вода		Минерализованная вода системы ППД	
		мг*экв/л	мг/л	мг*экв/л	мг/л
1	Ca ⁺²	5761,5	115230	785,0	16014,0
2	Mg ⁺²	498,36	6080	325,0	3952
3	Общая жесткость	6259,86	121310	1110	19966
4	Na ⁺ +K ⁺	2240,4	61000	5152,1	123650,7
5	Cl ⁻	8361,41	296830	6250,8	221590,0
6	HCO ₃ ⁻	3,77	230	0,1	9,1
7	SO ₄ ⁻	3,12	150	11,189583	537,1
8	Сумма ионов	16868,56	479520	12524,19	365752,9
9	Плотность, г/см ³	1,3		1,2	

в крепкий рассол с удельным весом до 1,2 г/см³. Легко посчитать, какую массу твердого осадка она выносит на поверхность – около 385 т/сутки. Суммарно из пласта за сутки водою и нефтью извлекается более 400 т соли. Ясно, что засоление песчаников верхнечонского горизонта природное, а не технологическое.

Как же влияет на добычу нефти полученный крепкий рассол из закачиваемой в пласт пресной воды, используемой для ППД? Сегодня можно достоверно говорить о следующих отрицательных явлениях: 1) уменьшение депрессии, а следовательно, и дебита нефти; 2) образование соляных пробок по стволу скважины и даже в самом пласте (предположительно в призабойной зоне пласта – ПЗП); 3) увеличенная концентрация солей в самой нефти, что осложняет, видимо, процесс очистки и подготовки нефти для транспорта.

Уменьшение депрессии приводит к уменьшению суточного притока нефти ($\Delta P = aQ + bQ^2$ – основная формула притока) можно компенсировать применением механизированного метода добычи, комплексируя его с фонтанным, что и выполняется на «ВЧНГ». Однако это увеличивает расходы на добычу нефти с самого начала применения ППД и даже тогда, когда приходится извлекать на поверхность погребенную в «блюдцах» пластовую воду. Тем

не менее выход есть и очень простой. Образование соляных пробок в стволе скважины не только приводит к уменьшению притока нефти, но и создает дополнительные сложности при механическом удалении парафина со стенок подъемных труб (скребок просто останавливается на пробке, не достигая нужной глубины). Рост пробки приводит не только к уменьшению дебита скважин, но и к полному прекращению работы. Разрушить осевшую на стенках труб соль (в основном галит) можно промывкой пресной водой (лучше нагретой) или нефтью (менее эффективно).

Выпадение соли в ПЗП приводит не только к уменьшению дебита скважины, но и к полному прекращению ее работы. Метод восстановления работы скважины тот же, что и при образовании пробок в трубах. Однако в этом случае необходимо закачивать пресную воду в пласт, чтобы ликвидировать солевой скин-эффект. Промывка скважины пресной водой и особенно ее ПЗП несомненно повлечет за собой и образование эмульсии (прямой или обратной, нестойкой или очень стойкой). А это очень опасный процесс для добычи нефти.

Образование солевых пробок происходит из-за нарушения химического и термодинамического равновесия солевого состава пластовой воды и, видимо,

в значительной степени обусловлено процессом растворения солей из пород закачиваемой пресной водой и смешивания ее с пластовой водой. Такие явления наблюдались и ранее. Производители об этом знают – подобное встречалось при испытании скважин. В литературе это описано в [4].

Нельзя не предположить, что в пласте происходит перераспределение степени засоления коллекторов с образованием непроницаемых зон, где движение нефти и воды невозможно. Если это так, следует ожидать значительного снижения коэффициента извлечения нефти из-за искусственного создания целиков, оставленных в пласте УВ. В этом случае значительно уменьшится эффективность разработки залежей. Нам думается, что признаки этого начинают ощущаться уже сейчас.

При эксплуатации скважин на Верхнечонском месторождении, очень сложном по геологическому строению, необходимо в экстренном порядке решать следующие задачи:

- выяснить условия вытеснения нефти соленой водой и установить оптимальную концентрацию соли в вытесняющем агенте (воде);

- установить условия, при которых не будет нарушаться химическое и термодинамическое равновесие солевого состава пластовой и закачиваемой в пласт при ППД водой;

- рассмотреть и по возможности рассчитать радиус солевого скин-эффекта ПЗП и разработать методику его ликвидации, исключающую осложнение при последующей работе скважины;

- разработать эффективную методику удаления солевых пробок в стволе скважины, исключающую образование стойких эмульсий;

- провести анализ баланса добытой нефти, воды (пластовой и технологической), соли и постоянно вести контроль за этим балансом.

Без решения этих вопросов можно столкнуться с большими проблемами

при добыче нефти на месторождениях Восточной Сибири из засоленных песчаников (да и карбонатов тоже).

Библиографический список

1. Николаева Л.В. Исследование влияния соленасыщенных буровых растворов на проницаемость подсолевых газонефтяных пластов (на примере месторождений Восточной Сибири): автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1975. С. 29–30.

2. Николаева Л.В., Циулин В.М. Эффективность применения инвертных растворов для вскрытия продуктивных пластов на разведочных площадях Якутии // Совершенствование технологии бурения нефтяных и газовых скважин в Восточной Сибири и Якутии. Новосибирск: Наука, 1982. С. 47–52.

3. Буглов Н.А., Николаева Л.В., Качин В.А. и др. Резервы повышения эффективности поисков залежей углеводородов на Непском своде в Восточной Сибири // Вестник ИрГТУ. 2010. №7. С. 40–43.

4. Качин В.А., Чертовских Е.О., Карпиков А.В. Методика изучения засоления терригенных отложений кембрия на Непском своде // Вестник ИрГТУ. 2012. №10. С. 69–72.

References

1. Nikolaeva L.V. Study of influence of salt-rich drill mud solutions on permeability of sub-salt oil-and-gas horizons [Issledovanie vlijania sole-nasyschennyh burovyh rastvorov na pronicaemostj podsolevyh gazo-neftjanyh plastov v Vostochnoy Sibiri]. Avtoreferat Kand. Diss. - Absrtact Cand. Thes. Tech. Sci. Moscow, 1975, pp. 29–30.

2. Nikolaeva L.V., Tsiullin V.M. Efficiency of application of invert mud for stripping productive seams at exploration areas of Yakutia. [Effektivnostj primenenia invertnyh rastvorov dlja vskrytia produktivnyh plastov na razvedochnyh ploschadyah Yakutii]. Novosibirsk: Naika, 1982, pp. 47–52.

3. Buglov N.A., Nikolaeva L.V., Kachin V.A., Vaseneva E.G. Reserves of raising efficiency of searching hydrocarbon fields at the Nepa dome in East Siberia. [Reservy povysheniya effektivnosti poiskov zalezhey uglevodorodov na Nepskom svode v Vostochnoy Sibiri]. B'ulleten ISTU - Bulletin ISTU, no. 7, 2010, pp. 40–43.

4. Kachin V.A., Chertovskih E.O., Karpikov A.V. Technique to study salinization of Cambrian terrigenous sediments at the Nepa dome. [Metodika izucheniya zasoleniya terrigennykh otlozheniy kembria na Nepskom svode]. B'ulleten ISTU - Bulletin ISTU, no. 10, 2012, pp. 69–72.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Иркутского государственного технического университета В.Г. Заливин

УДК 662.243.063

СИНЕРГИЗМ БИОПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С БЕНТОНИТОМ

© А.Л. Неверов¹, А.В. Минеев², Л.С. Баталина³

Сибирский федеральный университет, 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.

Статья посвящена решению актуальной задачи по исследованию эффекта синергизма при взаимодействии биополимеров ксантанового типа с бентонитовыми глинами Таганского и Черногорского месторождений. Показан эффект синергизма при обработке 1% глинистых суспензий биополимерами ксантанового типа, что очень важно для повышения эффективности сооружения скважин в сложных геологических условиях комплексами ССК. Проведены лабораторные исследования буровых растворов, содержащих в своем составе 1 масс.% бентонита, стабилизированных биополимером.

Библиогр. 15 назв. Ил. 1. Табл. 4.

Ключевые слова: монтмориллонит; бентонит; ксантан; реологические свойства; эффективная вязкость.

BIOPOLYMER SOLUTION SYNERGISM WHEN INTERACTING WITH BENTONITE

A.L. Neverov, A.V. Mineev, L.S. Batalina

Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russia.

The article is devoted to researching the synergism effect in xanthan-type biopolymer interaction with bentonitic clays from the Tagansky and Chernogorsky fields. The synergism effect becomes apparent when processing 1% clay suspensions with xanthan-type biopolymers. This procedure raises performance of well construction by SSK complexes under complicated geological settings. The biopolymer-stabilized boring solutions containing 1 mass % bentonite were analyzed in laboratory conditions.

15 references. 1 figure. 4 tables.

Key words: montmorillonite; bentonite; xanthane; rheological behavior; effective viscosity.

Состояние вопросы. Анализ исследовательских работ и практический опыт авторов показывает, что наиболее полно требованиям бурения снарядами ССК удовлетворяют полимерные и полимербентонитовые промывочные жидкости с низким содержанием твердой фазы (3–7%). В качестве основного компонента безглинистых буровых растворов чаще всего используются биополимеры. Наибольшую популярность приобрели продукты на основе ксантана

[7], внеклеточного полисахарида бактерии *Xanthomonas Campestris*, выпускаемые под разными торговыми марками: Rhodopo1-23P, Zibozan, Flowzan, Flo-Vis и др. Уникальные реологические свойства водорастворимых полисахаридов во многом определяются свойствами упорядоченного строения их цепей в растворах. Такие высокополимеры имеют как первичную структуру, так и высшие пространственные структуры. Это обусловлено слабыми внутримоле-

¹Неверов Александр Леонидович, доцент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин, тел.: 8(391) 2062894, e-mail: neveroff_men@mail.ru

Neverov Alexander, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Well Drilling, tel.: 8(391) 2062894, e-mail: neveroff_men@mail.ru.

²Минеев Александр Васильевич, зав. кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин, тел.: 8(391) 2062895.

Mineev Alexander, Head of the Department of Oil and Gas Well Drilling, tel.: 8(391) 2062895.

³Баталина Лейла Султановна, доцент кафедры химии и технологии природных энергоносителей и углеродных материалов, тел.: 8(391) 2062879.

Batalina Leila, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technology of Natural Energy Carriers and Carbon Materials, tel.: 8(391) 2062879.

кулярными взаимодействиями, среди которых основную роль играют водородные связи и комплексообразование.

Основная цепь ксантана (кор) построена аналогично целлюлозе (1-4-β-гликопираноза), а в ответвлениях кора — трисахарид, состоящий из β-D-маннозы, β-D-глюкуроновой кислоты и α-D-маннозы. Остатки глюкуроновой кислоты и кислые пировиноградные группы придают молекулам ксантана анионный характер. Биополимеры выгодно отличаются от других полимеров, применяемых в бурении. Они характеризуются высокой загущающей способностью, а их растворы — сильно выраженными псевдопластичными свойствами при малой концентрации полимера и устойчивостью к солям. Молекулы ксантана в водных растворах склонны к самоассоциации, и с повышением ионной силы раствора или концентрации полисахарида формируется гель. Он представляет собой трехмерную сетку, образованную из двойных спиралей ксантана, связанных межмолекулярными водородными связями. Уже при концентрации полисахарида 0,1% вязкость системы возрастает на порядок, а при 1,0% — в водном растворе формируется гель.

Для растворов ксантана характерна полидисперсность. К такому заключению пришли [2] на основании исследования биополимера методами нефелометрического титрования и гел-хроматографии. Молекулярная масса ксантана варьирует в пределах 10^5 - 20×10^6 и зависит от ассоциации между отдельными цепочками ксантана, формирующими агрегаты. Наличие остатков жирных и урсонных кислот в составе биополимера обуславливает зависимость реологических свойств раствора от состава и концентрации солей и других ингредиентов. Именно с этим связана возможность путем подбора различных добавок создавать композиции с широким спектром свойств. Для ксантана характерно образование тиксотропных структур. Для повышения

прочности в водные растворы биополимеров вводят соли трехвалентного хрома, действие которых обусловлено способностью ионов хрома образовывать многоядерные комплексные соединения [2,7]. Авторы работы рекомендуют для увеличения вязкости растворов ксантана применять соли хрома, что способствует более экономному расходованию ксантана, но применение солей хрома небезопасно. По гигиеническим нормативам в воздухе рабочей зоны для хлорида хрома (по Cr^{+3}) ПДК = $0,01 \text{ мг/м}^3$, аэрозоль, 1 класс опасности, аллерген [1]. Синергизм растворов ксантана проявляется при взаимодействии с водонабухающими глинами, наблюдается увеличение вязкости и суммарного предельного напряжения сдвига выше аддитивного. Главное назначение ксантановой смолы в буровых растворах — повышать их вязкость и несущую способность. Карико [3] пришел к выводу, что несущая способность раствора полимера прямо связана с вязкостью раствора при низких скоростях сдвига. Результаты простого испытания на осаждение показывают, что по несущей способности ксантановая смола превосходит любой другой полимер из числа применяемых в буровых растворах. Ксантановая смола хорошо сочетается с веществами — понизителями фильтрации, такими как бентонит и КМЦ. Для приготовления таких растворов применяется бентонит, основным компонентом является монтмориллонит — слоистый минерал с расширяющейся решеткой. Монтмориллониты относительно легко диспергируются в воде вплоть до частиц чрезвычайно мелкого размера. Это особенно характерно для монтмориллонита, содержащего натрий в качестве обменного катиона. В этом случае частицы могут приближаться к размеру элементарной ячейки. Миленц и Кинг [4] показали, что введение небольших количеств глины в песок или алевролит сильно повышает их сопротивление сжатию и максимальная прочность таких смесей может превышать прочность песка, алевролита и

глины, взятых в отдельности. Добавка небольшого количества (5–10%) глины к смеси неглинистых минералов увеличивает их прочность, располагая при этом в следующем порядке: монтмориллонит, иллит, каолинит [5]. Натриевые монтмориллониты снижают водопроницаемость песка (при насыщении песка частицами минерала примерно на 30% он становится практически непроницаемым).

Использование комплексов ССК при бурении несвязных дисперсных грунтов с безглинистыми полимерными растворами осложняется тем, что стенки скважины оплывают при наращивании и извлечении керноприемной трубы. Практический опыт сооружения скважин в аналогичных условиях на одном из железорудных месторождений Хабаровского края показал, что применение импортных буровых станков, позволяющих производить наращивание буровой колонны без отрыва от забоя, не решает проблемы устойчивости за счет применения полимерных безглинистых растворов.

Особенно остро эта проблема возникает при бурении наклонных скважин комплексами ССК. В качестве примера можно привести сооружение наклонных скважин комплексами ССК-НҚ на одном из золоторудных месторождений Томской области (глубина скважин до 150 м). Применение безглинистых полимерных растворов с содержанием полимеров акрилового ряда с высокой молекулярной массой (18–20 млн да) 0,2–0,5 масс.% не позволило осуществлять бурение скважин без геологических осложнений, что в конечном итоге при-

вело к невыполнению подрядных работ в указанные сроки. Кроме этого, необходимо отметить актуальность сооружения скважин глубиной более 1000 метров (например, Норильский промышленный узел). По данным главного технолога ООО «Норильскгеология» применение промывочных жидкостей, обладающих эффектом тиксотропии (структурообразование в состоянии покоя), позволяет более успешно перебуривать тектонические нарушения. Вышеизложенное позволяет сформулировать цель данной исследовательской работы: исследование синергетического эффекта биополимерных растворов и монтмориллонитовых глин Таганского и Черногорского месторождений, наиболее доступных для потребителей Красноярского края.

Бентонитовые глины Таганского месторождения. Бентониты, используемые для приготовления растворов с низким содержанием твердой фазы, должны обеспечивать высокий выход раствора заданной вязкости из единицы массы глины. По данным Е.М. Сапаргалиева [13] выделенные в отдельный технологический тип щелочные и щелочноземельные бентонитовые глины Таганского месторождения, основные характеристики которых приведены в табл. 1, 2, позволяют получать порошки в природном виде с выходом бурового раствора более 18 м³/т (14 горизонт щелочных бентонитов) и 16–18 м³/т (в смеси 13+14 горизонты).

Анализ приведенных в табл. 1, 2 данных показывает, что монтмориллониты Таганского месторождения образуют незаконченный переходный ряд от

Таблица 1

Средний химический состав бентонитовых глин по горизонтам Таганского месторождения

Номер горизонта	Химический состав, содержание в весовых процентах										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	ППП	SO ₃
12	52,45	0,20	21,11	2,60	2,06	2,82	0,13	0,58	11,3	12,3	0,32
13	56,06	0,63	16,11	8,00	1,96	2,63	0,06	0,45	7,15	10,97	0,17
14	55,48	0,30	19,38	4,40	1,98	2,18	0,14	0,51	8,49	11,31	0,18

Примечание. PPP – потери при прокаливании.

Таблица 2

Обменная емкость монтмориллонитов по площади Таганского месторождения

Природные разновидности	Содержание обменных катионов в глинах, мг-экв/100 г сухого вещества				
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Сумма
Щелочные	35,4-43,0	4,0-5,2	26,2-28,3	20,1-24,3	85,7-101,8
Переходные	14,5-18,8	2,1-2,5	36,3-45,3	27,1-30,3	80,0-96,9
Щелочноземельные	4,0-14,5	2,1-2,5	45,0-55,3	30,0-35,3	81,1-107,6

чисто щелочно-земельных разновидностей до монтмориллонитов, в которых обменный катион натрия преобладает в отдельности над катионами кальция и магния, а по сумме уступает. Преобладание натриевого обменного комплекса в отдельности над кальциевым и магниевым компонентами повышает активность бентонитов и увеличивает выход из них бурового раствора в щелочных бентонитах Таганского месторождения. Кроме того, сумма катионов кальция превышает сумму катионов магния, что также положительно влияет на их свойства.

Исследование морфологии частиц естественных Таганских монтмориллонитов методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения показало, что натриевая форма монтмориллонита имеет редко встречающуюся удлиненную брусковидную желобкообразную форму. Размер желобков составляет 50–150 нм в поперечнике, длина 700–1000 нм. [15]. Такая форма глинистых частиц объясняется строением октаэдрического слоя монтмориллонитов и содержанием в них катионов Fe³⁺ и Mg²⁺, которые слишком велики (0,65Å⁰–0,67Å⁰), чтобы строго соответствовать решетке монтмориллонита. В результате монтмориллонитовые минералы со значительными замещениями этими ионами приобретают направленные напряжения, проявляющиеся в удлиненной щепковидной или игольчатой форме частиц. Д.Д. Котельников в [8] показал, что «удлинено-чешуйчатый» монтмориллонит характеризуется более высоким, чем собственно монтмориллонит, отрицательным

зарядом слоев. Это подчеркивается, в частности, способностью указанного образования интенсивно фиксировать ион калия при обработке его КОН, в отличие от продуктов аградации монтмориллонита (химический состав представлен в табл. 1, горизонты № 13 и 14). Содержание монтмориллонита в глинах составляет 85–97,8 %.

Использование природных монтмориллонитовых глин для приготовления растворов с низким содержанием твердой фазы в виде «комовых» глин для лабораторных исследований основывается на ионном обмене. В монтмориллоните и вермикулите около 80% обменных катионов размещено на базальной поверхности, а остальная часть – по краям. Скорость обменных реакций у монтмориллонита более медленная, чем у каолинита, в связи с тем, что требуется определенное время для проникновения воды между слоями глинистых частиц (по данным Р.Грима требуется несколько часов). Хаузер и Рид показали, что емкость катионного обмена монтмориллонита не зависит от размера частиц. Однако в некоторых монтмориллонитах, вследствие местных замещений в решетке, она зависит от природы обмениваемого катиона, размеров частиц и т.д. Недоступность поверхности базальной плоскости будет увеличиваться с уменьшением размеров частиц. Например, Келли и Дженни показали, что растирание глинистых, а также неглинистых минералов вызывает увеличение емкости катионного обмена. Рентгенометрическое исследование измельченного материала показало, что дифференциальные кольца расширяют-

ся, становятся более диффузными и полностью исчезают после длительного растирания, т.е. структура постепенно разрушается [4].

Черногорское месторождение. Минералогический состав глин Черногорского месторождения определен на основе данных рентгеноструктурного анализа, проведенного на дифрактометре фирмы Shinadzu XRD-6000. Химический состав бентонита представлен в табл. 3. Минералогический состав бентонита (%): каолинит 7–8; монтмориллонит 75–85; гидрослюда 3–5; хлорит 1–2; кварц 7–8; полевой шпат 3–5; карбонаты 10–12; органическое вещество 1–2 [11]. По составу ионообменного комплекса черногорский бентонит щелочноземельный, поэтому для активации подвергается обработке кальцинированной содой.

Экспериментальная часть. Подготовка бентонитов к исследованию. Известно [14], что в состав бентонитов нередко входят различные количества неглинистых минералов кварца, кристобалита, тридимита, кальцита, доломита, гипса, пирита, фосфатов, полевых шпатов и др. Глинопорошок Таганского месторождения (см. табл. 1) был предоставлен инженером ООО «Алтайская сырьевая компания» О.А. Масловой, а бентонит Черногорского месторождения – специалистами Красноярской буровой компании. Готовили 1% водные суспензии глины (вода дистиллированная), тщательно перемешивали с помощью механической мешалки и оставляли в состоянии покоя 24 часа, затем декантировали сифоном наиболее высокодисперсную фракцию. Мономинеральность полученных образ-

цов проверяли с помощью рентгенографии. Как показала проверка, вышеперечисленных операций оказалось достаточно для получения чистых образцов монтмориллонита. В [6] показано, что истинная причина различных значений рН суспензий глинистых минералов заключается не в количестве окислов, входящих в состав кристаллической решетки того или иного минерала, а в природе поглощенного иона и наличии в суспензии растворимых солей, т.е. тип обменных катионов существенно влияет на величину рН. Поэтому бентониты, обладающие большой емкостью обмена и содержащие щелочно-земельные катионы (Ca^{2+} и Mg^{2+}) и реже щелочные (K^+ , Na^+), будут иметь щелочную реакцию водных растворов. Глины, характеризующиеся небольшой емкостью обмена, имеют рН=7,0. М.С. Мерабишвили [10] показал, что добавление кальцинированной соды в количестве 1–3% от массы глины заметно ускоряет процесс ионообмена в водной среде, что способствует переходу глин в натриевую форму. В глинистые суспензии из Таганского бентонита добавляли 1% кальцинированной соды от массы глины.

Методика исследований. Вязкость, или в более общем смысле – кривая течения, представляет собой фундаментальную характеристику механических свойств жидкости [9]. Поэтому этот параметр широко используется в различных приложениях. Результаты измерений соотношения между напряжениями и скоростью деформации представляют собой основу для объективной оценки структурно-механических свойств биополимер-

Таблица 3

Средний химический состав бентонитовых глин Черногорского месторождения

Номер пласта	Химический состав, содержание в весовых процентах										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	ППП	SO ₃
7	60,81	0,87	18,22	5,44	1,69	2,43	1,94	1,25	5,39	6,32	0,02
8	65,69	0,57	17,36	2,26	1,55	2,54	1,48	1,36	4,68	5,89	0,05

Примечание. PPP – потери при прокаливании.

глинистых суспензий, приготовленных из монтмориллонитовых глин Таганского и Черногорского месторождений. В приготовленные глинистые (1%) суспензии добавляли различные биополимеры отечественного и импортного производства в количестве 0,5 масс.%. Концентрация биополимера была определена в результате анализа экспериментальных работ, представленных в [2]. Понижение вязкости биополимерных растворов в пластовой воде по сравнению с их вязкостью в пресной не является величиной постоянной при разных концентрациях биополимера. Так, например при концентрации ксантана 0,2 масс.% разница вязкости в пресной и пластовой водах в 4 раза превышает таковую при концентрации ксантана 0,1 масс.%. При концентрациях 0,3 и 0,2 масс.% ее величина около 3, а при 0,5 и 0,3 масс.% – около 1,8.

Таким образом, при более низких концентрациях ксантана влияние состава воды на вязкость более значительно, чем при высоких. Вязкость растворов биополимеров является важнейшей реологической характеристикой. На вязкость любого полимера влияют прежде всего факторы, определяющие объем, занимаемый макромолекулой в растворе: молекулярная масса, характер взаимодействия растворителя с полимером, строение полимера и концентрация раствора [12].

Реологические свойства растворов с низким содержанием твердой фазы. Экспериментальные точки аппроксимируются теми или иными приближенными уравнениями, и выбор наиболее удобного из них во многом определяется удобством его применения при прикладных расчетах. Существует множество материалов, которые не текут при низких напряжениях сдвига, или, по крайней мере, их вязкость в этой области столь высока, что ею можно пренебречь при технологических приложениях. Однако в широкой области более высоких напряжений сдвига эти материалы могут течь и транспор-

тироваться как любые другие жидкости. Для характеристики свойств таких материалов необходимо ввести понятие о пределе текучести τ_y как одном из фундаментальных параметров. В литературе [9] предлагается большое количество различных реологических уравнений для таких материалов. К числу наиболее простых относятся следующие уравнения:

-уравнение Бингама

$$\tau = \tau_y + \eta_p \dot{\gamma}; \quad (1)$$

-уравнение Кэссона

$$\tau^{\frac{1}{2}} = \tau_y^{\frac{1}{2}} + (\eta_p \dot{\gamma})^{\frac{1}{2}}; \quad (2)$$

-уравнение Хершеля-Балкли

$$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n. \quad (3)$$

Во всех этих уравнениях τ_y – предел текучести; η_p – «пластическая вязкость»; K и n – экспериментально определяемые параметры. Пластическая вязкость η_p – величина, отличная от эффективной вязкости η жидкости. Согласно стандартному определению, $\eta = \tau/\dot{\gamma}$, так что эффективная вязкость бингамовской вязкопластичной среды выражается как

$$\eta = \eta_p + \tau_y/\dot{\gamma}. \quad (4)$$

Последнее уравнение показывает, что эффективная вязкость бингамовской среды убывает с ростом скорости сдвига. В пределе при низкой скорости сдвига $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$, а при высокой скорости сдвига эффективная вязкость приближается к η_p . Все эти уравнения справедливы только при $\tau > \tau_y$.

Все приведенные выше уравнения показывают, что сразу после перехода через предел текучести эффективная вязкость жидкости, определенная стандартным образом, очень велика. Это не отвечает действительности, поскольку сразу после разрушения структуры, при $\tau > \tau_y$, материал течет как обычная жидкость с не очень высокой вязкостью. Поэтому необходимо модифицировать уравнение Хершеля-Балкли следующим образом [9]. Принимаем условие, что вязкость неограниченно высока при $\tau < \tau_y$, а в области течения реологические

свойства жидкости описываются степенным законом Оствальда-ДеВале $\tau = K \dot{\gamma}^n$, причем предполагается, что степенной закон выполняется только в области $\tau > \tau_y$. Тогда модель такой вязкопластичной среды приобретает следующий вид:

$$\eta = \begin{cases} \infty, & \text{при } \tau < \tau_y \\ K \dot{\gamma}^{n-1}, & \text{при } \tau > \tau_y \end{cases} \quad (5)$$

Исследование реологических свойств полимерглинистых суспензий проводили в лаборатории буровых промысловых жидкостей кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Сибирского федерального университета на ротационном вискозиметре фирмы OFITE (модель 900), позволяющем рассчитывать реологические параметры уравнения (5) в автоматическом режиме с использованием программного обеспечения ORCADА. Исследования проводили по методике, изложенной в ISO 13503-1 (зарегистрировано Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии ФГУП «Стандартинформ», номер регистрации: 5364/ISO, дата регистрации 31.03.2011).

Результаты исследований и их обсуждение. В табл. 4 представлены результаты реологических измерений растворов с содержанием глины 1 масс.% и биополимера 0,5 масс.%. Анализ экспериментального материала наглядно показал, что при взаимодействии 1% глинистых суспензий с биополимерами различных торговых марок отечественного (Биоксан, Гаммаксан, Петроксан) и зарубежного производства (Флоксан, Дуовис, Баразан, Экстра-кс) реологические параметры возрастают на 21–59%. Кроме этого, необходимо отметить, что все исследуемые суспензии обладают тиксотропным эффектом, что подтверждается измеренными значениями статического напряжения сдвига (гель 1, гель 10), которые изменяются от 4 до 11 Па через 10 секунд и от 5 до 12 Па через 10 минут покоя. Синергетический эффект проявляется сильнее при использовании глинистых суспензий, приготовленных из глины Таганского месторождения. Показатель нелинейно-

сти суспензий находится в пределах 0,24–0,36, что позволяет прогнозировать пологий профиль скоростей и соответственно более улучшенную выносную способность исследованных суспензий. Это позволяет рекомендовать биополимерглинистые суспензии для применения с комплексами ССК при бурении в сложных горно-геологических условиях. Нелинейность графиков консистенции буровых растворов определяется с помощью ротационного вискозиметра с большим набором частот вращения. Поэтому, по мнению Грея и Дарли полезность реологических параметров PV и YP ограничена. Для прогнозирования характера течения при малых скоростях сдвига лучше рассчитывать эффективную вязкость при преобладающей в трубе и затрубном пространстве скорости сдвига. На рисунке представлены вязкостно-скоростные кривые течения биополимерглинистых суспензий, содержащих 1 масс.% глины и 0,5 масс.% ксантана. Каждая точка на кривых течения соответствует состоянию динамического равновесия между процессами изменения и восстановления структуры. При течении происходят обратимые изменения состояния и структуры полимерглинистых суспензий. Это явление всегда протекает во времени и называется тиксотропией, что подтверждается экспериментальным материалом – наличием петли гистерезиса. Снижение вязкости исследуемых суспензий с увеличением скорости сдвига объясняется тем, что повышение вязкости может быть обусловлено межмолекулярными взаимодействиями (например, в случае водородного соединения), которые с увеличением скорости сдвига разрушаются. При этом очевидно, что среднее расстояние между нитями спирали ксантана равно радиусу действия по закону Кулона сил отталкивания между многочисленными отрицательно заряженными группами COO, находящимися на нитях спирали. Это обеспечивает максимально возможное между ними расстояние, что вызывает уменьшение

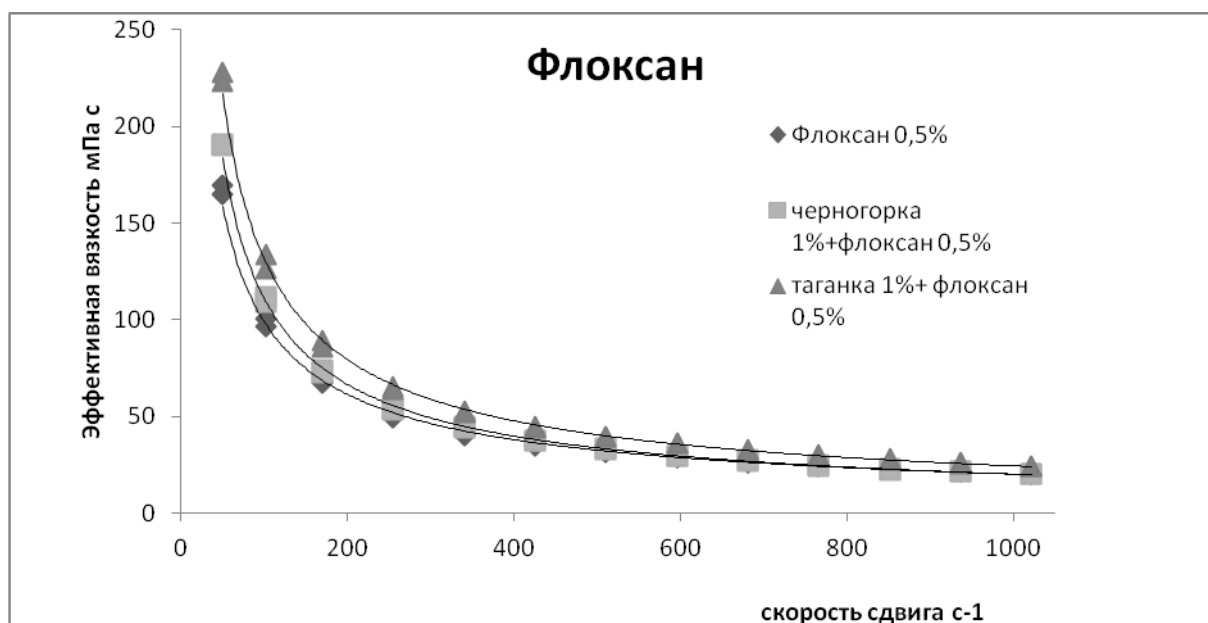
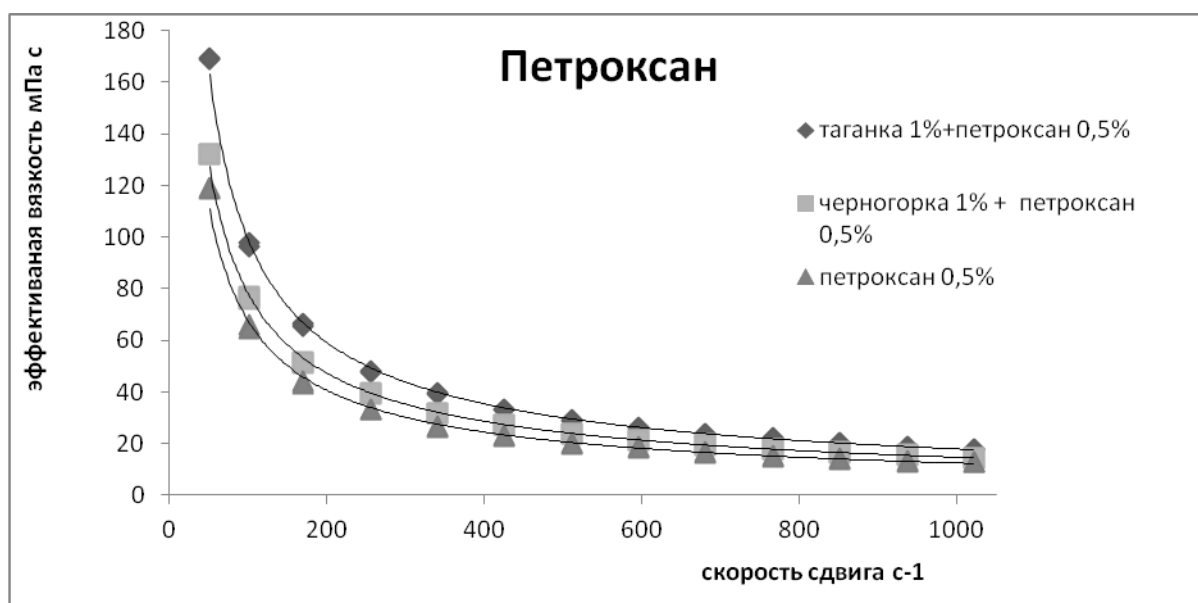
Таблица 4

Реологические параметры биополимер-глинистых суспензий (содержание глины 1 масс.%, биополимер 0,5 масс.%) при варьировании скорости сдвига от 50 до 1022 с⁻¹

№ п/п	Глина	Биополимер	рН-1*	рН-2**	Гель _{1,3} , Па	Гель ₁₀ , Па	Реологические параметры обобщенного степенного закона					
							n	K _v	K	K _f	K _p	R ²
1	-	Биохап	7,48	-	5	5	0,27	2,404	2,297	2,733	2,641	0,993
2	ПБМА(Ч)	Биохап	10,22	9,79	5	6	0,2632	2,7170	2,5953	3,087	2,9842	0,9958
3	Таганка	Биохап	9,76	8,94	6	7	0,2563	2,9157	2,7841	3,3113	3,2018	0,9948
4	-	Duovis	6,50	-	5	5	0,26	2,402	2,295	2,730	2,639	0,994
5	ПБМА(Ч)	Duovis	10,05	9,70	5	6	0,2761	2,4285	2,3213	2,7608	2,6679	0,9926
6	Таганка	Duovis	9,60	8,96	5	6	0,2629	3,009	2,8742	3,4187	3,305	0,9934
7	-	Flouan-200	6,70	-	6	7	0,30	2,456	2,352	2,794	2,698	0,985
8	ПБМА(Ч)	Flouan-200	10,26	9,69	7	8	0,2549	3,4519	3,2957	3,9197	3,9703	0,9927
9	Таганка	Flouan-200	9,74	8,71	8	8	0,2642	3,9168	3,7416	4,4504	4,3021	0,9906
10	-	Gammaхан	7,090	-	8	8	0,36	3,666	3,522	4,162	4,018	0,996
11	ПБМА(Ч)	Gammaхан	10,55	10,21	8	8	0,2899	2,9022	2,7763	3,3001	3,1886	0,9866
12	Таганка	Gammaхан	9,91	9,16	11	12	0,3081	4,7264	4,5260	4,5763	5,1920	0,9759
13	-	Petroхан	7,40	-	4	5	0,2646	2,00334	1,91374	2,2763	2,2004	0,9812
14	ПБМА(Ч)	Petroхан	10,18	9,35	4	5	0,2737	2,2213	2,1230	2,5251	2,4403	0,9959
15	Таганка	Petroхан	9,6	8,62	5	6	0,2571	3,0365	2,8995	3,4486	3,3346	0,9941
16	-	Экстра-КС	6,50	-	5	6	0,3359	1,9168	1,8386	2,1794	2,1041	0,9932
17	ПБМА(Ч)	Экстра-КС	10,18	9,5	6	6	0,2935	3,1426	3,0068	3,5744	3,4527	0,9850
18	Таганка	Экстра-КС	9,6	9,19	5	6	0,2859	2,6268	2,5131	2,9882	2,8870	0,9892
19	-	Barazan	6,25	-	5	6	0,3552	2,5536	2,4521	2,9001	2,8007	0,9809
20	ПБМА(Ч)	Barazan	10,18	9,45	5	6	0,2825	2,6588	2,5425	3,024	2,9213	0,9941
21	Таганка	Barazan	9,6	8,96	6	7	0,2477	3,6628	3,4958	4,1569	4,0208	0,9900

Примечание. ПБМА(Ч) – Черногорский глинопоршок; Таганка – глинопоршок Таганского месторождения; K_v – коэффициент месторождения; K – коэффициент консистенции, зависящий от геометрии вискозиметра (мПас⁰); K_p – независимый от геометрии вискозиметра коэффициент консистенции (мПас⁰); K_f – коэффициент консистенции в трубе (мПас⁰); K_r – коэффициент консистенции в щели (мПас⁰); K_p – коэффициент консистенции в трубе (мПас⁰); R² – коэффициент корреляции.

Реологические параметры и коэффициент корреляции обобщенного степенного закона рассчитывались по 52 экспериментальным точкам.



Зависимость вязкости биополимерглинистых растворов от скорости сдвига

межмолекулярного взаимодействия. В данном случае нити могут легче двигаться относительно друг друга и псевдопластичность уменьшается. Таким образом, увеличение вязкости при низкой скорости сдвига происходит в результате распада двойных спиралей, исчезает сильное межмолекулярное кулоновское отталкивание. Изменение вязкости биополимерных растворов с повышением скорости сдвига указывает на способность этих систем образовывать тиксотропные структуры, обусловленные ориентацией расположенных

линейно молекул полимера. Тиксотропные коагуляционные структуры способны полностью восстанавливаться после разрушения. С ростом градиента скорости напряжение сдвига повышается. Необходимо отметить, что в области скоростей и напряжений сдвига, в которой суспензии ведут себя как неньютоновские жидкости, зависимость вязкости от физико-химических свойств ослабевает с увеличением интенсивности их деформирования. На кривых течения эта область наиболее ярко выражена

жена при деформации, возникающей при скорости сдвига $400\text{--}1022\text{ с}^{-1}$.

Заключение. Выявлен и экспериментально доказан синергетический эффект при взаимодействии глинистых 1% суспензий, приготовленных из глин Черногорского и Таганского месторождений, с биополимерами ксантанового типа. Причем более ярко выраженный эффект проявляется при использовании таганской глины, что позволяет рекомендовать ее к широкому применению для приготовления буровых растворов при бурении скважин в сложных горно-геологических условиях. Выявленный эффект синергизма показал, что можно получать суспензии с малым содержанием глины в виде устойчивых структурированных систем.

Библиографический список

1. Вредные вещества в промышленности. Т. III: Неорганические и элементоорганические соединения / под ред. Н.В. Лазарева, И.Д. Гдаскина. Л.: Химия, 1977. 608 с.
2. Гвоздяк Р.И., Матышевская М.С., Григорьев Е.Ф. и др. Микробный полисахарид ксантан. Киев: Наук. думка, 1989. 212 с.
3. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей): пер. с англ. М.: Недра, 1985. 509 с.
4. Грим Р.Е. Минералогия глин. М.: Недра, 1959. 452 с.
5. Грим Р.Е. Минералогия и практическое использование глин. М.: Мир, 1967. 510 с.
6. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г. Определение физических свойств нефтесодержащих пород. М.: Недра, 2007. 592 с.
7. Дедусенко Г.Я., Иванников В.И., Липкес М.И. Буровые растворы с малым содержанием твердой фазы. М.: Недра, 1985. 160 с.
8. Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.
9. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. СПб.: Профессия, 2007. 560 с.
10. Мерабишвили М.С. Бентонитовые глины. Л.: Госгеолтехиздат, 1962. 128 с.
11. Никифорва Э.М., Еромасов Р.Г., Ступко Т.В. и др. Физико-химические процессы перехода от конденсационной к кристаллизационной структуре в керамических системах «бентонит-минерализатор» // Фундаментальные исследования. 2013. №1. С.723–726.
12. Рафиков С.Р., Павлова С.А., Твердохлебова И.И. Методы определения молекулярных весов и полидисперсности высокомолекулярных соединений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 335 с.
13. Сапаргалиев Е.М. Формирование, закономерности размещения и разработка новых технологий использования бентонитовых глин Восточного Казахстана: автореф. дис. ... докт. г-м.наук. Усть-Каменогорск, 2010. 142 с.
14. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975. 350 с.
15. Финевич В.П., Аллерт Н.А., Карпова Т.Р., Дуплякин В.К. Современное состояние процесса каталитического риформинга бензиновых фракций. Опыт производства и промышленной эксплуатации катализаторов риформинга серии ПР // Журнал Рос. хим. общ-ва им. Д.И. Менделеева. 2007. Вып. 4. С. 69–74.

References

1. Harmful substances in industry. V. III. Inorganic and element-organic compounds. [Verednye veschestva v promyshlennosti. Neorganicheskie I elementoorganicheskie soedinenija]. Lazarev N.V., Gdaskin I.D. (Eds.) L.: Chemistry, 1977, 608 p.
2. Gvozdjak R.I., Matyshevskaya M.S., Grigorjev E.F., Livinchuk O.A. Microbe polysaccharide of xanthans. [Mikrobnii polisaharid xantan]. Kiev: Naukova Dumka, 1989, 212 p.

3. Gray J.R., Dralie G.S.G. Composition and properties of drill agents (wash liquids). [Sostav i svoistva burovyykh agentov (promyvochnyykh zhidkostey)]. Moscow: Nedra, 1985, 509 p. (translated from English).

4. Greem R.E. Clay mineralogy. [Mineralogia glin]. Moscow: Nedra, 1959, 452 p.

5. Greem R.E. Clay mineralogy and its practical use. [Mineragi i prakticheskoe ispolzovanie glin]. Moscow: Mir, 1967, 510 p.

6. Gudok N.S., Bogdanovich N.N., Martynov V.G. Determination of physical properties of oil-containing rocks. [Opredelenie fizicheskikh svoystv nefte-soderzhaschih porod]. Moscow: Nedra, 2007, 592 p.

7. Dedusenko G.Ya., Ivannikov V.I., Lipkes M.I. Drill mud with minor content of solid phase. [Burovyye rastvory s malym soderzhaniem, tverdoy fazy]. Moscow: Nedra, 1985, 160 p.

8. Kotelnikov D.D., Konjukhova A.I. Clay minerals of sedimentary rocks. [Glinistyie mineraly osadochnyykh porod]. Moscow: Nedra, 1986, 247 p.

9. Malkin A.Ya., Isaev A.I. Rheology: concepts, methods, applications. [Reologia: koncepcii, metody, prilozhenia]. St.Pt.: Professia, 2007, 560 p.

10. Merabishvili M.S. Bentonite clays. [Bentonitovyye gliny]. L.: GosGeolTehIzdat, 1962, 128 p.

11. Nikiforova E.M., Eromasov R.G., Stupko T.V., Kravtsova E.D., Spektor Yu.E. Physico-chemical processes of transition from condensation to crystal-

lization structure in ceramic systems «bentonite-mineralizer». [Fiziko-himicheskie procecci perehoda ot kondensatsionnoy k kristallizatsionnoy strukture v keramicheskikh sistemah «bentonit-mineralizer»]. Fundamental research. 2013, no. 1, pp.723–726.

12. Rafikov S.R., Pavlova S.A., Tverdohlebova I.I. Methods of determination of molecular weights and multi-dispersion of high-molecular compounds. [Metody opredelenia molekuljarnyykh vesov i polidispersnosti vysokomolekuljarnyykh soedinenii]. Moscow: Publ. H. Ac.Sci. USSR, 1963, 335 p.

13. Sapargaliev E.M. Formation pattern of distribution and development of new technologies to utilize bethonite ores of Eastern Kazakhstan. [Formirovanie, zakonmernosti razmeschenia i razrabotka novyykh tehnologii ispolzovania bentonitovykh glin Vostochnogo Kazahstana]. Avtoreferat Dokt. Diss. – Abstract of Doct. Thes. Geol.Min.Sci. Ust-Kamenogorsk, 2010, 142 p.

14. Tarasevich Yu.I., Ovcharenko F.D. Adsorption on clay minerals. [Adsorbtsia na glinistyykh mineralah]. Kiev: Naukova Dumka, 1975, 350 p.

15. Finevich V.P., Allert N.A., Karpova T.R., Duplyakin V.K. Recent status of the process of catalytic reforming of benzene fractions. [Sovremennoye sostojanie processa kataliticheskogo reforminga benzinovykh fraktsii]. Zhurnal Ross. Him. Obsch. – J. Russ. Chem. Soc. after Mendeleev. 2007, issue 4, pp. 69–74.

Рецензент кандидат технических наук, доцент
Иркутского государственного технического университета Л.В. Николаева

УДК 556.3.01:662.012

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ УЧАСТКА «ЛЕВОБЕРЕЖНЫЙ» ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛОВ ТРУБКИ «УДАЧНОЙ»

© А.В. Дроздов¹

Институт Якутнипроалмаз, АК «АЛРОСА», 678170, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 39.

Рассмотрены структурно-тектонические, криогидрогеологические условия участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачной». По результатам поисковых работ и выполненного численного моделирования произведена прогнозная оценка полезной емкости многолетнемерзлых пород и продолжительности эксплуатации полигона закачки сточных вод.

Библиогр. 4 назв. Ил. 4. Табл. 3.

Ключевые слова: дренажные рассолы; тектонические структуры; многолетнемерзлые породы; моделирование; закачка.

EVALUATION OF “LEVOBEREZHZNY” SITE PERSPECTIVE FOR BURYING DRAINAGE BRINES OF PIPE “UDACHNAYA”

A.V. Drozdov

Institute of Yakutnioproalmaz AC—AROSA”, 678170, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Mirniy, Lenina st., 39.

The paper considers tectonic-structural, cryo and hydrological conditions of “Levoberezhny” site applicable for burying drainage brines of “Udachnaya” pipe. The results of prospecting and numerical simulation were taken into account in forecast evaluation of useful capacity of permafrost rocks and operation time of effluent water pumping.

4 references. 4 figures. 3 tables.

Key words: drainage brines; tectonic structures; permafrost rocks; simulation; pumping.

Отработка глубоких горизонтов алмазных месторождений в Западной Якутии связана с поступлением хлоридных (кальциевых или натриевых) рассолов в открытые и подземные горные выработки [1]. Возможность использования криогеологических структур и подмерзлотных водоносных горизонтов для удаления дренажных вод зависит от региональных мерзлотно-гидрогеологических условий, определяющих закрытость геологической структуры, характера обмена подземных и поверхностных вод, фильтрационно-емкостных свойств выбранных интервалов криолитозоны, а также мощности и проницаемости пород перекрывающего мерзлого экрана. В Удачинском ГОКе АК «АЛРОСА» уже более 25 лет осуществляется захоронение дренажных рас-

солов в толще многолетнемерзлых пород (ММП), обладающих высокими поглощающими способностями, на благоприятных участках, приуроченных к зонам тектонических нарушений [2, 3]. При отработке трубки «Удачной» в условиях обводнения уже использовано два полигона захоронения (Октябрьский и Киенгский). В настоящее время проектируется третий участок («Левобережный») для удаления дренажных рассолов в благоприятные криогенные структуры. В то же время на перспективу существует необходимость объективной оценки вновь вводимых геологических объектов криолитозоны, в которые можно закачивать минерализованные стоки горных предприятий без ущерба для окружающей среды региона.

¹Дроздов Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений, тел.: 8(41136) 92038, факс: (41136) 31992, e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru

Drozdov Alexander, Candidate of geologo-mineralogical sciences, shief laboratory mining and geological problems mining developments, tel.: 8(41136) 92038, fax: (41136) 31992, e-mail: DrozdovAV@alrosa.ru

В период 1985–2001 гг. закачка дренажных вод карьера «Удачный» выполнялась на полигоне «Октябрьский», на котором было захоронено 10,6 млн м³ (рис. 1). В период 2001–2012 гг. дренажные воды карьера и рудника захороняются на полигоне «Киенгский» в объемах от 700 до 1764 тыс. м³ в год. По состоянию на 01.11.2012 г. на данном объекте сброшено 12,1 млн м³ минерализованных стоков в ММП. Геологоразведочные работы по поиску перспективных структур для закачки дренажных вод карьера «Удачный» выполнялись Амакинской и Мирнинской экспедициями в 80-е годы на прилегающих к месторождению площадях. Одним из перспективных участков по расположению и развитию инфраструктуры Удачинского ГОКа является «Левобережный», расположенный северо-восточнее карьера на левом берегу р. Далдын между ручьями Улахан-Бысыттах и Орто-Бысыттах.

В пределах этого участка пройдено 16 скважин глубиной 280–350 м. Нижние интервалы разреза (абс. отм. от +260 до +97 м) представлены отложениями

мархинской свиты с чётко прослеживаемым здесь пластом глинистых доломитов. К этой толще пород приурочены максимальные показатели водопрониимости скважин (до 52 м³/ч). В процессе проведения опытно-фильтрационных работ отмечены основные поглощающие коллекторы на глубинах 245–259 м (абс. отм. от +216,6 до +202,6 м). В соответствии с условиями получения лицензии для недропользования и требованиями по оценке участка «Левобережный» для строительства и эксплуатации полигона закачки дренажных вод необходимо выполнить оценку граничных условий и фильтрационно-емкостных свойств пород мерзлого массива, в т.ч. по результатам выполненных пробных и кустовых наливов.

Криогидрогеологические и структурно-тектонические условия. В структурном отношении район месторождения приурочен к области сочленения Анабарской антеклизы и Тунгусской синеклизы и имеет двухъярусное строение с венд-позднепалеозойским и позднепа-

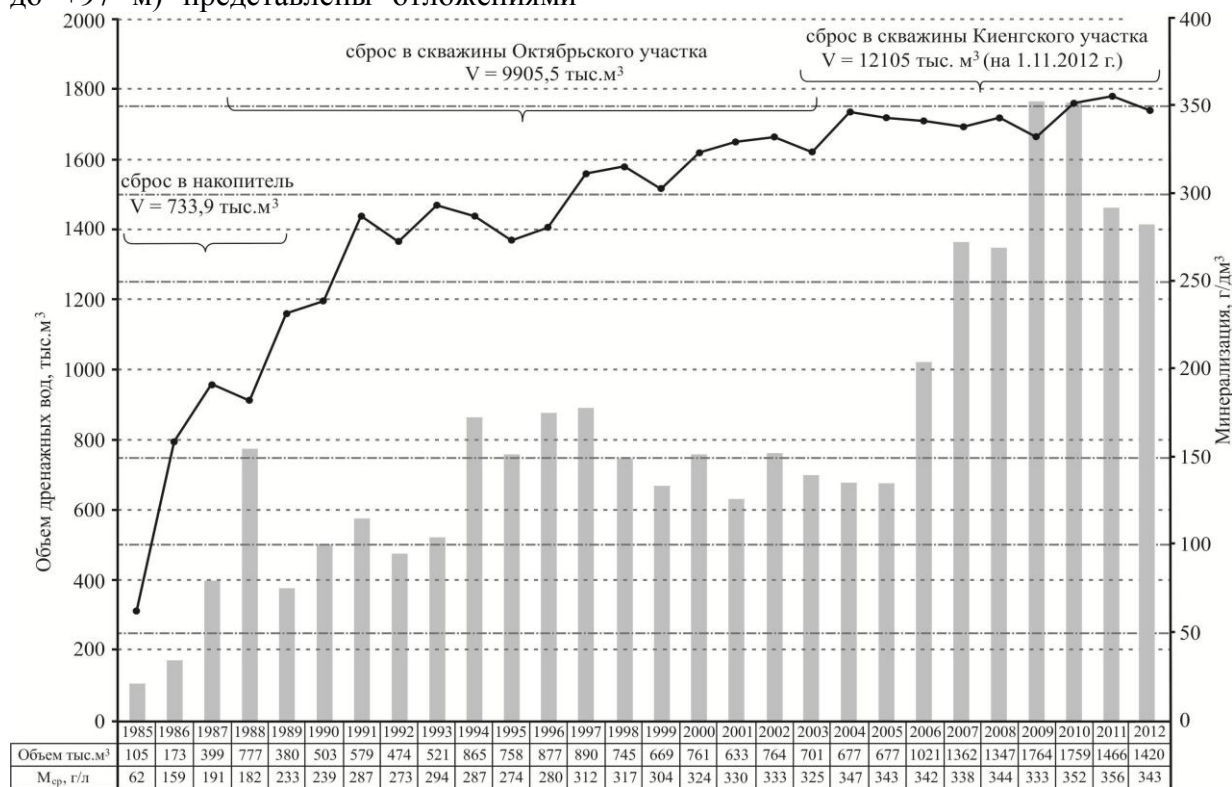


Рис. 1. Изменения элементов баланса системы осушения и захоронения дренажных вод карьера «Удачный»: график объема дренажных вод и гистограмма степени минерализации

леозой-раннемезозойским ярусами. Первый ярус сложен образованиями карбонатной формации, частично соленосной в среднем кембрии. Верхний структурный ярус залегает несогласно и представлен терригенными и вулканогенными образованиями верхнего палеозоя-нижнего мезозоя. По данным региональных исследований глубина залегания кристаллического фундамента составляет 2,4–3,1 км с характерным блоковым строением, обусловленным зонами разломов субмеридионального и субширотного направлений. На рассматриваемой территории широко развиты субширотные разломы, контролируемые кимберлитовый магматизм. Наиболее насыщено кимберлитовыми трубками северо-восточное (приподнятое) крыло Далдынской флексуры. Трубка «Удачная» расположена в «опущенном» крыле этой структуры в зоне субширотного разлома.

Многочисленные дизъюнктивные нарушения, установленные в верхних горизонтах осадочного чехла, нередко связаны с проявлениями траппового магматизма, который контролируется в районе Вилюйско-Котуйской региональной зоны глубинных разломов, протянувшейся на сотни километров. Северо-западные разломы этой зоны прослеживаются в виде широкой полосы прерывистых даек траппов среднепалеозойского возраста. Выделяется несколько ветвей спаренных или строенных даек. Особое положение занимает Октябрьский разлом, выделенный сейсморазведкой по вертикальному смещению (100–150 м) отражающего горизонта КВ в нижней части осадочного чехла. На дневной поверхности тектоническая зона маркируется проявлением выдержанных крутопадающих даек долеритов.

Согласно схеме районирования и в соответствии с геоструктурными и стратиграфо-литологическими признаками территория месторождения относится к Далдыно-Мархинскому криогидрогеологическому резервуару (КГГР), находящемуся в зоне сочленения Оленекского и Верхневилуйского криоартезианских

бассейнов [1]. В юго-западном направлении от трубки «Удачной» выделяется «полосообразная» геологическая структура (Далдынская флексура) с повышенными (на 1–2 порядка) значениями коэффициента водопроницаемости интервалов средне- и нижнекембрийского водоносных комплексов (СВК и НВК). Ее ширина достигает 5 км. Морфология этой структуры изучена по нескольким верхним горизонтам. Структура асимметрична: северо-восточное крыло приподнято и более пологое, юго-западное – более крутое. По осевой части Далдынской флексуры проходит гребневая часть рифового барьерного пояса.

Осушение месторождения потребовало анализа граничных условий, фильтрационных схем и оценки необходимых параметров водоносных комплексов. Для расчета прогнозных водопритоков в горные выработки произведено микрорайонирование с уточнением границ областей фильтрации и корректировкой фильтрационных свойств водоносных комплексов. Кимберлитовая трубка рассматривалась как «гидрогеологическое окно», через которое осуществляется прямая гидравлическая связь водоносных комплексов с карьером. Таким образом, гидродинамическая область фильтрации (с трубкой «Удачной» в центре) с юго-запада ограничена непроницаемой зоной Октябрьского разлома и состоит из трех фильтрационных зон, которые обладают различными параметрами. Поэтому на микрогидрогеологическом уровне (район месторождения) для определенных целей и задач производится районирование природных криогидрогеологических систем с позиций генезиса отложений в определенных структурных этажах осадочного чехла.

Таким образом, криогидрогеологические условия района отличаются большой сложностью и своеобразием. К числу факторов, сыгравших основную роль в формировании коллекторов подземных вод, относятся:

- наличие древнего осадочного чехла, включающего преимущественно пере-

слаивание карбонатных и глинистых разновидностей отложений, а также пояса и структуры рифогенных образований;

-значительные фациальные замещения разных типов пород осадочных толщ;

-существование многоактного кимберлитового и траппового магматизма;

-развитие региональных и локальных зон тектонических нарушений разного уровня заложения;

-влияние длительного многофазного и разнонаправленного криогенного этапа развития региона с образованием мощной толщи криолитозоны (до 1500 м) и изменением режима подземной и поверхностной гидросфер.

В соответствии с известной схемой, устанавливающей взаимоотношение подземных вод и ММП [4], подземные воды района разделены на следующие типы: над-, меж- и подмерзлотные. Поэтому характеристика криогидрогеологических условий основана на данном принципе стратификации водовмещающих пород.

Территория района входит в состав северной геокриологической зоны, которой свойственны сплошное распростра-

нение ММП, непрерывность криогенной толщи, значительная ее мощность и высокие значения отрицательных температур (до -16°C) [1]. Основной чертой климата региона является резкая континентальность с температурным диапазоном выше 100°C . Низкая среднегодовая температура воздуха и отрицательный годовой радиационный баланс ($-0,5...-2,0$ ккал/см²·мес.) благоприятствуют сохранению, а также локальному преобразованию температурных полей мерзлых массивов. Температурный режим мерзлой толщи имеет прямую связь с температурой земной поверхности и формируется под воздействием климатических, ландшафтных, геоморфологических и других факторов. При этом температура горных пород от водоразделов к долинам постепенно понижается.

Криогенная толща района месторождения имеет трехъярусное строение (табл. 1). Верхний ярус слагают ММП, содержащие воду в виде льда, заполняющего поры, каверны, трещины. Нижний ярус состоит из охлажденных пород, пустоты которых заполнены солеными водами и рассолами с отрицательной температурой – криопэггами. Промежуточное значение занимает ярус мороз-

Таблица 1

Строение криолитозоны района трубки «Удачной» с характеристикой газовой составляющей

Название толщи (мощность, м)			Состояние распространённых газов	Тип газов по составу Второстепенные компоненты
Верхняя часть литосферы	Ярус (по С.М. Фотиеву [1971])	Водоносная		
Криолитозона (720 – 1050)	Мерзлых пород (60–250), встречаются охлажденные (5–10)	Встречается межмерзлотная (5–10)	Свободный, сорбированный, газогидраты	<u>Углекисло-азотные</u> CH ₄ , H ₂ S
	Морозных пород (10–50)	Отсутствует	Свободный, газогидраты, сорбированный	<u>Углекисло-азотные</u> CH ₄ , H ₂ S
	Охлажденных пород (430–650)	Верхнекембрийский комплекс	Растворенный, сорбированный	<u>Азотно-углеводородные</u> CO ₂ , He, TУ
		Среднекембрийский комплекс	Газогидраты, сорбированный	<u>Углеводородные</u> TУ, CO ₂ , H ₂ , He
		Растворенный, сорбированный	<u>Углеводородные</u> TУ, CO ₂ , H ₂ , He	

Примечание. TУ – тяжелые углеводороды.

ных пород. В то же время некоторыми скважинами в толще ММП зафиксированы реликтовые линзы межмерзлотного типа соленых вод и рассолов [1, 2]. Мощность верхнего яруса криолитозоны (ММП) в районе изменяется от 90 до 700 м и зависит преимущественно от рельефа и структурно-тектонических особенностей горных массивов.

В районе трубки «Удачной» на сравнительно небольшой площади температура горных пород была измерена в десятках скважин глубиной 500–900 м. Полученные данные свидетельствуют о значительной изменчивости теплового поля. Установлено, что самую высокую (от $-2,9$ до $-3,8^{\circ}\text{C}$) среднегодовую температуру имеют осадочные толщи на юго-восточном фланге месторождения. До глубины 200 м фиксируется безградиентная зона. Ниже по разрезу температура пород повышается с геотермическим градиентом $0,6\text{--}0,9^{\circ}\text{C}/100$ м. На северо-западном фланге месторождения среднегодовая температура пород достигает $-4,3^{\circ}\text{C}$, а величина геотермического градиента не превышает $0,8\text{--}0,6^{\circ}\text{C}/100$ м. Наиболее низкая ($-6,0\text{--}-8,8^{\circ}\text{C}$) температура пород зафиксирована к северо-западу от трубки на надпойменной террасе р. Далдын при среднем значении геотермического градиента в стволах скважин $1^{\circ}\text{C}/100$ м [1].

В 2012 г. на участке «Левобережный» проведены геотермические наблюдения по ряду гидрогеологических скважин для снятия естественного температурного «фона» в ярусе ММП, которые выявили его схожесть с другими участками для закачки дренажных рассолов. Следует подчеркнуть, что анализ результатов режимных геотермических исследований на полигонах «Октябрьский» и «Киенгский» показал, что в разрезе температурного поля по эксплуатационным скважинам можно выделить три геотермические зоны в ММП (рис. 2). Температурный режим первой зоны формируется под влиянием поверхностных условий и показывает их специфику или степень нарушения. Вторая зона имеет

стабильное температурное поле, и в ходе эксплуатации полигона дренажные воды в данную зону не должны поступить. Температурный режим третьей зоны зависит от динамики сброса рассолов, поэтому по ее температурным данным должна производиться корректировка эксплуатации всей системы захоронения. Таким образом, температура, которая является одной из количественных характеристик криогенной толщи, в данном случае может служить критерием для оценки воздействия на геологическую среду сбрасываемых дренажных вод. Изменение температуры мерзлых пород в сторону положительных значений можно считать тепловым воздействием на криогенные толщи. Поэтому температурный критерий следует принимать как один из показателей при разработке мероприятий по минимизации негативных воздействий подземного захоронения минерализованных вод на земные недра и окружающую природную среду.

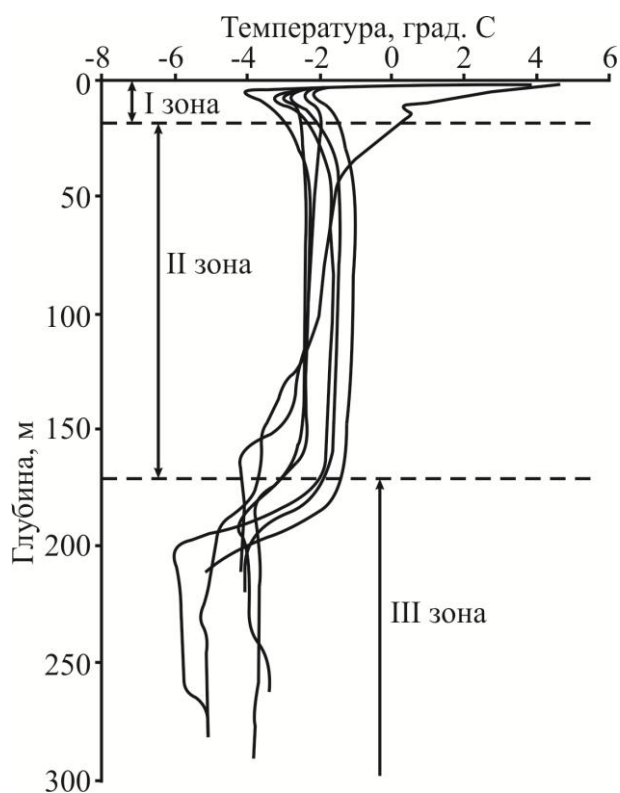


Рис. 2. Кривые изменения температуры с глубиной и зональность яруса ММП на полигонах захоронения протстоков Удачинского ГОКа

Криогенное строение осадочных пород участка «Левобережный» изучено по керну скважин глубиной 280–300 м. Установлено, что зоны дробления осадочного чехла отличаются интенсивной трещиноватостью и связанной с ней льдистостью. Породы в них местами превращены в щебень и сцементированы льдом. В приповерхностных интервалах отмечаются расширенные трещинные, трещинно-жильные и базальные криогенные текстуры. Ниже по разрезу осадочные толщи разбиты вертикальными и наклонными трещинами шириной от 0,5 до 12,0 см. Лед в трещинах чистый, прозрачный. В его массе заключены обломки пород. Трещины напластования зафиксированы только в глинистых известняках и мергелях. Влажность глинистых известняков составляет 6–14%. Объемная льдистость пород на участке изменяется по разрезу от 20 до 2–3%. В ряде случаев скважинами вскрыты пачки монолитных крепких известняков и доломитов мощностью 2–5 м. Пленки льда визуально видны только на сколе образцов.

В районе месторождения надмерзлотные воды представлены водами сезонно-талого слоя, водами гидрогенных подрусловых и подозерных таликов. Подмерзлотные воды представлены четырьмя водоносными комплексами, выделенными в соответствии с принципами гидрогеологической стратификации: верхне-, средне-, нижнекембрийским и верхнепротерозойским. Кроме этого, выделяются обводненные зоны кимберлитов и траппов, которые ввиду особенностей морфологии магматических тел характеризуются локальным распространением. Подмерзлотный верхнекембрийский водоносный комплекс (ВВК) приурочен к отложениям мархинской и моркокинской свит и представлен переслаиванием мергелей, глинистых известняков, доломитов. Кровлей комплекса являются морозные породы, залегающие на отметках от +99,5 до +183,8 м. Подошва водоносной толщи совпадает с подошвой первой пачки мархинской сви-

ты, залегающей на отметках от –175 до –265 м. Мощность комплекса составляет в среднем 370 м, суммарная эффективная мощность пластов-коллекторов достигает 52,0 м, что составляет около 10–15% мощности свиты. Характерной отличительной особенностью подмерзлотного горизонта является его малая водообильность и весьма низкие фильтрационные параметры: водопроводимость изменяется от 0,0003 до 0,03 м²/сут, проницаемость 0,011–0,5 мД, открытая пористость пород не превышает 7–14%. Подземные воды ВВК обладают незначительными напорами над кровлей, а естественный пьезометрический уровень устанавливается на отметках от +169,0 до +207,5 м. ВВК вскрыт и существенно сдренирован карьером «Удачный».

В процессе проведения буровых работ на участке «Левобережный» отмечались тектонические элементы, проявляющиеся в наличии маломощных (до 1–2 м) зон дробления, секущей открытой трещиноватости отложений. Повышенная частота встречаемости указанных показателей отмечается до глубины +210 абс. м. На нижних горизонтах наибольшим развитием пользуются межслоевая трещиноватость и слоистость. В керне по скважинам встречались трещины с зеркалами скольжения на их плоскостях. На участке захоронения зоны поглощений ниже эрозионного среза приурочены большей частью к крепким плотным известнякам или доломитизированным известнякам. Эти породы, кроме крупных трещин, содержат и открытые пустоты. По всей вероятности, немалую роль в поглощении играют и межслоевые трещины.

В процессе опытно-фильтрационных работ на участке «Левобережный» в периоды 1989–1991 и 2011–2012 гг. проведены 21 пробный и 3 кустовых налива в 16 скважин, при этом закачано свыше 12 тыс. м³ дренажных рассолов. Пробные наливы осуществлялись из автоцистерн (рис. 3), а опытные кустовые наливы выполнялись через накопительные емкости. При проведении наливов

фиксирувалась плотность закачиваемых рассолов, продолжительность налива, проводились замеры уровней воды в наблюдательных скважинах, определялась приемистость скважины. Контроль за уровнями выполнялся постоянно при помощи автономных манометров-термометров АМТ. Одновременно с наливом рассолов проводилась расходометрия, по результатам которой выделялись интервалы поглощений в стволах скважин.



Рис. 3. Пробный налив на участке «Левобережный» с использованием автотранспорта

По результатам выполненных гидрогеологических исследований установлено, что минимальное значение коэффициента водопримости на участке составляет $1,95 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{МПа}$. Однако криогидрогеологическая среда толщи ММП является благоприятной для захоронения дренажных рассолов, при этом экспериментально доказано: чем продолжительнее проводится закачка, тем больше устанавливается

коэффициент приемистости скважины. К примеру, в скважине № 212л были проведены пробный и кустовой налив. При пробном налив с продолжительностью 1 сутки коэффициент приемистости соответствовал $18,19 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{МПа}$, а при опытном кустовом налив с продолжительностью 20 суток на I ступени (10 суток) коэффициент приемистости составил $28,66$, на II ступени он увеличился до $57,17 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{МПа}$ (табл. 2). Коэффициент фильтрации по результатам расчетов на «Левобережном» участке изменяется в пределах от 10 до $174 \text{ м}/\text{сут.}$, а коэффициент водопроводимости – от 15 до $350 \text{ м}^2/\text{сут.}$

Водопримимость эксплуатационных скважин в условиях ММП является величиной переменной. Во время пробных наливов в скважины из-за ограниченной возможности использования больших объемов рассолов в основном не удается оценить максимальные показатели их поглощающей способности. В начальный момент сброса рассолов в ММП их отток идет по уже существующему свободному, главным образом, трещинному коллектору. Далее, по мере плавления ледового заполнителя трещин, появляются новые пути фильтрации. В большинстве случаев приемистость скважин возрастает в 2–3 раза. Такое же увеличение приемистости отмечено как на Октябрьском, так и на Киенгском полигонах [2]. На данных полигонах средний коэффициент приемистости соответствует $53\text{--}54 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{МПа}$.

Таблица 2

Результаты наливов рассолов в скважину 212л

Характеристика налива	Пробный налив	Кустовой налив	
		I ступень	II ступень
Продолжительность налива, сут.	1	20	
		10	10
Глубина до воды в скважине, м	–	298	
Плотность рассола, $\text{г}/\text{см}^3$	1,25	1,236	1,243
Температура рассола, °С	9,5	6	
Глубина динамического уровня, м	– на начало налива –	243	251,75
	– на конец налива	250,17	251,75
Повышение УПВ, м	50–57	46,25	31–46,4
Коэффициент приемистости, $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{МПа}$	18,19	28,66	57,17
Подшва коллектора по расходометрии, м		254	

Фильтрационно-емкостные свойства ММП на полигонах закачки по сравнению с начальными этапами освоения скважин увеличиваются (см. табл. 2). Это объясняется тем, что происходит плавление ледового заполнителя под воздействием сбрасываемых рассолов. Таким образом, ММП как среда для захоронения минерализованных стоков может изменять под воздействием рассолов свои поглощающие, емкостные и прочностные показатели. Некоторые проницаемые интервалы коллекторов на начальных этапах проработки не проявляются, так как вероятнее всего оказались закольматированы при бурении продуктами разрушения пород и льдом. При пробных наливах часть трещинных коллекторов открывается и становится местом проникновения жидкости в ММП [2, 3].

Гидродинамическая модель для участка «Левобережный» построена с учетом ранее разработанных моделей для Киенгского и Октябрьского полигонов закачки и данных гидрогеологических исследований. Для этого использовалось численное моделирование пространственных задач геофильтрации методом конечных разностей по программе «MODFLOW», входящей в лицензионный пакет GMS. Данная программа требует представления непрерывной области фильтрации в виде сеточной области. В плане область фильтрации должна быть разбита на прямоугольные блоки ортогональной сетки.

Для детального моделирования принята область, в центральной части которой расположен участок «Левобережный». Участок моделирования размером по оси x 13 км (с запада на восток) и 12 км (с севера на юг) разбит в плане по оси y на квадратные блоки размером $\Delta x = \Delta y = 100$ м. Таким образом, общее число блоков сеточной области составляет 46800.

Профильное строение рассматриваемого участка на модели (в соответствии с зональностью фильтрационных свойств ММП в разрезе и необходимо-

стью учета ВВК) представлено тремя слоями:

- верхний слой отражает интервал ММП от поверхности земли до абс. отм. +190 м;

- средний слой – интервал ММП с абс. отм. от +190 до +115 м;

- нижний слой – интервал ММП с абс. отм. от +115 до +95 м, к которым приурочен ВВК.

До начала захоронения рассолов ММП не содержали жидкую фазу в трещинно-поровом пространстве. С этой точки зрения процесс захоронения рассолов подобен фильтрации в «сухой грунт» с присущим ему фронтом продвижения границы раздела между «сухим» и насыщенным грунтом. В связи с этим, вместо начальных условий для напоров в верхнем и среднем слоях модели задавался признак «сухих» блоков. В дальнейшем при моделировании такие блоки могут «замачиваться» при появлении напоров в соседних блоках выше отметок подошвы слоя. Такая возможность «осушения – замачивания» реализована в программном обеспечении. В нижнем слое (ВВК) задано начальное условие $H_0 = 110 - 165$ м в зависимости от рельефа. На внешних границах слоев граничные условия не задавались. Эксплуатационные скважины полигонов захоронения моделировались как граничное условие 2-го рода (задан расход закачки) на период с 2013 по 2020 г. Влияние ручьев и инфильтрации на образующийся техногенный горизонт не учитывается, т.к. полигон расположен в области распространения ММП.

При выборе фильтрационных параметров учитывались структурно-тектонические условия участка, определенные по наливам фильтрационно-емкостные параметры ММП, данные расчетных параметров по Киенгскому и Октябрьскому полигонам. В нижнем слое (ВВК) коэффициент фильтрации принят $1,2 \times 10^{-5}$ м/сут., коэффициент упругоэластичности – 10^{-8} 1/м, водоотдача – 10^{-6} . В верхнем и среднем слоях коэффициенты фильтрации на большей территории

участка соответствуют 0,1 м/сут. Для нижнего слоя ММП расчетный осредненный $K_{\phi}=0,01-1,0$ м/сут., при этом максимальные значения находятся в центре по ряду эксплуатационных скважин. В верхнем слое значения K_{ϕ} приняты 0,15–1,0 м/сут.: в центральной части 1 м/сут, на придолинных участках 0,15 м/сут, в области распространения тектонических нарушений 0,2 м/сут. Коэффициент упругости $10^{-5}-10^{-6}$ 1/м, гравитационная водоотдача $10^{-4}-10^{-5}$.

Для прогнозной оценки полезной емкости Левобережного участка выполнен проверочный расчет с использованием численного моделирования по подъему уровней закачанных дренажных вод в ММП с использованием программы «MODFLOW». Рассмотрены два режима заполнения полезной емкости: первый вариант – при максимальных прогнозных водопритоках в горные выработки при диапазоне 250–350 м³/ч; второй вариант – при средних водопритоках, рассчитанных за 2000–2012 гг., которые соответствуют 213,4–298,7 м³/ч.

Критерием исчерпания емкости участка закачки принимался подъем кривой репрессии купола до уровня земной поверхности. Расчет выполнялся на период 2013–2025 гг. Полученное модельное решение позволяет учесть время подъема уровней до дневной поверхности и объем оставшейся емкости. В результате моделирования установлено, что при максимальных прогнозных водопритоках выход рассолов на земную поверхность может произойти в середине 2017 г. При 2-м варианте с меньшей интенсивностью закачки время использования участка увеличивается на

год, т.е. до середины 2018 г. Полезная емкость ММП на участке вычисляется по расходу сброса и периоду времени, при котором обеспечивается допустимый уровень подъема дренажных вод в куполе репрессии на участке закачки. При обоих вариантах численного моделирования полезная емкость оценивается величиной 11,6 млн м³ (табл. 3). На рис. 4 представлена прогнозная схема расположения уровней на конец эксплуатации участка. Максимальные уровни в центре Левобережного полигона достигают 330 абс. м. Наиболее опасным в экологическом плане участком является долина ручья Дьахаа, где возможен прорыв рассолов на дневную поверхность при дальнейшем удалении дренажных рассолов в толщу ММП.

Проверочная оценка прогнозной емкости в ММП на участке закачки расчетным методом с использованием коэффициента эффективной емкости [2] проведена по формуле для расчета полезной емкости криогенных толщ:

$$V = n_e \times S \times h_{эф}$$

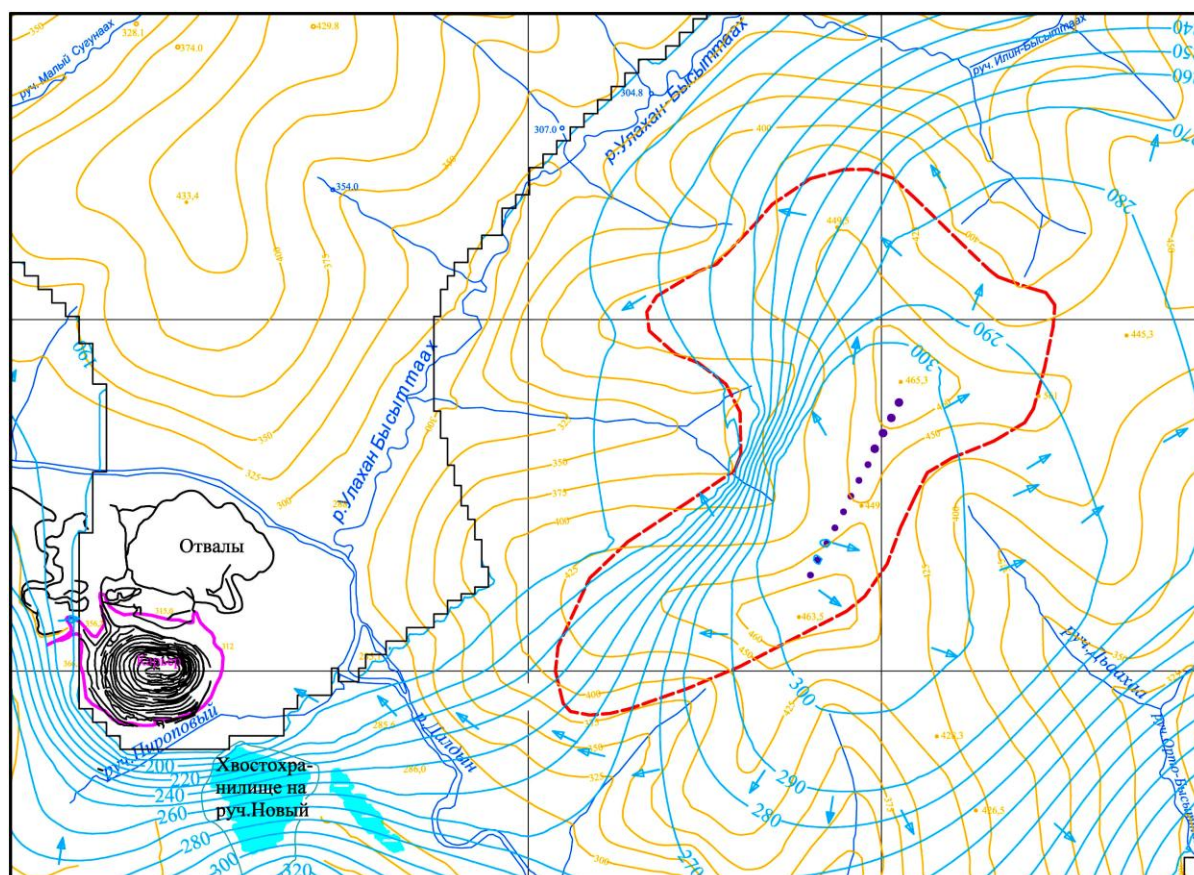
где n_e – коэффициент эффективной емкости, равный 0,002; S – площадь участка, $50,4 \times 10^6$ м²; $h_{эф}$ – эффективная мощность, определяется с учетом максимальной мощности (в центральной части участка) и экологически безопасной отметки (по уровням ручьев), 110 м. Емкость, рассчитанная с использованием данного метода, соответствует 11,1 млн м³ и практически совпадает с прогнозной оценкой, выполненной с использованием численного моделирования по программе «MODFLOW».

Заключение. Рассмотренные выше особенности структурно-тектонических,

Таблица 3

Показатели заполнения полезной емкости ММП при разных вариантах закачки

Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Дебит закачки, ср. статистический/максимальный, м ³ /ч	213/250	226/270	238/290	250/310	262/340	274,3
Объем закачанных рассолов за год, млн м ³	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	1,2
Общий объем закачанных рассолов, млн м ³	1,9	3,8	5,9	8,1	10,4	11,6



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

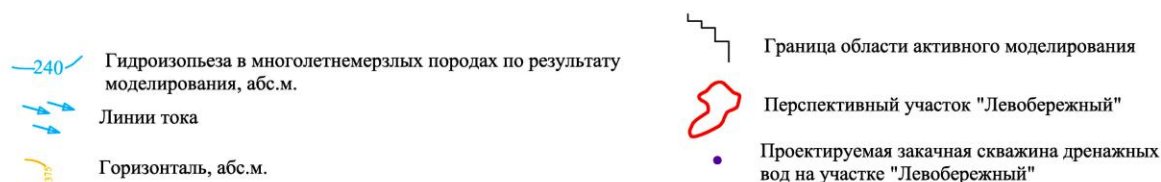


Рис. 4. Схема прогнозного распределения уровня техногенных вод в ММП на середину 2018 г.

криогидрогеологических и геотермических условий участка «Левобережный» подтверждают целесообразность использования его в качестве полигона захоронения минерализованных стоков карьера и рудника «Удачный».

Результаты проведенных опытно-фильтрационных работ с использованием пробных и опытных наливов показывают, что при взаимодействии криогенных толщ с рассолами дренажных вод происходит увеличение их проницаемости и емкости.

Гидродинамическая модель участка «Левобережный», построенная на основе численного моделирования по программе «MODFLOW» с учетом ранее разработанных моделей для Киенгского

и Октябрьского полигонов закачки, позволяет дать прогнозную оценку полезной емкости ММП участка и продолжительности закачки сточных вод карьера и рудника на полигоне, которая подтверждена расчетным методом.

Таким образом, новый участок «Левобережный» может быть использован в ближайшее время для удаления дренажных вод карьера и рудника «Удачный» без ущерба для окружающей среды региона.

Библиографический список

1. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Ир-

кутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. 507 с.

2. Дроздов А.В. Захоронение дренажных рассолов в многолетнемерзлых породах (на примере криолитозоны Сибирской платформы). Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2007. 296 с.

3. Дроздов А.В. Природные и техноприродные резервуары промышленных стоков в криолитозоне (на примере Якутской части Сибирской платформы). Якутск: Изд-во СВФУ, 2011. 416 с.

4. Толстихин Н.И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. М.-Л.: Госгеолтехиздат, 1941. 204 с.

References

1. Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V. Cryohydrogeology of diamond deposits of Western Yakutia. [Kriogidrogeologiaalmaznyh mestorozhdenii Zapadnoi Yakutii]. Irkutsk: Publ.H. ISTU, 2008, 507 p.

2. Drozdov A.V. Burial of drainage brines in permafrost rocks, exemplified by cryolite zone of the Siberian platform. [Zahoronenie drenazhnyh rassolov v mnogoletenemerzlyh porodah na primere kriolitozony Sibirskoy pltaformy]. Irkutsk: Publ.H. ISTU, 2007, 296 p.

3. Drozdov A.V. Natural and man-made reservoirs of industrial sewage in clyolite zone. [Prirodnye I tehnoprirodnye rezervuary promyshlennyh stokov v kio-litozone (na primere Yakutskoy chasti Sibirskoy platformy)]. Yakutsk: Publ. H. SVFU, 2011, 416 p.

4. Tolstikhin N.I. Underground waters of frozen zone of lithosphere. [Podzemnye vody merzloi zony litosfery].M.-L.: GosGeolTehlzdat, 1941, 204 p.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Иркутского государственного технического университета Л.И. Аузина

УДК 622.36.002.8

УЛЬТРАОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СУЛЬФИДНЫХ Cu-Ni РУД И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ (СЕВЕРО-БАЙКАЛЬСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)

© Л.И. Худякова¹, С.С. Тимофеева²

¹Байкальский институт природопользования СО РАН, 670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.

²Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведено краткое описание рудоносных массивов ультраосновных пород. Рассмотрен минералогический состав дунитов и верлитов Йоко-Довыренского массива. Показана возможность их использования в качестве добавки при производстве строительной керамики. Установлено, что по своим физико-механическим показателям полученный кирпич удовлетворяет требованиям ГОСТ и может использоваться в строительстве.

Библиогр. 10 назв. Табл. 3.

Ключевые слова: отходы горнодобывающей промышленности; ультраосновные породы; керамический кирпич.

ULTRABASIC ROCKS OF SULPHIDE Cu-Ni ORES IN NORTH-BAIKAL AND THEIR PRACTICAL USE

L.I. Khudyakova, S.S. Timofeeva

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, 8 Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The fields containing ultrabasic rocks are briefly reviewed. The mineralogical composition of dunites and wehrlites from the Ioko-Dovyren massif was analyzed. The authors describe possibility to use them as additives in construction ceramics. It is recognized that physical and mechanical properties of produced bricks meet the requirements of the State Standard Specifications. Therefore the bricks can be utilized in construction.

10 references. 3 tables.

Key words: mining industry waste; ultra basic rocks; ceramic brick.

Основным направлением в освоении минерально-сырьевой базы Республики Бурятии, да и России в целом, является рациональное природопользование и внедрение наилучших существующих технологий. Согласно определению, приведенному в законе «Об охране окружающей среды», наилучшая существующая технология (НТС) – технология, основанная на последних достижениях науки и техники, направленная на снижение негативного воздействия на окружающую среду и имеющая установленный срок практического приме-

нения с учетом экономических и социальных факторов [9]. К основным критериям определения наилучших существующих (доступных) технологий относятся: соответствие новейшим отечественным и зарубежным разработкам; экономическая и техническая целесообразность внедрения; наименьший уровень воздействия на окружающую среду в расчете на единицу произведенной продукции (работы, услуги); наличие ресурсо- и энергосберегающих методов; использование малоотходных или безотходных процессов. В связи с этим,

¹Худякова Людмила Ивановна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории химии и технологии природного сырья, тел.: 89516383724, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru

Khudyakova Lyudmila, Candidate of technical sciences, Researcher of the Laboratory of Chemistry and Technology of Natural Raw Materials, tel.: 89516383724, e-mail: lkhud@binm.bscnet.ru

²Тимофеева Светлана Семеновна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой промышленной экологии и БЖД, тел.: 8(3952) 405671, e-mail: timofeeva@istu.edu

Timofeeva Svetlana, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Ecology and Life Safety, tel.: 8(3952) 405671, e-mail: timofeeva@istu.edu

крайне важное значение приобретают разработка и реализация новых экологически чистых технологий для рационального использования природных ресурсов, а именно глубокой переработки сырья и особенно – отходов производств. Естественно, что это актуально для предприятий минерально-сырьевого комплекса, так как добыча и переработка минерального сырья в отличие от других видов деятельности оказывает воздействие на все элементы биосферы – литосферу, гидросферу, атмосферу, включая естественную биоту, независимо от способа разработки месторождения.

В настоящее время объявлены торги на освоение Северо-Байкальской никеленосной провинции, расположенной на территории Республики Бурятия в пределах складчатого обрамления Сибирской платформы. Здесь широко развиты базит-ультрабазитовые массивы, вмещающие многочисленные проявления платино-металльно-медно-никелевого оруденения.

В Северо-Байкальском поясе проявления сульфидной Cu-Ni минерализации зафиксированы почти во всех интрузивах габбро-пироксенит-дунитовой формации, образующих две параллельные зоны: юго-восточную – Чайскую и северо-западную – Довыренскую. Наиболее значительные месторождения и проявления сульфидных Cu-Ni руд выявлены в Чайском и Йоко-Довыренском массивах.

Чайский габбро-перидотит-дунитовый плутон линзовидной формы вытянут в северо-восточном направлении. Общая длина плутона достигает 18 км, а наибольшая ширина – 3,5 км. Дуниты в плутоне образуют линзовидный блок длиной 1600 м и шириной 400 м, который вытянут в восток-северо-восточном направлении и залегает среди перидотитов. Вблизи главного тела дунитов располагается несколько крупных ксенолитов этих пород, включенных в перидотиты [5].

Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый массив имеет размеры 3,5x26 км и находится на 56°36' северной широты и 110° восточной дол-

готы. С массивом связаны несколько типов сульфидного оруденения, среди которых промышленный интерес представляют Cu-Ni руды и платино-металльные малосульфидные руды – «тиллауотерского типа». Вкрапленные и жильные Cu-Ni руды концентрируются в плагиолерцолитах краевой зоны и отходящих от них в породы подошвы силлоподобных апофизах того же состава. Платинометалльное оруденение приурочено к стратифицированному петрографически неоднородному горизонту пород в зоне перехода от расслоенной троктолит-плагиодунитовой серии к оливиновым габбро [4, 6].

Ультраосновные горные породы в виде дунитов и верлитов находятся в центральной части массива в дунитовой зоне. Дуниты характерны для нижней и средней частей дунитовой зоны. В верхней ее части широко распространены верлиты.

Дуниты на 80–97% состоят из идиоморфных кристаллов оливина размером до 3 мм в поперечнике и акцессорной хромшпинели двух генераций, эпизодически отмечается петельчатая серпентинизация. Для них не характерны гидроксил- и щелочесодержащие минералы [4].

Верлиты представляют собой две модификации. Эндоконтактовые верлиты и жильные диопсидиты отличаются широкими вариациями структур и минерального состава. Клинопироксен образует наиболее крупные идиоморфные выделения, включающие изометричные резорбированные зерна оливина, изометричные кристаллы черной и зеленой шпинели [4]. Оливин и реже пироксен серпентинизированы по трещинам. Характерны гнезда, прожилки вторичного кальцита. В крупнокристаллическом неоднороднозернистом верлите зафиксированы гнезда кальцита и амезита, приуроченные к крупным выделениям сульфидов. Плагиоверлиты состоят из оливина (80–85%), плагиоклаза в ассоциа-

ции с клинопироксеном (5–10%) и алюмо-хромита (1–2%). Клинопироксен и плагиоклаз образуют ойкокрисы (0,5–5 мм), включающие округлые зерна оливина, более мелкие, чем в основной массе [4].

Общие запасы ультраосновных пород Йоко-Довыренского массива составляют миллиарды тонн. При разработке месторождения эти породы будут образовывать основную массу горных отвалов, которые займут огромные территории, нанося ущерб окружающей среде.

Проблема утилизации ультраосновных пород касается не только Байкальского региона, но и России в целом, так как подобные месторождения расположены по всей ее территории с запада на восток. Так, на Кольском полуострове находятся Мончегорский интрузив [6] и массив Падос-Тундра [3], в Мурманской области – Ковдорское месторождение магнезиально-силикатного сырья и Хабозерское месторождение оливинитов [3], на Урале – ряд массивов дунит-пироксенит-габбровой формации платиноносного пояса [6, 7], в Алтае-Саянской области – Лысогорский массив [6], в пределах Алданского щита – массивы Инагли, Кондер, Чад, Сыбах и др. [6, 2, 8].

Следовательно, проблема поиска путей утилизации и практического использования ультраосновных пород, которые до сих пор практически не нашли применения, крайне актуальна.

На стадии выбора наилучшей экологически чистой технологии утилизации горных отвалов из ультраосновных пород нами исследованы возможности использования ультраосновных пород Йоко-Довыренского массива при производстве новых видов строительных материалов, в частности кирпича керамического.

Как известно, при строительстве зданий и сооружений широкое применение находят керамические изделия и материалы. Основным сырьем для их производства является глина. Многие регионы России испытывают дефицит высококачественных глин, что затрудняет производство керамических материалов высокого качества. Для устранения данного недостатка и придания керамическим изделиям определенных свойств, в глину вводят различные добавки.

Нами предложено при производстве керамического кирпича в качестве добавок использовать отходы горнодобывающей промышленности, а именно ультраосновные породы из горных отвалов.

Объекты и методы исследования. В качестве сырьевых материалов использовали глину карьера “Гимлюйский” и ультраосновные горные породы Йоко-Довыренского массива (дуниты, верлиты), химический состав которых приведен в табл. 1.

Дуниты и верлиты истирали в стержневом вибрационном измельчителе типа 75Т-ДрМ в течение 5 минут и использовали в качестве отощающей добавки.

При изучении физико-химических и структурных взаимодействий данных пород с глиной использованы химический и рентгенофазовый анализы. При этом определялись фазовый состав пород и процессы спекания керамических материалов [10].

Известно, что на физико-механические показатели керамических материалов влияют вид добавки, ее количество и температура обжига. Для изучения зависимости механичес-

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов, масс. %

Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃ +FeO	Na ₂ O+K ₂ O	Ппп
Дунит	37,40	1,25	40,81	0,40	15,70	0,16	2,84
Верлит	39,70	1,80	43,83	0,81	11,12	0,19	1,29
Глина	61,80	16,15	0,88	5,58	6,84	3,00	4,60

кой прочности образцов, полученных пластическим способом формования, от количества вводимой добавки и температуры обжига готовили образцы-кубы с размером ребра 20 мм. После сушки обжигали в лабораторной электропечи с изотермической выдержкой 3 часа при различных температурах. Содержание вводимой в смесь с глиной минеральной добавки изменялось от 10 до 50%. Температурный режим менялся каждые 50°C в интервале от 950 до 1100°C. Испытания проводили по ГОСТ 473-81 «Изделия химически стойкие и термостойкие керамические».

Результаты исследований. Экспериментально установлено, что вид минеральной добавки, ее количество и температура обжига оказывают влияние на прочностные показатели керамических образцов. Как видно из табл. 2, наибольшую прочность имеют образцы всех составов, обожженные при температуре 1100°C. При температуре обжига 1050°C по прочности при сжатии удовлетворяют требованиям ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия» все образцы с добавкой дунита и образцы с добавкой верлита в количестве до 40%. При температуре 1000°C – образцы с добавкой до 40% дунита и 30% верлита.

При 950°C имеют прочность при сжатии, удовлетворяющую требованиям ГОСТ для кирпича керамического (7,5 – 30,0 МПа) только образцы с 10% добавки верлита и 10–20% добавки дунита. В целом, прочность при сжатии для образцов

с добавкой дунита выше, чем с добавкой верлита. При температуре обжига 950°C и 1000°C образцы керамики с добавкой до 40% ультраосновной породы имеют прочность при сжатии выше прочности контрольного образца. При температуре 1050°C этот показатель снижается до 20% добавки породы, и при 1100°C контрольный образец имеет наивысшую прочность при сжатии, что объясняется подплавлением глины.

Рентгенофазовый анализ обожженных образцов керамики с добавкой дунита и верлита показал, что при обжиге шихты происходит разрушение кристаллической решетки исходных соединений с образованием минералов группы кварца, а также корунда и гематита. Кристаллические новообразования позволяют сформировать новую структуру керамического черепка, определяющую физико-механические свойства полученных материалов.

Для определения области применения проведены исследования керамических материалов, полученных пластическим способом формования.

Результаты физико-механических испытаний образцов керамики на основе отходов горнодобывающей промышленности, выполненных по ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости», представлены в табл. 3.

Таблица 2

Прочность при сжатии образцов керамики

Количество добавки, масс. %	Дунит				Верлит			
	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре, °С							
	950	1000	1050	1100	950	1000	1050	1100
0	4,9	7,2	17,1	65,1	4,9	7,2	17,1	65,1
10	10,8	15,4	28,4	59,5	8,1	11,2	24,0	58,0
20	8,3	13,5	23,4	50,6	6,8	9,3	19,4	47,7
30	7,0	9,8	15,7	40,8	5,8	8,5	14,6	37,0
40	6,2	7,5	14,0	31,4	5,3	7,0	12,0	30,2
50	4,8	6,1	8,6	21,0	4,2	5,9	6,7	20,5

В результате проведенных исследований выявлено, что с увеличением количества добавки ультраосновных пород уменьшается огневая усадка образцов и их водопоглощение за счет замены части глины дунитом или верлитом, содержащими безводные силикаты магния и железа. С увеличением температуры обжига огневая усадка всех образцов увеличивается и также зависит от вида добавки и ее количества. Наибольшее увеличение огневой усадки наблюдается в образцах при меньшем количестве добавки в интервале темпе-

ратур от 1000 до 100°C, что обусловлено полным разрушением кристаллической решетки минералов глины и превращением их в аморфные вещества (глинозем, кремнезем).

В целом, образцы керамики с добавкой отходов горнодобывающей промышленности в виде дунитов, верлитов, полученные пластическим способом формования, имеют показатели прочности и водопоглощения, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 530-95 –Жирпич и камни керамические. Технические ус-

Таблица 3

**Физико-механические показатели образцов керамики
с добавкой ультраосновных пород**

Количество добавки, масс. %	Температура обжига, °С	Средняя плотность, г/см ²		Огневая усадка, %		Водопоглощение, %	
		Дунит	Верлит	Дунит	Верлит	Дунит	Верлит
0	950	1,78	1,78	5,5	5,5	13,6	13,6
	1000	1,80	1,80	5,9	5,9	12,4	12,4
	1050	1,94	1,94	12,8	12,8	11,3	11,3
	1100	2,25	2,25	15,7	15,7	10,9	10,9
10	950	1,69	1,73	3,3	3,4	12,0	12,5
	1000	1,81	1,79	3,9	4,3	11,3	12,1
	1050	1,84	1,91	10,1	11,6	10,7	11,8
	1100	2,21	2,05	12,1	13,1	10,1	10,6
20	950	1,76	1,75	3,0	3,2	11,3	11,9
	1000	1,83	1,85	3,7	4,0	10,9	11,7
	1050	1,93	1,94	7,5	8,7	9,8	10,8
	1100	2,26	2,10	9,5	10,9	9,4	10,0
30	950	1,83	1,80	2,5	2,8	10,8	11,3
	1000	1,84	1,87	3,5	3,6	10,2	10,2
	1050	1,94	1,95	5,2	6,3	9,9	9,8
	1100	2,23	2,17	7,6	9,2	9,5	9,3
40	950	1,92	1,94	2,2	2,5	9,8	9,9
	1000	1,95	1,96	3,1	3,2	9,3	9,5
	1050	1,96	1,97	4,0	4,8	9,0	9,0
	1100	2,12	2,18	6,8	7,8	8,7	8,7
50	950	1,96	1,98	1,8	1,9	9,5	10,2
	1000	1,99	2,02	2,4	2,5	9,0	9,5
	1050	2,01	2,98	3,5	3,9	8,8	8,9
	1100	2,22	2,20	5,2	6,2	8,4	8,5

ловия”: прочность 7,5–30 МПа, водопоглощение не менее 8%; ГОСТ 7484-78 – Кирпич и камни керамические лицевые. Технические условия”: прочность 7,5–30 МПа, водопоглощение 6–14% – и могут применяться для кладки и облицовки наружных и внутренних стен зданий и сооружений.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что отходы горнодобывающей промышленности в виде ультраосновных пород можно использовать в качестве отощающей добавки при производстве кирпича керамического. Это позволит сократить количество отходов и создать эколого-безопасное малоотходное производство при разработке месторождений полезных ископаемых.

Работа выполняется по программе ОХНМ РАН № 5.5.2 «Получение новых видов материалов с высокими эксплуатационными характеристиками из отходов горнодобывающей промышленности».

Библиографический список

1. Андреев Г.В. Кондерский массив ультраосновных и щелочных пород. Новосибирск: Наука, 1987. 80 с.
2. Богомолов М.А., Кицуя В.И. Чадский ультраосновной щелочной массив на восточной окраине Алданского щита // Петрография метаморфических и изверженных пород Алданского щита. М.: Наука, 1964. С. 156–165.
3. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2003 году // Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Мурманской области. Мурманск, 2004.
4. Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1998. 268 с.
5. Леснов Ф.П. Геология и петрология Чайского габбро-перидотит-дунитового никеленосного плутона (Северное Прибайкалье). Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1972. 228 с.

6. Магматические горные породы. М.: Наука, 1988. Т. 5. 512 с.

7. Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. С. 7–91.

8. Некрасов Н.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, 1994. 384 с.

9. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. От 25.06.2012) «Об охране окружающей среды».

10. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Котова И.Ю. Керамические материалы на основе отходов горнодобывающей промышленности // Экология и промышленность России. 2012. № 3. С. 26–27.

References

1. Andreev G.V. The Conder massif of ultrabasic and alkaline rocks. [Konderskiy massiv ultraosnovnyh i shelochnyh porod]. Novosibirsk: Nauka, 1987, 80 p.
2. Bogomolov M.A., Kitsuya V.I. Chadskiy ultrabasic alkaline massif on the neastern margin of the Aldan schield. [Chadskiy ultraosnovnoi shelochnoy massiv na vostochnoy orkaine Aldanskogo schita]. Moscow: Nauka, 1964, pp. 156–165.
3. Report on the state and protection of environment in Murmansk Region in 2003. [Doklad o sostojanii i ohrane okruzhajuschei sredy Murmanskoy Oblasti v 2003]. Murmansk, 2004.
4. Kislov E. V. Ioko-Dovyren layered massif. [Ioko-Dovyrenskiy rassloeniy massiv]. Ulan-Ude: Publ. H. BSC SB RAS, 1998, 268 p.
5. Lesnov F.P. Geology and petrology of the Chaisky gabbro-peridotit-dunitite Ni-bearing pluton in North Baikal region. [Geologia i petrologia Chaiskogo gabbro-peridotit-dunitovogo nikelenosnogo plutona (Severnoe Pribaikalje)].

Nobosibirsk: Nauka, SB RAS, 1972, 228 p.

6. Magmatic rocks. [Magmaticheskie porody]. Moscow: Nauka, 1988, V. 5, 512 p.

7. Ovchinnikov L.N. Mineral resources and metallogeny of the Urals. [Poleznye iskpaemye i metallogenia Urala]. Moscow: ZAO "GeoInformMark", 1998, pp. 7–91.

8. Petrology and Pt potential of circular alkaline-ultrabasic complexes. [Petrologia i platinonosnostj koljtsevyh schelochno-ultraosnovnyh kompleksov]. Nekrasov N.Ya., et al. (Eds.). Moscow: Nauka, 1994, 384 p.

9. Federal Law "Environment protection". [Federaljnyy Zakon "Ohrana okruzhajuschei sredy"].

10. Khudjakova L.I., Voiloshnikov O.V., Kotova I.Yu. Ceramic materials production based on mining waste. [Keramicheskie materialy na osnove othodov gornodobyvajuschei promyshlennosti]. Zhurnal Ekologia i Promyshlennostj Rosii – J. Ecology and Industry of Russia. 2012, no. 3. pp. 26–27.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Иркутского государственного технического университета М.Е. Тонких

Гипотезы, идеи, дискуссия

УДК 553.078

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ РАЗВИТИЯ И СТРОЕНИЯ ЗЕМЛИ

(Об учебнике «МЕТАЛЛОГЕНИЯ», автор проф. В.И. СТАРОСТИН, МГУ)

© Ж.В. Семинский¹

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

METALLOGENIC ANALYSIS BASED ON RECENT CONCEPTS OF THE EARTH STRUCTURE DEVELOPMENT

Zh.V. Seminskiy

Irkutsk state technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Как известно, металлогения является наукой, которая базируется практически на всех разделах геологических знаний. Именно по этой причине любые новые геологические концепции в той или иной степени затрагивают проблему закономерностей формирования и локализации месторождений полезных ископаемых. Очень остро эти закономерности дискутируются в последние десятилетия в связи со становлением новой тектонической парадигмы – концепции тектоники плит, которая заставляет существенно пересмотреть подходы ко многим вопросам металлогенического анализа, особенно в части геосторической металлогении и региональных металлогенических построений.

В связи с этим учебник «Металлогения» [2], написанный В.И. Старостиным (2-е издание), вызывает особый интерес вузовского сообщества. Прежде всего, необходимо отметить определенное мужество автора, который, несмотря на дискуссионность и несовершенство многих новых положений, касающихся эволюции Земли и строения ее тектоносферы, решил использовать их

для анализа процессов рудообразования в истории нашей планеты, а также и в конкретных геодинамических обстановках. Такой анализ сделан не только в общем плане, но и применительно к отдельным типам месторождений полезных ископаемых.

Учебник состоит из трех частей: 1 – Теоретические основы металлогении, 2 – Эволюционная металлогения основных типов месторождений полезных ископаемых, 3 – Металлогенические основы поисков, прогноза и оценки минеральных ресурсов.

Часть 1 включает теоретические вопросы металлогении, в том числе такие, как происхождение полезных ископаемых в истории развития Земли, формационные, геохимические, петрологические, геодинамические и другие аспекты, определяющие главные закономерности формирования и локализации месторождений полезных ископаемых. Для объяснения происхождения полезных ископаемых автор использует основные положения тектоники плит, касающиеся обогащения верхних слоев литосферы металлогенными

¹Семинский Жан Вячеславович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии, геохимии полезных ископаемых, тел.: 8(3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

Seminskiy Zhan, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, professor, tel.: 8(3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

элементами в зонах спрединга (первая ступень), субдукции (вторая ступень), а также в процессе седиментогенеза и рециклинга (третья и четвертая ступени) [1]. Очевидно, подобное объяснение миграции и концентрации рудных элементов на настоящей стадии изучения этого вопроса является вполне приемлемым. При рассмотрении происхождения полезных ископаемых в этом разделе указывается, что в мантии отсутствуют флюидные потоки, способные переносить рудогенные элементы (стр. 49). В качестве главных источников растворов предполагаются воды океанов, подземные воды и атмосферные осадки. Эти источники рудоносных растворов действительно имеют место. Но в то же время вряд ли стоит полностью отрицать влияние флюидных потоков мантии, особенно – на перераспределение и концентрацию вещества месторождений полезных ископаемых на внутриплитном этапе развития, когда процессы плитной тектоники сменяются плюм-тектоническими процессами. Автор также подчеркивает «очень существенную долю мантийных источников флюидов (металлов и серы)», рассматривая далее (стр. 123) флюидодинамические системы.

В части 1 учебника, а также при рассмотрении отдельных видов полезных ископаемых в части 2, на большом фактическом материале показана продуктивность отдельных эпох и эволюция рудообразования в ходе развития Земли. Эта часть насыщена большим фактическим материалом. Приведенные систематики месторождений различных полезных ископаемых носят «металлогенический» характер, отражая связь месторождений с различными магматическими комплексами или с процессами рудообразования, или с тектоническими обстановками формирования, что вполне соответствует задачам металлогенического анализа. Однако здесь есть еще резерв совершенствования в плане уточнения классификаций месторождений ряда полезных ископаемых, кото-

рые разделяются то по формам рудных тел, то по генезису (жильные, штокверковые, здесь же скарновые, пегматиты и др.), то по связи с магматическими породами (лейкограниты, щелочные изверженные породы и др.). А месторождения полиметаллов разделены на полиметаллические скарновые, полиметаллические трещинно-жильные, полиметаллические осадочные, колчеданно-полиметаллические в вулканогенных или карбонатно-терригенных формациях, т.е. принцип систематики месторождений не очень понятен. Но главная цель этого раздела достигнута: показана эволюция металлогенических особенностей рассматриваемых полезных ископаемых. При этом особенно полный материал получен по месторождениям наиболее важных полезных ископаемых, таких как золото, уран и др.

Необходимо отметить, что в рассматриваемом учебнике нашли отражение многие весьма актуальные и проблемные вопросы металлогении, которые автор в последние годы неоднократно поднимал в печати. Особенно это относится к оригинальным воззрениям В.И. Старостина и Б.А. Соколова [3] на проблему флюидодинамики и процессов формирования рудных и углеводородных месторождений. В учебнике подробно рассматриваются условия зарождения и эволюции флюидодинамических систем, которые приводят к формированию широкого спектра месторождений полезных ископаемых, в том числе и углеводородных, что зависит, с одной стороны, от обстановок зарождения и миграции флюида, а с другой – от состава толщ пород, в которых происходят процессы флюидодинамики.

Заслуживают внимания и обсуждения проблемы родственности образования кимберлитов и карбонатитов, экзогенно-эндогенная модель кимберлитообразования и другие новые металлогенические идеи.

Часть 3 носит прикладной характер и содержит изложение металлогенических основ прогноза и оценки ми-

неральных ресурсов. В этой части автор снова возвращается к геодинамическим обстановкам, но уже более детально рассматривает их металлогенические особенности. Отмечаются наиболее характерные типы месторождений в таких обстановках, металлогеническая зональность, геологические и рудные формации. Сконцентрировав таким образом этот разрозненный в разных литературных источниках материал, В.И. Старостин наглядно показал основные особенности металлогении типичных тектонических обстановок земной коры.

В этой части рассматриваются также основные металлогенические подразделения, характеризуются металлогенические карты; из раздела специальной металлогении описываются металлогенические провинции с медно-молибден-порфировой и колчеданной минерализацией. Кратко излагается методика прогнозно-металлогенических исследований. Таким образом, в этой части отражены необходимые для студентов сведения о металлогеническом анализе. Хотелось бы только найти более детальную характеристику металлогенических факторов и критериев, т.к. именно они анализируются геологами в практической деятельности для перспективной оценки конкретных территорий.

Оценивая учебник «Металлогения» в целом, необходимо отметить, что он представляет капитальный труд, своеобразную сводку по главным разделам металлогенического анализа. Работа уникальна по многообразию затронутых проблем и явно выходит за грани учебника, приобретая характер монографии. Естественно, что многие вопросы металлогении являются дискуссион-

ными и еще долгое время будут таковыми. В связи с обилием использованного материала понятна также неравномерность освещения ряда положений. В заключение хотелось бы пожелать В.И. Старостину дальнейшей успешной работы над совершенствованием этой нужной для учебного процесса книги.

Библиографический список

1. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: учебник / Под ред. В.А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 2002. 560 с.
2. Старостин В.И. Металлогения: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М.: КДУ, 2012. 560 с.
3. Старостин В.И., Соколов Б.А. Флюидодинамические условия формирования металлогенических провинций и нефтегазоносных бассейнов // Известия секции наук о Земле РАЕН. 1998. Специальный выпуск. С. 12–22.

References

1. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A., Earth development. [Razvitie Zemli]. Uchebnik – Textbook. Edited by Sadovnichiy V.A. Moscow: Publ. H. MSU, 2002, 560 p.
2. Starostin V.I. Metallogeny: textbook. [Metallogenia: uchebnik]. 2nd edition. Moscow: KDU, 2012, 560 p.
3. Starostin V.I., Sokolov B.A. Fluid-dynamic conditions for formation of metallogenic provinces and oil-and-gas basins. [Fluido-dinamicheskie uslovia formirovania metallogenicheskikh provincii i neftegazonosnyh basseinov]. Izvestia seccii nauk o zemle RAEN – Bull. Izvestia of Earth Sci. Section, 1998, Spec. issue, pp.12–22.

Память о них сохраним

ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ СТЕПАНОВ – к 90-летию со дня рождения

© М.А. Тугарина¹, И.И. Верхозин²

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

**VADIM MIKHAILOVICH STEPANOV –
DEDICATED TO HIS 90th ANNIVERSARY**

M.A.Tugarina¹, I.I.Verkhozin²

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russia.



Геолог-практик, руководитель мощного геологического предприятия в Восточной Сибири, первооткрыватель группы урановых месторождений в Забайкалье, ученый, педагог, участник Великой Отечественной войны, орденосец, скромный и глубоко порядочный человек, посвятивший свою жизнь служению Родине – вот неполный перечень характеристик, за каждой из которых стоит огромная работа, ответственная, с

полной самоотдачей и всегда направленная на созидание нового, лучшего и нужного людям.

25 июня 2013 г. профессору Иркутского государственного технического университета, доктору геолого-минералогических наук Вадиму Михайловичу Степанову исполнилось бы 90 лет.

В 1941 г. 18-летним юношей Вадим Михайлович ушел на фронт, где за боевые заслуги был награжден Орденом Красной Звезды (1943), Орденом Отечественной войны 1 степени (1945) и многочисленными медалями.

В мирное время под его руководством был открыт ряд крупных стратегически важных месторождений в Юго-Восточном Забайкалье, что отмечено награждением Вадима Михайловича Орденом Трудового Красного Знамени (1963) и присвоением звания лауреата Ленинской премии (1970). Тогда было начато строительство г. Краснокаменска, где был построен ряд производственных (Приаргунский горно-хими-

¹Тугарина Марина Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры прикладной геологии.

Tugarina Marina, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geology.

²Верхозин Иван Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной геологии.

Verkhozin Ivan, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Applied Geology.

ческий комбинат) и гражданских объектов. В г. Иркутске по его инициативе был построен профилакторий «Зеленый мыс», бассейн «Изумруд», жилые дома и др. Имя В.М. Степанова занесено в книгу Почета Министерства геологии СССР.

Почти 25 лет Вадим Михайлович успешно возглавлял кафедру гидрогеологии и инженерной геологии Иркутского политехнического института, затем Иркутского государственного технического университета.

С 1976 по 1981 г., работая проректором по научной работе, В.М. Степанов много сил отдавал внедрению программно-целевого планирования и организации научно-исследовательской работы ВУЗа. И все эти годы были плодотворны и созидательны.

Профессор В.М. Степанов внес весомый вклад в развитие отечественной гидрогеологии – им была установлена гидрохимическая зональность подземных вод в горных сооружениях (1959),

обосновано выделение обводненных разломов как одного из типов гидрогеологических структур (1968), разработаны и определены принципы структурно-гидрогеологического анализа (1980), который стал определяющим во всех научно-исследовательских работах кафедры, выполнена систематизация гидрогеологических структур (1994).

Под руководством В.М. Степанова было подготовлено и защищено 7 кандидатских диссертаций. Признанием заслуг стало награждение Вадима Михайловича Орденом Октябрьской революции, Орденом Почета Российской Федерации и присвоение ему звания Почетного профессора Монгольского госуниверситета.

Яркая, плодотворная, до предела наполненная жизнь Вадима Михайловича всегда является для нас, его учеников, лучшим примером отношения к делу и истинного служения своему Отечеству.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. В журнале публикуются статьи по следующей тематике:
 - геологическое строение рудных месторождений (вмещающие комплексы пород, связь оруденения с магматизмом, осадконакоплением, метаморфизмом);
 - тектоника месторождений и рудных полей (складчатые, разрывные нарушения, магматогенные структурные элементы; геодинамические реконструкции);
 - минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых; геммология;
 - генетические вопросы формирования месторождений полезных ископаемых;
 - металлогения (рудные зоны, районы, пояса);
 - методика поисков и разведки рудных месторождений;
 - экономическая оценка рудных месторождений, правовые основы недропользования;
 - физико-геологические модели месторождений;
 - геофизические методы поисков и разведки рудных месторождений;
 - ГИС применительно к месторождениям полезных ископаемых;
 - горно-буровые методы поисков и разведки;
 - технологии обогащения и добычи полезных ископаемых;
 - гидрогеология и инженерная геология рудных районов, полей и месторождений;
 - вопросы геоэкологии применительно к освоению рудных районов, полей, месторождений.
2. Статьи принимаются от авторов, работающих в вузах России, в отраслевых и академических научно-исследовательских институтах и производственных горно-геологических организациях.
3. Объем статьи должен быть не свыше 12 стр. машинописного текста, включая библиографический список, таблицы и иллюстрации.
4. Статьи принимаются в 2-х экземплярах машинописи на листах формата А4 и на диске 3,5 или диске CD, в формате Microsoft Word 2000 для Windows. Шрифт Times New Roman, размер 12 (строки через 1,0 интервал), перенос слов автоматический. Параметры страницы и абзаца: отступы сверху 2,0 см, снизу, слева и справа 2,5 см, табуляция 1 см, ориентация книжная.
5. Статья должна сопровождаться индексом УДК (в левом верхнем углу), аннотацией на русском и английском языках (не более 7 строк каждая), списком ключевых слов на английском и русском языках, актом экспертизы, сведениями об авторах (название вуза, организации, учреждения, фамилия, имя, отчество, должность, контактный телефон, почтовый и электронный адрес) на русском и английском языках. Образец оформления первой страницы статьи приводится ниже.
6. Цитируемая литература дается общим библиографическим списком в конце статьи в алфавитном порядке и полном ее наименовании (не более 15 наименований). Список должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008. Ссылки в тексте приводятся в квадратных скобках с указанием порядкового номера источника в списке.
7. Текст статьи формируется в 2 столбца. Рисунки и таблицы помещаются в начале или конце страницы.
8. Рисунки и фотографии (2 экз.) 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 170x245 мм. В электронном варианте статьи представляются в виде отдельных файлов с расширением *BMP, *DOC, *JPEG или *TIF. Количество рисунков не должно превышать 5 шт. Распечатанные рисунки на стандартных листах формата А4 прилагаются к статье

- в отдельном конверте, пронумеровываются и снабжаются отдельным списком подписей с указанием их местоположения на полях рукописи и в пределах поля рисунка.
9. Статья должна быть подписана всеми авторами (количество авторов должно быть не более пяти) в конце текста с указанием полного названия организации, фамилии, имени, отчества, должности, почтового и электронного адресов авторов (на русском и английском языках). Подписи авторов заверяются в канцелярии учреждения или вуза. Статьи аспирантов и магистрантов должны быть подписаны научным руководителем.
 10. Желательно, чтобы к статье были приложены выписка из протокола заседания кафедры (лаборатории) о рекомендации публикации статьи и рецензия одного из членов редколлегии журнала.
 11. Авторы статей, публикуемых в сборнике, обязуются содействовать его популяризации в своих организациях, а также содействовать подписке.
 12. Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям. Поступающие в редакцию материалы возврату не подлежат.
 13. Журнал выпускается с периодичностью 2 номера в год.

Внимание! Публикации статей является **платной** (для аспирантов - **бесплатно**). Стоимость одной публикации определяется исходя из сметы издательства на текущий год, но не менее 50 руб. за 1 стр., включая один авторский экземпляр (без стоимости почтовых расходов). Стоимость журнала - 200 рублей.

Статьи, опубликованные в журнале «Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН», реферируются и рецензируются.

Перепечатка материалов журнала допускается только с согласия редколлегии.

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей.

По вопросам публикации обращаться по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Иркутский государственный технический университет, редколлегия, аудитория Е-314.

Телефоны:

8(3952) 40-51-12 – главный редактор Семинский Жан Вячеславович,

e-mail: seminsky@istu.edu

8(3952) 40-51-14 – зам. главного редактора Кочнев Анатолий Петрович,

e-mail: kochnev@istu.edu

8(3952) 40-56-53 – ответственный секретарь Яхно Марина Владиславовна,

e-mail: ymar@istu.edu

Образец оформления первой страницы

УДК 557. 89: 549. 5:543

ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНОГО И СИНТЕТИЧЕСКОГО МАЛАХИТА

© А.А. Куклина¹, Л.А. Иванова²

¹Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

²Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Методом низкотемпературного (40-80°C) гидротермального синтеза получен поликристаллический агрегат малахита. Приводятся данные термического анализа и микротвердости синтезированных образцов. Проведен сравнительный анализ геммологических свойств природного и синтетического малахита по литературным и собственным данным.

Библиогр. 3 назв. Ил. 1. Табл. 1.

Ключевые слова: малахит; гидротермальный синтез; геммологические особенности.

GEMOLOGICAL FEATURES OF NATURAL AND SYNTHETIC MALACHITE

A.A.Kuklina, L.A.Ivanova

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Institute of the Earth Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

We obtained a polycrystalline aggregate of malachite by the method of low temperature (40-80°C) hydrothermal synthesis. The data of thermal analysis and microhardness of synthesized samples are presented in the article. We performed the comparative analysis of gemological properties of natural and synthetic malachite according to the literature and our own data.

3 sources. 1 figure. 1 table.

Key words: malachite; hydrothermal synthesis; gemological features.

Природой создано огромное количество различных драгоценных и поделочных камней, каждый из самоцветов имеет свои уникальные свойства и особенности. Как нет камня тверже алмаза, так и нет другого самоцвета, который бы имел столь красивый зеленый цвет, такое разнообразие рисунка и форм выделения, как малахит. Минерал зеленого цвета, окраска которого обусловлена присутствием меди, встречается в виде натечных сферолитов, хорошо сложенных кристаллов различных форм и даже сталактитов. Отдельные кристаллы встречаются крайне редко и имеют облик коротко- или длиннопризматичес-

кий или игольчатый. Обычно малахит наблюдается в виде плотных натечных агрегатов, почек, корок, гроздевидных образований, сталактитов от бирюзового и бледно-зеленого цвета до ярко-, травяно- и темно-зеленого (до черно-зеленого). Разнообразие тонов зеленого цвета в агрегатах малахита обусловлено различной величиной его кристаллических индивидов в различных зонах (полосах) роста. Цвет малахита меняется в зависимости от строения агрегатов. При этом, чем крупнее выделения малахита в зонах, тем темнее их цвет. Тонко- и крипнокристаллический малахит

¹Куклина Анастасия Александровна, студентка факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии, кафедре геммологии, тел./факс: 8(3952) 405233.

Kuklina Anastasiya Aleksandrovna, student of the faculty of Geology, Geoinformatics and Geoecology, the chair of Gemmology, tel./fax: 8(3952) 405233.

²Иванова Лариса Александровна, старший научный сотрудник, тел.: 8(3952) 427191.

Ivanova Larisa Aleksandrovna, senior research worker, tel.: 8(3952) 427191, e-mail: liva@crust.irk.ru

**ИЗВЕСТИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ СЕКЦИИ НАУК О ЗЕМЛЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

2013 год

№ 1 (42)

Компьютерный набор и верстка А.П. Кочнев, В.В. Шульга

Подготовила к печати Н.В. Родионова

Подписано в печать 25.06.2013. Формат 60 x 90 / 8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 22,0.
Тираж 300 экз. Зак. 90. Поз. плана 3 н.

Лицензия ИД № 06506 от 26.12.2001
Иркутский государственный технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Учредитель Иркутский государственный технический университет.
Зарегистрирован Федеральной службой по надзору
за соблюдением законодательства в сфере коммуникаций.
Свидетельство о регистрации журнала ПИ № ФС77-22266 от 2.11.05 г.