

и РУДЫ и МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

2
2017

И РУДЫ и МЕТАЛЛЫ

научно-технический журнал



№ 2 апрель – июнь 2017

Главный редактор А.И.Иванов

Заместитель главного редактора А.И.Черных

Заместитель главного редактора В.С.Жаркова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б.И.Беневольский

С.С.Вартанян

А.М.Вахрушев

А.Г.Волчков

Ю.К.Голубев

В.С.Звездов

С.Г.Кряжев

В.В.Кузнецов

Д.А.Куликов

Г.В.Седелникова

УЧРЕДИТЕЛЬ

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
РОСНЕДРА МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
№ 01919 от 21 декабря 1992 г.

Решением Высшей аттестационной комиссии
Министерства образования и науки Российской Федерации
журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Москва ЦНИГРИ 2017

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ

ISSN 0869-5997

Выходит 4 раза в год





СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

НОВОСТИ

Итоги VII Научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов», 13–14 апреля 2017 г., г. Москва

04

NEWS

The results of the VII Scientific-practical conference «Scientific-methodological basis of forecast, exploration and evaluation of deposits of precious and base metals and diamonds», April 13–14, 2017, Moscow

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Голенев В.Б., Ермакова Ю.В., Конкина О.М., Тарасов А.С., Тучина М.В.
К итогам апробации состояния ресурсного потенциала алмазов, благородных и цветных металлов на 2016 г. по результатам поисковых работ

07

GENERAL PROBLEMS OF GEOLOGY AND METALLOGENY

Golenev V.B., Yermakova Yu.V., Konkina O.M., Tarasov A.S., Tuchina M.V.
Results of testing for diamond, precious and base metal resource potential state for 2016 based on prospecting results

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Горошко М.В., Шевченко Б.Ф., Гильманова Г.З., Носырев М.Ю.
Геологическое строение и ураноносность Купуринской площади Алдано-Станового щита

17

APPLIED METALLOGENY

Goroshko M.V., Shevchenko B.F., Gilmanova G.Z., Nosyrev M.Yu.
Geological structure and uranium potential of Kupurinskaya area, Aldan-Stanovoy shield

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Кондратьева Л.А., Емельянова Н.Н.

Типоморфизм эндогенных карбонатов как показатель формационной принадлежности оруденения

29

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

Kondratieva L.A., Yemelyanova N.N.

Typomorphism of endogenous carbonates as an indicator of the formation type of mineralization

Кузнецова С.В.

Некоторые вопросы генезиса и минералогические особенности стратиформных руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, Алтайский край

40

Kuznetsova S.V.

Some issues of genesis and mineralogical features of stratiform ores of pyrite polymetallic deposits from Rudny Altai, Altai territory

Юричев А.Н.

Рудные хромшпинелиды массивов Сыум-Кеу и Харчерузский: химизм и генетическая природа, Полярный Урал

51

Yurichev A.N.

Ore chromeshpinelides of Syum-Keu and Harcheruzsky massifs: chemical composition and genetic nature, the Polar Urals

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Миляев С.А., Кряжев С.Г., Виленина Ю.В.

Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения

60

PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

Milyaev S.A., Kryazhev S.G., Vilenkina Yu.V.

Ion-sorption method of lithochemical prospecting for hidden polymetallic deposits: general principles, experience of use

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Ананьев П.П., Мещеряков Р.В., Ларионов П.В., Плотникова А.В., Беляков К.О.

Методические подходы к переработке космического минерального сырья

69

TECHNICAL FACILITIES AND EQUIPMENT IN GEOLOGICAL EXPLORATION

Ananyev P.P., Meshcheryakov R.V., Larionov P.V., Plotnikova A.V., Belyakov K.O.

Methodical approaches to cosmic mineral material processing

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

В.Б.Голенева

75

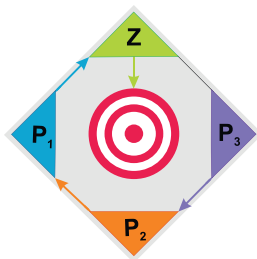
OUR CONGRATULATIONS

Golenev V.B.

XXIX Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых, 15–21 сентября 2018 г., г. Москва

76

XXIX International mineral prospecting congress (IMPC 2018), September 15–21, 2018, Moscow



ИТОГИ VII НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ»

13–14 апреля 2017 г., г. Москва

В соответствии с планом выставочных мероприятий, конференций и научных совещаний Федерального агентства по недропользованию на 2017 г. (Приказ Роснедра от 27.01.2017 № 37) 13–14 апреля 2017 г. в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ) состоялась VII Научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов». Конференция проводилась при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук, Российского геологического общества.

Цель конференции – обеспечение реализации Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (подпрограмма I «Воспроизводство МСБ, геологическое изучение недр») и положений «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года».

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений;
- использование комплексных моделей месторождений для прогноза, поисков, оценки и разведки;
- использование передового опыта проведения ГРП по воспроизводству минерально-сырьевой базы России;
- разработка и реализация инновационных технологий ГРП.

Состав организационного комитета: сопредседатели – С.А.Аксёнов (Роснедра), Н.В.Милетенко (Минприроды России), А.И.Иванов (ФГУП ЦНИГРИ), Е.Г.Фаррахов (РосГео); члены – Е.М.Аксёнов (ФГУП ЦНИИ-геолнеруд), Б.И.Беневольский (ФГУП ЦНИГРИ), С.С.Вартанян (ФГУП ЦНИГРИ), А.Г.Волчков (ФГУП ЦНИГРИ), Ю.К.Голубев (ФГУП ЦНИГРИ), В.С.Звездов (ФГУП ЦНИГРИ), В.В.Кузнецов (ФГУП ЦНИГРИ), Г.А.Машковцев (ФГБУ «ВИМС»), И.Ф.Мигачёв (ФГУП ЦНИГРИ), Ю.Г.Сафонов (ИГЕМ РАН), Г.В.Седельникова (ФГУП ЦНИГРИ), И.Г.Спиридонов (ФГУП «ИМГРЭ»), В.И.Старостин (МГУ им. М.В.Ломоносова), А.И.Черных (ФГУП ЦНИГРИ), А.Н.Щендригин (ФГУП ЦНИГРИ).



Конференцию открыл заместитель директора Департамента государственной политики и регулирования в области геологии и недропользования Минприроды России Н.В.Милетенко. С приветствиями выступили президент РосГео В.П.Орлов, первый вице-президент РосГео Е.Г.Фаррахов, генеральный директор ФГБУ «ВИМС» Г.А.Машковцев.



В конференции приняли участие представители 40 организаций Роснедра, Минприроды России, РАН, Минобрнауки, недропользователей. На пленарном заседании заслушаны 34 доклада, из них девять от ФГУП ЦНИГРИ. На стендовой сессии демонстрировались 42 доклада, в том числе 25 от ФГУП ЦНИГРИ; 24 доклада представлены в заочной форме. К началу работы конференции вышел в свет сборник тезисов докладов.

В рамках конференции состоялся круглый стол «Современные методики прогнозирования и поисков алмазных месторождений», в работе которого участвовали представители ФГУП ЦНИГРИ, НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), ОАО «Севералмаз», ЗАО КЦ «Росгеофизика», МГУ им. М.В.Ломоносова, ИГМ СО РАН, АО «СНИИГГиМС», ООО «Прозэкс сервис». Были заслушаны 15 докладов, из них три от ФГУП ЦНИГРИ.

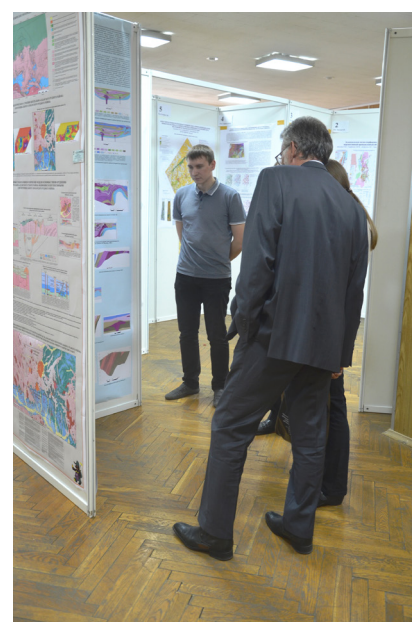
В докладах, представленных на конференции, рассмотрен широкий круг актуальных вопросов повышения результативности и эффективности ГРП на благородные, цветные металлы и алмазы. В их числе: научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений; методики проведения геологоразведочных работ; использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки; оптимизация и координация работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению федеральных ГРП; принципы планирования и реализации федеральных ГРП; обобщение передового опыта ведения ГРП по воспроизводству и использованию минерально-сырьевой базы России, приросту запасов; разработка и реализация инновационных технологий ГРП.



УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ ОТМЕТИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ:

- усиления роли отраслевых НИИ при научно-методическом сопровождении ГРР;
- участия отраслевых НИИ в подготовке проектов ГРР за счёт средств Федерального бюджета;
- формирования требований к результатам и качеству ГРР различных этапов и стадий;
- проведения отраслевыми НИИ прогнозно-минерагенических исследований для выделения перспективных участков, требующих постановки геологоразведочных работ и включения в планы ГРР Роснедра;
- разработки методических и нормативных документов для обеспечения планирования и экспертизы результатов, качества и надёжности геолого-поисковых работ, выполняемых за счёт средств Федерального бюджета;
- создания программно-целевых систем прогноза, поисков и воспроизводства МСБ цветных и благородных металлов, алмазов на основе актуализированных комплексных моделей месторождений;
- систематизации поисковых обстановок для объектов цветных и благородных металлов, алмазов с формированием баз данных и банков эталонов в целях оптимизации проектов ГРР;
- создания эффективных технологий прогноза, поисков и оценки месторождений ТПИ с использованием современных методологий, методов и аппаратурных средств;
- постановки тематических работ, направленных на разработку и адаптацию к конкретным поисковым обстановкам эффективных прогнозно-поисковых комплексов;
- включения в технические (геологические) задания по объектам ГРР современных методов анализа вещества (ICP MS, ICP OE, AAS и др.);
- проведения опережающих геолого-геофизических работ на выделенных перспективных площадях (прогнозно-минерагенические исследования, ГМК-500, 200) в целях их подготовки для поисковых работ и предоставления потенциальным недропользователям;
- переоценки прогнозных ресурсов алмазов категории P_3 для выбора наиболее перспективных площадей под постановку ГРР.

*Учёный совет ЦНИГРИ
Оргкомитет конференции*



К ИТОГАМ АПРОБАЦИИ СОСТОЯНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА 2016 г. ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Приведены основные итоги развития ресурсного потенциала группы алмазов, золота, серебра, МПГ, меди, никеля, свинца и цинка на территории Российской Федерации в 2010–2016 гг. по основным результатам завершённых проектов геологоразведочных работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы. Показаны наиболее часто встречающиеся методические недостатки количественной оценки прогнозных ресурсов, снижающие эффективность поисковых работ, инвестиционную привлекательность выявленных объектов. Сделаны выводы по устойчивости состояния сырьевой базы и необходимости её перманентной актуализации.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы, геологоразведочные работы, апробация, минерально-сырьевая база.

При относительно устойчивой обеспеченности отечественной экономики запасами и прогнозными ресурсами (ПР) по некоторым из основных видов твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) имеется ощутимый дефицит минерально-сырьевой базы (МСБ) и производства, требующий покрытия импортом: бокситам, марганцу, титану, хрому, танталу, рению, редким землям и некоторым другим. В одобренной Правительством РФ «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года» предусмотрены средне-долгосрочные целевые мероприятия, направленные на выявление и оценку ресурсного потенциала фонда недр для воспроизводства запасов минерального сырья с концентрацией геологоразведочных работ (ГРР) в минерально-сырьевых центрах (территориях) опережающего социально-экономического развития регионов. Один из важнейших пунктов мероприятий для этого – проведение в 2010–2016 гг. системной оценки прогнозных ресурсов ТПИ по завершённым проектам поисковых работ.

Известно, что геологической службой СССР переоценка прогнозного потенциала МСБ осуществлялась, начиная с 1983 г., каждое пятилетие (при подготовке пятилетних планов социально-экономического развития). Такой порядок позволял концентрированно учитывать все научно-геологические достижения и открытия, совершенствовать методику ГРР, рекомендовать эффективные технологии переработки руд, новую геологоразведочную технику, планировать ГРР по приросту запасов. Последняя переоценка ПР была проведена в 2010 г. Она охватила 50 видов ТПИ, объединённых в группы топливно-энергетического сырья, чёрных, цветных, легирующих, редких и благородных металлов, алмазов, неметаллического сырья и, впервые, цветных камней. Фактически был представлен основной спектр ТПИ России, исключая реже встречающиеся и общераспространённые.



Голнев Владимир Борисович

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
golenev_vb@mail.ru

Ермакова Юлия Викторовна

научный сотрудник
ermakova-tsnigri@mail.ru

Конкина Ольга Михайловна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
okonkina@tsnigri.ru

Тарасов Александр Сергеевич

старший научный сотрудник
astarasov58@mail.ru

Тучина Мария Вячеславовна

ведущий инженер
tuchinamv@bk.ru

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



На 2010 г. информмассив включал >3000 объектов по 43 основным ТПИ. Половина из них пришлась на алмазы, благородные и цветные металлы (АБЦМ). По сравнению с 2003 г. число объектов всех ТПИ увеличилось в разы. Причина роста кроется в инновационно-технологических и рыночных факторах, среди которых наиболее динамично развивающиеся – ускоренный переход на карьерную разработку месторождений с пониженным содержанием полезных компонентов и, соответственно, более мощными рудными телами; новейшие зарубежные технологии переработки руд, такие как биотехнология и автоклавное выщелачивание упорных руд, их предобогащительная сепарация и др.; внедрение эффективной зарубежной высокопроизводительной горнотранспортной и разведочной техники, а также позитивное влияние мирового рынка минерального сырья.

В дальнейшем оценка ПР по завершённым проектам поисковых работ стала проводиться ежегодно с количественным и качественным объектным апробированием ресурсов и учётом их в сводном кадастре, передаваемым на хранение в Росгеолфонд. Методическая и технологическая процедуры апробации ЦНИГРИ авторских оценок ПР АБЦМ проводились путём последовательного решения взаимоувязанных задач металлогенической и геолого-экономической экспертизы инвестиционной привлекательности объектов с подготовкой рекомендаций по лицензированию. Базовыми для осуществления экспертизы и апробации ПР являются нормативные и рекомендательные методические разработки, среди которых главные:

- нормативные – Классификация запасов и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых (2008 г.), Положение о порядке проведения ГРП по этапам и стадиям (1999 г.), Методические рекомендации по оценке, апробации и учёту ПР ТПИ (по состоянию на 01.01.1998 и 01.01.2003), Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых (1986 г.), Металлогенический кодекс (2012 г.);
- рекомендательные – Оценка прогнозных ресурсов АБЦМ. Методическое руководство (ЦНИГРИ, 2002 г.), Принципы, методы и порядок оценки ПР ТПИ, Рекомендации межинститутской рабочей группы Роснедра (ЦНИГРИ,

2010 г.), Временный порядок представления на апробацию оценок ПР ТПИ для включения в перечень нераспределённых участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование (проект ЦНИГРИ, 2013 г.).

По завершённым проектам в 2010–2016 гг. число объектов АБЦМ с положительными результатами увеличилось на 28% и составляет ~2000. Последний кадастровый учёт ПР АБЦМ, как и других видов ТПИ, выполнен на 01.10.2015. В 2016 г. соответственно проведённой апробации (табл. 1) сформирован полный информмассив по состоянию на 01.01.2016. Систематизированные данные в формате «кадастрового» учёта ПР по видам ПИ, федеральным округам, субъектам федерации приведены в табл. 2, 3.

В указанном отчётном периоде 01.10.2015–01.01.2016 изменения ПР АБЦМ затрагивают 100 объектов по шести видам ПИ (см. табл. 1), 83 из которых финансировались федеральным бюджетом, в том числе 71% – объекты благородных металлов, 11% алмазов. В нераспределённом фонде недр (НРФН) ПР изменились по 80 объектам, в распределённом (РФН) – по 20. Прогнозные ресурсы МПГ и никеля не изменились. Увеличились ПР кат. Р₃ алмазов и золота, уменьшились – меди, свинца, цинка. Прирост ресурсов кат. Р₂ получен по золоту, серебру, меди, свинцу, цинку, алмазам; кат. Р₁ – меди, свинцу, цинку, золоту, серебру. Рост ПР почти полностью связан с завершёнными ГРП и в меньшей степени – с переоценкой геологических материалов прошлых лет. Уменьшение ПР по категориям обусловлено их реализацией при переводе в более высокие категории (или запасы). На отдельных объектах золота и алмазов имело место незначительное неподтверждение проектной оценки.

В табл. 2 показано количественное состояние ПР всего информмассива АБЦМ, увеличившегося к 2016 г. на 57 объектов. Из них в НРФН сохраняется ~70% объектов, в РФН – ~30%. В перечне некондиционных ПР содержится 300 объектов (13%). Сводные данные о ПР на территории РФ обобщены в табл. 3, из которой следует, что по федеральным округам не произошло существенных изменений. Количественный индекс величины ПР по категориям учёта, представляющий отношение апробированных ресурсов 2016/2015, близок к единице, за исключением приростов золота кат. Р₁ в Кабардино-Балкарии (в 11 раз), Амурской области (1,3),

1. КОЛИЧЕСТВО ОБЪЕКТОВ АБЦМ С ИЗМЕНЕНИЯМИ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ

Полезные ископаемые	Всего	С изменениями по результатам ГРП	С изменениями, не связанными с ГРП	НРФН	РФН
Алмазы	11	8	3	8	3
Золото коренное	69	55	14	52	17
Серебро	2	2	-	2	-
МПП	Без изменений				
Медь	8	8	-	8	-
Никель	Без изменений				
Свинец	5	5	-	5	-
Цинк	5	5	-	5	-
Всего	100	83	17	80	20

Примечание. «-» – без изменений.

кат. Р₃ в Иркутской области (1,9), меди кат. Р₁ (1,4), свинца и цинка (2) в Алтайском крае.

Алмазы. В Пермском крае увеличены ресурсы кат. Р₂ и Р₁ в Яйвинском россыпном районе на новых прогнозируемых россыпях. В Республике Саха (Якутия) на Келимярской площади в северной части Оленёкского поднятия (бассейн руч. Булкур) проведена оценка Верхненикабытского куста алмазоносных трубок с ресурсами кат. Р₂ 78 млн кар при среднем содержании 3,7 кар/т, а также кат. Р₁ 0,8 тыс. кар в русловой россыпи р. Никабыт (1,34 кар/м³) и Р₂ 0,7 тыс. кар в погребённой россыпи (0,53 кар/м³). Оценены также ресурсы по кат. Р₃ 0,9 тыс. кар в Казанцевском комплексе водно-ледниковых отложений. Данные результаты позволяют говорить о выявлении нового

перспективного алмазоносного района, требующего дальнейшего изучения.

Золото. Получен внушительный прирост ПР категорий Р₁ и Р₂ в Кабардино-Балкарии на северном фланге Тырныаузского вольфрам-молибденового рудного узла в результате переинтерпретации и доизучения структуры рудного поля с оценкой ПР крупного золоторудного месторождения (зоны Зыгыркольская, 2, 3, 4, 7 и участок Сухие Балки) по кат. Р₁ 217 т (2,0–2,5 г/т) и Р₂ 21 т. В Иркутской области вдвое увеличены ПР кат. Р₃ в углистых карбонатно-терригенных комплексах Бодайбинского рудного района с сухоложским типом оруденения, в результате переинтерпретации элементов многофакторных рудоперспективных моделей Мамско-Бодайбинского антиклинория.

2. КОЛИЧЕСТВО ОБЪЕКТОВ С АПРОБИРОВАННЫМИ ПРОГНОЗНЫМИ РЕСУРСАМИ АБЦМ НА 01.10.2015 И 01.01.2016

Полезные ископаемые	Всего		НРФН		РФН		В перечне некондиционных ПР	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Алмазы	140	144	86	89	54	55	2	2
Золото коренное	1165	1195	780	799	385	396	179	187
Серебро	110	110	80	80	30	30	5	5
МПП коренные	14	14	7	7	7	7	-	-
Медь	150	162	101	115	49	47	56	56
Никель	56	56	34	34	22	22	-	-
Свинец	109	114	103	109	6	5	21	21
Цинк	167	173	140	147	27	26	29	29
Итого	1911	1968	1331	1380	580	588	292	300
%	100,0	100,0	69,7	70,1	30,3	29,9	-	-

Примечание. «-» – без изменений.

3. СВОДНЫЕ СИСТЕМАТИЗИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ ПО СОСТОЯНИЮ ПР АБЦМ НА 01.01.2016

Федеральные округа, ПИ, ед. изм.	Состояние ПР на 01.10.2015			Состояние ПР на 01.01.2016			Индекс вариации (2016/2015) состояния ПР		
	P ₃	P ₂	P ₁	P ₃	P ₂	P ₁	P ₃	P ₂	P ₁
Алмазы, млн кар	3074,9	321,21	380,53	3076	399,9	379,5	1	1,24	0,99
Центральный	310	-	-	310	-	-	1	-	-
Северо-Западный	1087	60	44,8	1087	60	44,8	1	1	1
Приволжский	131,2	24,868	0,205	131,2	24,868	0,205	1	1	1
Сибирский	617	-	-	617	-	-	1	-	-
Золото коренное, т	24 387,1	10 347,9	5319,3	26 269	10 635,5	5722,1	1,08	1,02	1,07
Северо-Западный	1161	113,4	42,6	1140	113,4	42,6	0,98	1	1
Северо-Кавказский	255	469,2	33,6	255	490,2	250,6	1	0,05	7,46
Южный	105	139,6	13,4	105	139,6	13,4	1	1	1
Приволжский	1035	510,7	122,82	1035	510,7	122,8	1	1	0,99
Уральский	1220	1144,4	306,2	1220	1144,4	306,2	1	1	1
Сибирский	10 391,8	3452,7	2604,6	12 164,7	3617,3	2748,6	1,17	1,05	1,05
Дальневосточный	10 219,3	4517,9	2196,2	10 349,3	4619,9	2238	1,01	1,02	1,02
Серебро, т	99 534	78 442	34 203	99 534	80 634	35 412	1	1,028	1,035
Северо-Западный	-	-	1362	-	-	1362	-	-	1
Северо-Кавказский	-	410	158	-	410	158	-	1	1
Приволжский	-	-	589	-	-	589	-	-	1
Сибирский	10 304	1018,5	-	10 304	1018,5	-	1	1	-
Дальневосточный	89 230	77 013	32 094	89 230	79 205	33 303	1	1,028	1,0377
МПГ, т	400	237,3	33,9	400	237,3	33,9	1	1	1
Северо-Западный	400	237,3	33,9	400	237,3	33,9	1	1	1
Медь, тыс. т	36 492	22 837	12 354	36 218	23 175	12 584	0,992	1,01	1,019
Северо-Западный	650	270	805	650	270	805	1	1	1
Центральный	-	183	23	-	183	23	-	1	1
Северо-Кавказский	1000	1514	9	1000	1514	9	1	1	1
Приволжский	540	1860	1856	540	1860	1856	1	1	1
Уральский	6743	7003	1550,3	6743	7003	1550	1	1	1
Сибирский	13 559	3686,9	1180,8	12 995	4025	1282	0,96	1,092	1,0857
Дальневосточный	14 000	8320	6930	14 290	8320	7059	1,021	1	1,0186
Никель, тыс. т	5500	5913	1230	5500	5913	1230	1	1	1
Северо-Западный	1500	450	270	1500	450	270	1	1	1
Центральный	-	628	200	-	628	200	-	1	1
Приволжский	-	350	-	-	350	-	-	1	-
Уральский	300	680	260	300	680	260	1	1	1
Сибирский	3700	2500	500	3700	2500	500	1	1	1
Дальневосточный	-	1305	-	-	1305	-	-	1	-
Свинец, тыс. т	28 403	7595	2858	25 707	8249	3129	0,9	1,1	1,095
Северо-Западный	700	-	603	700	-	603	1	-	1
Северо-Кавказский	150	192	190	150	192	190	1	1	1
Уральский	1460	-	-	1460	-	-	1	-	-
Сибирский	26 033	5530	958	23 337	6184	1230	0,9	1,1	1,2839
Дальневосточный	60	1872	1107	60	1872	1107	1	1	1
Цинк, тыс. т	64 046	19 907	10 671	59 437	22 510	11 374	0,93	1,131	1,066
Северо-Западный	750	-	3208	750	-	3208	1	-	1
Северо-Кавказский	200	481	170	200	481	170	1	1	1
Приволжский	365	2130	2226	365	2130	2226	1	1	1
Уральский	9824	5234	1110	9824	5234	1110	1	1	1
Сибирский	52 817	8351	2561	48 208	10 954	3264	0,91	1,312	1,2745
Дальневосточный	90	3712	1396	90	3712	1396	1	1	1

Примечание. «-» – ресурсы отсутствуют.

Медь, свинец, цинк. В Алтайском крае при реализации ресурсов кат. P₃ Змеиногорско-Берёзовогорской площади в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны (рудопоявления Центрально-Берёзовогорское, Привет, Петровское, Головинско-Ганьковское, Восточно-Майское) обоснован комплекс геолого-структурных, геохимических и геофизических поисковых критериев полиметаллического (свинец, цинк, медь с попутным золотом) оруденения и выявлены его прямые признаки. Оценены значительные ПР: кат. P₂ свинца – 654 (0,3–1,19%), цинка – 2603 (1,3–4,94%), меди – 338 (0,34–0,49%) тыс. т; кат. P₁ свинца – 272 (0,91–1,19%), цинка – 703 (1,7–3,27%), меди – 230 (0,34–0,69%) тыс. т; попутных серебра – 1694, золота – 32 т.

Пообъектный массив ПР АБЦМ в целом сохранил количественные соотношения и распределение по основным геолого-промышленным типам оруденения (табл. 4). Рудопоявления представлены 37 типами, среди которых 18 ведущих, составляющих наиболее перспективную сырьевую базу для планирования первоочередных поисковых работ: алмазоносные кимберлиты, золото-сульфидно-кварцевые вкрапленные руды, золото-серебряные вулканогенные, а также золото-кварцево-жильные, платино-палладиевые, медно-порфиновые, медно-колчеданные, медно-никелевые, кобальт-никелевые, колчеданно-полиметаллические.

Апробация ПР АБЦМ по завершённым в 2015–2016 гг. ГРП показала, что главные неоднократно отмечавшиеся экспертизой ошибки в представляемых оценках по-прежнему продолжают иметь место, отражаясь на выполнении геологических заданий. Обобщённые корректировки приведены в табл. 5. Все «родственные» недостатки объединены в шесть групп.

1. *Полнота представляемых материалов.* Некомплектность затрудняет экспертную проверку и корректировку оценки ПР. Табличные приложения даются не в требуемых форматах *.xls и *.xlsx программы MS Excel, *.mdb и *.accdb программы MS Access. Отсутствуют или представлены в неполном формате данные, обеспечивающие проверку: качество горных, буровых, опробовательских и аналитических работ; выход керна и его состояние в интервалах оценки; укрупнённые геолого-экономические расчёты, обосновывающие авторские оценочные показатели и конди-

ционную принадлежность объекта; планы опробования горных выработок и колонки по скважинам, необходимые для проверки правильности выделения рудных интервалов. Нередко материалы состоят из бессистемного набора текста, таблиц и графических приложений отчётов, которые не раскрывают полностью авторскую количественную оценку ПР. Требуется запрашивать дополнительную информацию, что задерживает проведение апробации и сдачу отчёта в геолфонд.

2. *Ошибки категоризации ПР и кондиционной принадлежности.* Обусловлены некорректным применением «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых» (2008 г.): ПР кат. P₃ локализуются по таксонам небольшой площади (первые км²), отвечающим не более чем рангу рудного поля и даже месторождения. По конкретным рудным телам ПР кат. P₂ оконтуриваются как подвеска к ПР кат. P₁ без проведения работ, подтверждающих наличие оруденения. При отрицательных результатах оцениваются ПР кат. P₃, но с изученностью, соответствующей более высоким категориям, или оцениваются ПР категорий P₂ и P₁, но при степени детальности изученности, соответствующей запасам кат. C₂. Завышаются категории ПР: по одному пересечению оконтуриваются ресурсы кат. P₁, по единичной пробе или только геохимическим (геофизическим) аномалиям без необходимой проверки горно-буровыми работами – P₂. Некондиционные ПР с понижением категории относятся к кондиционным, имеющиеся забалансовые запасы представляются категорией P₁, некондиционные ПР P₁ относятся к кондиционным P₂, а некондиционные P₂ – к кондиционным P₃.

3. *Интерпретационные ошибки геологических особенностей локализации ПР прогнозируемого полезного ископаемого* обусловлены неудачным выбором прогнозно-поисковой модели, геолого-промышленного типа, металлогенического таксона аналога. Для золоторудных объектов необоснованно применяется крупнообъёмная «модная» модель, что, как правило, всецело исходит из желания расширить площадь, глубину распространения оруденения и увеличить удельную продуктивность. Оценка золотоносных кор выветривания проводится по россыпной модели, при этом не учитывается различие между полученным свободным (коры) и шлиховым (россыпь) металлом и, как следствие, ошибочно определяется

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПР АБЦМ ПО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫМ ТИПАМ НА 01.01.2016, %

Полезные ископаемые	Прогнозные ресурсы		
	P ₃	P ₂	P ₁
<i>Алмазы</i>			
Кимберлитовый	92	80	79
Россыпной	4	14	21
Нетрадиционный источник (попигайский)	4	6	-
<i>Золото (коренное)</i>			
Золото-сульфидно-кварцевый (сухоложский)	59,5	43,9	42
Золото-кварцевый	19,2	20,5	21,3
Золото-серебряный	10,3	13,8	14,6
Золото-сульфидный	6	15,8	19,4
Золотоносные коры химического выветривания	5	6	2,7
<i>Серебро</i>			
Серебро-полиметаллический	66,8	73,9	72,7
Золото-серебряный	17,8	22,4	16,6
Серебряный	5	2,6	7,3
Олово-серебряно-полиметаллический	10,4	1,1	3,4
<i>Платиноиды</i>			
Платино-палладиевый	100	100	100
<i>Медь</i>			
Медно-порфировый	33,8	33,6	61
Медно-колчеданный	26,8	41	19
Медно-никелевый	3	17	13
Колчеданно-полиметаллический	12,8	6,5	4
Медистых песчаников и сланцев	23,6	-	-
Медистых скарнов и глин (гумешевский)	-	1,9	3
<i>Никель</i>			
Медно-никелевый	78,2	79,2	78,9
Кобальт-никелевый	21,8	20,8	21,1
<i>Свинец</i>			
Колчеданно-полиметаллический (рудноалтайский)	46,8	20,6	17,8
Свинцово-цинковый в карбонатных породах (миргалимсайский)	24,6	25,1	30
Свинцово-цинковый жильный со скарнами (приаргунский)	20,1	21,7	24
Колчеданно-полиметаллический (филизчайский)	6,7	25,5	12,8
Свинцово-цинковый медноколчеданный (малокавказский)	1,2	3,6	3,7
Свинцово-цинковый жильный (садонский)	0,6	1,5	4,7
Полиметаллически-серебряный	-	2	7
<i>Цинк</i>			
Колчеданно-полиметаллический (рудноалтайский)	40,4	23,1	13,2
Медно-колчеданный	13,2	32,7	26,2
Колчеданно-полиметаллический (филизчайский)	18,9	9,3	5,3
Свинцово-цинковый в карбонатных породах (миргалимсайский)	16,7	17,8	35,3
Свинцово-цинковый жильный со скарнами (приаргунский)	6,8	8	8,8
Свинцово-цинковый медно-колчеданный (малокавказский)	3,7	7,3	7,3
Свинцово-цинковый жильный (садонский)	0,3	1,7	0,9
Полиметаллически-серебряный	-	0,1	-
Технологические отходы	-	-	3

Примечание. «-» – ресурсы отсутствуют.

промышленная значимость кор выветривания по районным кондициям для россыпей, характеризующихся отличным от традиционного типа кор набором геолого-экономических показателей.

4. *Качественные недостатки выполненных ГРР.* Не отмечаются систематические погрешности определения содержаний основной лаборатории, выявленные внешним геологическим контролем; необоснованно, без проведения арбитражного контроля, вводятся повышающие содержание коэффициенты, особенно на присутствие в пробах крупного золота, возможно, попавшего в аналитические навески из-за гнездового характера распределения металла в рудах. Ошибочно в подсчёт включаются скважины, не отвечающие требованиям по углу встречи с рудным телом и выходу керна, но при высоком содержании им придаётся большее влияние при выводе подсчётных параметров, чем канавам. Оконтуривание нескольких рудных тел производится без каких-либо геологических оснований через единичную пробу с высоким (ураганным) содержанием, что завышает общую оценку. Недопустимо используются данные менее точных полуколичественных методов, при наличии количественных, если они показывают более высокие содержания. Допускается некорректная оценка по штупному опробованию развалов, дающему более высокие содержания по сравнению с горно-буровыми выработками. При наличии нескольких линий опробования в расчёт принимаются данные с более высокими содержаниями при игнорировании остальных.

5. *Ошибки локализации и количественной оценки ПР.* Не соблюдаются оценочные параметры геологического задания или обоснованные укрупнёнными геолого-экономическими расчётами, в частности: включаются площади, рудные зоны и фланги рудных тел с характеристиками оруденения ниже расчётных показателей; при оконтуривании рудных тел не соблюдаются такие параметры, как бортовое содержание, максимальная мощность прослоев пустых пород, минимальная мощность рудных интервалов; допускается прессование мощностей рудных интервалов при исключении проб с содержанием ниже бортового. Данные ГРР, полученные на предшествующих (удалённых по времени) стадиях включаются в расчёты, что завышает среднее содержание, поскольку в ретроспективе, как правило, использовались более высокие бортовые содержания.

Новые ресурсы локализуются на известных площадях с апробированными и учтёнными ПР или разведанными запасами без исключения их из оценки. Представляются ПР на площадях, переданных в лицензионное недропользование на другие виды ПИ, но при этом технология добычи и переработки комплексных руд не позволяет извлекать новый компонент и лицензионное соглашение не предусматривает его реализацию.

Применяются ошибочные приемы расчётов, завышающие содержание компонентов и прогнозные ресурсы. Так, не учитывается неравномерность сети поисковых пересечений; при выполнении по одной пробе до четырёх определений содержания компонента в подсчёте вместо среднего используется максимальное значение; выборочно включаются пересечения только с высокими показателями; завышаются коэффициенты подобия для метода аналогии при наличии фактических данных для выбора вариантных значений рудоносности, удельной продуктивности, приведения содержания попутных компонентов к условному содержанию основного.

Попутные компоненты учитываются не полностью: для медно-цинковых колчеданных руд – цинка, свинцово-цинковых колчеданных – меди (даже в случаях, когда оценка предусмотрена геологическим заданием). Неправильно проводится оценка ПР попутных компонентов, не по видам, а только в целом – по одному обобщённому выбранному условному металлу, который необходим исключительно для расчёта бортового и минимального содержаний.

6. *Ошибки определения оценочных параметров (кондиций) и геолого-экономической оценки по укрупнённым показателям.* Перечень параметров оценки кондиционности, как правило, ограничивается бортовым и минимальным содержаниями. Не учитывается, что без определения других обязательных показателей геолого-экономической оценки – максимальной мощности прослоя пустых пород и некондиционных руд, минимальной мощности рудного интервала, минимального содержания в крайнем пересечении, оконтуривание рудных тел становится многовариантным и неоднозначным. Имеет место несоответствие оценочных показателей особенностям распределения оруденения. Это происходит при «слепом» следовании модельным параметрам, предусмотренным геологическим заданием, когда планиру-

5. КОРРЕКТИРОВКА ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ОЦЕНОК ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЗАВЕРШЁННЫХ ПРОЕКТАХ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ГРП В 2015–2016 гг.

Объекты	ПИ	Состояние на 01.10.15	Представлено	Рекомендовано экспертизой к апробации	Апробировано (% авторской оценки)	Состояние на 01.01.16
1	2	3	4	5	6	7
<i>Республика Кабардино-Балкария</i>						
Гитче-Тырныаузский рудный узел	Au	P ₁ 10 P ₂ 22	P ₁ 240,1 P ₂ 41,4	P ₁ 240,1 P ₂ 41,4	P ₁ 217 (90,4) P ₂ 21 (50,7)	P ₁ 217 P ₂ 21
<i>Свердловская область</i>						
Чадарская площадь	Au	-	P ₁ 5,1 P ₂ 73,9	Неконд. P ₁ 5,1 Неконд. P ₂ 73,9	Неконд. P ₁ 5,1 Неконд. P ₂ 73,9	Неконд. P ₁ 5,1 Неконд. P ₂ 73,9
<i>Алтайский край</i>						
Суеткинская площадь	Au	P ₃ 35	P ₁ 5 P ₂ 22	P ₁ 5 P ₂ 22	P ₁ 5 P ₂ 10 (45) P ₃ реализованы	P ₁ 5 P ₂ 10
Змеиногорско-Берёзово-горская перспективная площадь, в том числе:	Cu	P ₃ 564	-	-	Реализованы	-
	Pb	P ₃ 2696	-	-		
	Zn	P ₃ 4609	-	-		
Центрально-Берёзовогорский участок	Cu	-	P ₂ 34	P ₂ 34	P ₂ 34	P ₂ 34
	Pb	-	P ₂ 45	P ₂ 45	P ₂ 45	P ₂ 45
	Zn	-	P ₂ 168	P ₂ 168	P ₂ 168	P ₂ 168
Участок Привет	Cu	-	P ₂ 132	P ₂ 132	P ₂ 132	P ₂ 132
	Pb	-	P ₂ 122	P ₂ 122	P ₂ 122	P ₂ 122
	Zn	-	P ₂ 876	P ₂ 876	P ₂ 876	P ₂ 876
Восточно-Майский участок	Cu	-	P ₁ 38	P ₁ 37	P ₁ 37	P ₁ 37
	Pb	-	P ₁ 52	P ₁ 49	P ₁ 49	P ₁ 49
	Zn	-	P ₁ 99	P ₁ 91	P ₁ 91	P ₁ 91
Головинско-Ганьковский участок	Cu	-	P ₂ 91	P ₂ 79	P ₂ 79	P ₂ 79
	Pb	-	P ₂ 187	P ₂ 157	P ₂ 157	P ₂ 157
	Zn	-	P ₂ 255	P ₂ 189	P ₂ 189	P ₂ 189
Петровский участок	Cu	-	P ₂ 96 P ₁ 68	P ₂ 93 P ₁ 64	P ₂ 93 P ₁ 64	P ₂ 93 P ₁ 64
	Pb	-	P ₂ 393 P ₁ 249	P ₂ 330 P ₁ 223	P ₂ 330 P ₁ 223	P ₂ 330 P ₁ 223
	Zn	-	P ₂ 1400 P ₁ 676	P ₂ 1370 P ₁ 612	P ₂ 1370 P ₁ 612	P ₂ 11 370 P ₁ 612
<i>Забайкальский край</i>						
Казаковский рудный узел	Au	-	P ₃ 236	Отклонены	Отклонены	-
Кибачинская площадь	Au	P ₃ 50	P ₁ 18,4 P ₂ 45,4	Окисленные: P ₁ 7,1 Первичные: неконд. P ₁ 11,2	Окисленные: P ₁ 7,1 Первичные: неконд. P ₁ 11,2 P ₃ реализованы	Окисленные: P ₁ 7,1 Первичные: неконд. P ₁ 11,2
<i>Красноярский край</i>						
Кулибинская перспективная площадь, в том числе:	Ni	-	-	-	-	-
участок Адралка	Ni	-	P ₂ 122,5	Отклонены	Отклонены	-
участок Борынь	Ni	-	P ₂ 340,8	Отклонены	Отклонены	-

1	2	3	4	5	6	7
Макаровская площадь	Au	-	P ₂ 62,9	P ₂ 37 P ₃ 18	P ₂ 37 (59)	P ₂ 37
Каспийская площадь, Водораздельное рудное поле	Au	-	P ₂ 68,4	P ₂ 13,5	P ₂ 11,4 (16,7)	P ₂ 11,4
Сисим-Кедранский рудный узел	Au	P ₃ 90	-	Реализованы	Реализованы	-
Колпинское рудное поле	Au	-	P ₁ 13	P ₁ 22,6	P ₁ 23	P ₁ 23
Верхне-Колпинское рудное поле	Au	-	P ₂ 23	P ₂ 17,9	P ₂ 18 (78,2)	P ₂ 18
<i>Республика Тыва</i>						
Эмийская площадь	Au	-	P ₂ 38,1	Отклонены	Отклонены	-
<i>Иркутская область</i>						
Нечерский рудный район	Au	P ₃ 100	-	-	P ₃ 80 (частично реализованы)	P ₃ 80
Балаганахское рудное поле	Au	-	P ₂ 26,3	Неконд. P ₂ 0,214	Неконд. P ₂ 0,214 (0,8)	Неконд. P ₂ 0,214
Илигирьская площадь, участок Илигирь	Au	-	P ₁ 1,5 P ₂ 25,5	Неконд. P ₂ 3,58	Неконд. P ₂ 4 (18,2)	Неконд. P ₂ 4
<i>Кемеровская область</i>						
Каштаусская площадь	Au	P ₂ 20, P ₃ 48	P ₂ 70,4	P ₂ 75	P ₂ 75 P ₃ реализованы	P ₂ 75
<i>Республика Саха (Якутия)</i>						
Чопо-Бадисский рудный узел	Cu	На 01.01.2014 числились ПР кат. P ₃ только по Мо	P ₁ 227,8 P ₂ 105,3	P ₁ 227,8 P ₂ 105,3	P ₁ 129 (56) P ₃ 290 Кондиционность ПР принята по основному компоненту – Мо	P ₁ 129 P ₃ 290
Барылайская площадь	Алмазы	-	P ₂ 31	Отклонены	Отклонены	-
Верхненикабытский куст руч. Булкур	Алмазы	-	P ₂ 166	P ₂ 166	P ₂ 78 (47)	P ₂ 78
Инаглинский массив	Pt	-	P ₃ 100	Отклонены	Отклонены	-
Обохнинское рудное поле	Ag	-	P ₂ 8611	P ₂ 8611	P ₂ 2192 (25)	P ₂ 2192
Обохнинское рудопроявление	Ag	-	P ₁ 2217	P ₁ 2217	P ₁ 1209 (55)	P ₁ 1209
Сюрампинское рудное поле	Au	-	P ₁ 46,4 P ₂ 33,6	P ₁ 43,2 P ₂ 7,5	P ₁ 4,5 (10) P ₂ 19 (57)	P ₁ 4,5 P ₂ 19
Нимгерканский рудный узел	Au	-	P ₃ 157	P ₃ 84	P ₃ 84 (54)	P ₃ 84
Лебединский рудный узел, в том числе:	Au	P ₃ 400	-	-	P ₃ 240 (частично реализованы)	P ₃ 240
Орто-Сала-Верхнекуранахское рудное поле	Au	P ₂ 26	P ₂ 25,8 P ₁ 15,3	P ₂ 25,8 P ₁ 15,3	P ₂ 14,8 (57) P ₁ 18 (117)	P ₂ 14,8 P ₁ 18
Малокуранахское рудное поле	Au	P ₂ 5	P ₁ 1,34	P ₁ 1,34	P ₁ 2	P ₁ 2
Колтыкон-Самодумовское рудное поле	Au	P ₂ 14	P ₂ 22,8 P ₁ 5	P ₂ 22,8 P ₁ 5	P ₂ 11 (51) P ₁ 5	P ₂ 11 P ₁ 5
Верхнеякокутское рудное поле	Au	P ₂ 17	P ₁ 2,04	P ₁ 2,04	P ₁ 2	P ₁ 2
Колтыконское, Мёрзлое рудные поля	Au	P ₁ 12,2	-	-	Сняты с учёта по результатам переоценки	-

Примечание. «-» – ресурсы отсутствуют. ПИ – полезное ископаемое. Единицы измерения: алмазы – млн кар, Au, Ag – т, Cu, Ni, Pb, Zn – тыс. т.

ется выявление одного геолого-промышленного типа, но по фактическим данным получен другой, или обоснована модель для открытой отработки, а получена для подземной, что приводит к отнесению объекта к некондиционным или отклонению. Применяются оптимистичные геолого-экономические модели с занижением капитальных затрат, себестоимости добычи и переработки руд с целью повысить кондиционную составляющую объекта при низкой инвестиционной привлекательности.

Кратко остановимся на текущем состоянии прогнозных ресурсов. Сегодня из всего количества апробированных с 2003 г. объектов (1956) в нераспределённом фонде недропользования учтено 70% и, соответственно, в распределённом – 30%. Анализ передачи объектов в лицензирование за 2010–2015 гг. с ПР кат. P_2 и P_1 показывает явную несбалансированность оценок 2003 г. на 01.01.2016. Информмассив нереализованных объектов с этими категориями, пролонгированными с 2003 г., составляет 330, в том числе: золота – 60, серебра – 73, меди – 67, никеля – 61, свинца – 94, цинка – 84. Наибольшее количество приходится

на три федеральных округа: Уральский (18%), Сибирский (25%) и Дальневосточный (44%). Отсутствие бизнес-интереса к таким объектам можно охарактеризовать «лежащими на поверхности» причинами, как то: небольшими масштабами рудопроявлений, не выдерживающими конкуренции низкими содержаниями в руде металлов, высоким коэффициентом вскрыши при открытой отработке, сложным для обогащения технологическим типом руд, рисками вложения инвестиций в удалённые районы без инфраструктуры. Очевидно, что для таких рудопроявлений назрело проведение актуализации оценок прогнозных ресурсов для оптимизации лицензионного процесса.

Рассматривая созданный информационный массив ПР АБЦМ в целом по состоянию на 2016 г., не исключается возможность заключить, что он обеспечивает дальнейшее воспроизводство запасов в соответствии с заданиями подпрограммы «Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологическое изучение недр», утверждённой постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 322, по группам и видам АБЦМ.

RESULTS OF TESTING FOR DIAMOND, PRECIOUS AND BASE METAL RESOURCE POTENTIAL STATE FOR 2016 BASED ON PROSPECTING RESULTS

V.B.Golenev, Yu.V.Yermakova, O.M.Konkina, A.S.Tarasov, M.V.Tuchina

The main results of resource potential development for the group of diamonds, gold, silver, PGM, copper, nickel, lead and zinc within the Russian Federation over 2010–2016 based on the major results of the completed exploration projects to replace mineral base are given. The most common methodical shortcomings of inferred resource evaluation are shown which decrease prospecting efficiency and investment attractiveness of the identified targets. Conclusions on mineral base state sustainability and the need of its permanent actualization are made.

Keywords: inferred resources, geological prospecting, testing, mineral base.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УРАНОНОСНОСТЬ КУПУРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ АЛДАНО-СТАНОВОГО ЩИТА

Обобщены и проанализированы материалы по геологии и ураноносности Купуринской площади Алдано-Станового щита. Выделены три ураноносные эпохи – раннеархейская, раннепротерозойская и позднемезозойская, важнейшей из которых нами признана последняя, отличающаяся от более ранних параметрами рудных зон и наличием богатых руд. Дана радиогеохимическая характеристика всех комплексов пород, определены как специализированные на уран архейские гранитоиды древнестанового и позднемезозойские ираканского интрузивных комплексов. Выделена радиогеохимическая Оконон-Купуринская зона, приуроченная к Становому глубинному разлому на сочленении раннеархейского Удско-Майского и ранне-позднеархейского Купуринского блоков Алдано-Станового щита, рекомендуемая для дальнейших поисковых работ на уран.

Ключевые слова: Алдано-Становой щит, Становой глубинный разлом, архей, мезозой, кайнозой, магматизм, металлогения, уран.

Купуринская площадь находится в зоне сочленения раннеархейской Алданской гранулитогнейсовой области с ранне-позднеархейской Становой гранит-зеленокаменной областью и ограничена координатами 54°40'–56° с.ш. и 130°–132° в.д. В тектоническом плане она охватывает западную часть Удско-Майского блока, восточную Купуринского блока Становой гранит-зеленокаменной области и юго-западную Альванарского блока Алданской гранулитогнейсовой области [1, 2, 12].

В середине прошлого века Приленской экспедицией 1-го ГГРУ МГ СССР в зоне влияния Станового разлома (верховья р. Купури) было обнаружено рудопроявление урана Оконон. В конце 80-х и начале 90-х годов работами ПГО «Таёжгеология» юго-восточнее рудопроявления в зоне разлома выявлены ещё два рудопроявления урана – Унин и Пакчи [7], представленные потенциально промышленной урановой рудной формацией с каолин-гидрослюдистыми метасоматитами зон разломов, обусловленных гранитоидным магматизмом мезозойской эпохи. Они вскрыты единичными сечениями и практически не прослежены по простиранию. Особенность этих проявлений – значительная мощность рудных зон и часто богатые содержания урана (до 1,27% на мощность 5,5 м). Урановые объекты размещаются в районе проявления интенсивного и полифациального мезозойского вулканогенно-интрузивного магматизма. Пространственно магматизм контролировался Становым глубинным разломом [7, 8, 10, 14, 20] на границах блоков раннеархейской и ранне-позднеархейской складчатости. Ранняя стадия поздне-мезозойского магматизма характеризуется образованием гранитоидов диорит-гранодиоритовой формации повышенной щёлочности, а наиболее поздняя – субщелочных гранитов лей-



**РУДЫ
И МЕТАЛЛЫ**



Горошко Михаил Васильевич

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
goroshko@itig.as.khb.ru

Шевченко Борис Фёдорович

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
shevchenko@itig.as.khb.ru

Гильманова Гульшат Забировна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
gigulya@yandex.ru

Носырев Михаил Юрьевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
mikhail.nosyrev@yahoo.com

ФГБУН Институт тектоники и геофизики
ДВО РАН, г. Хабаровск



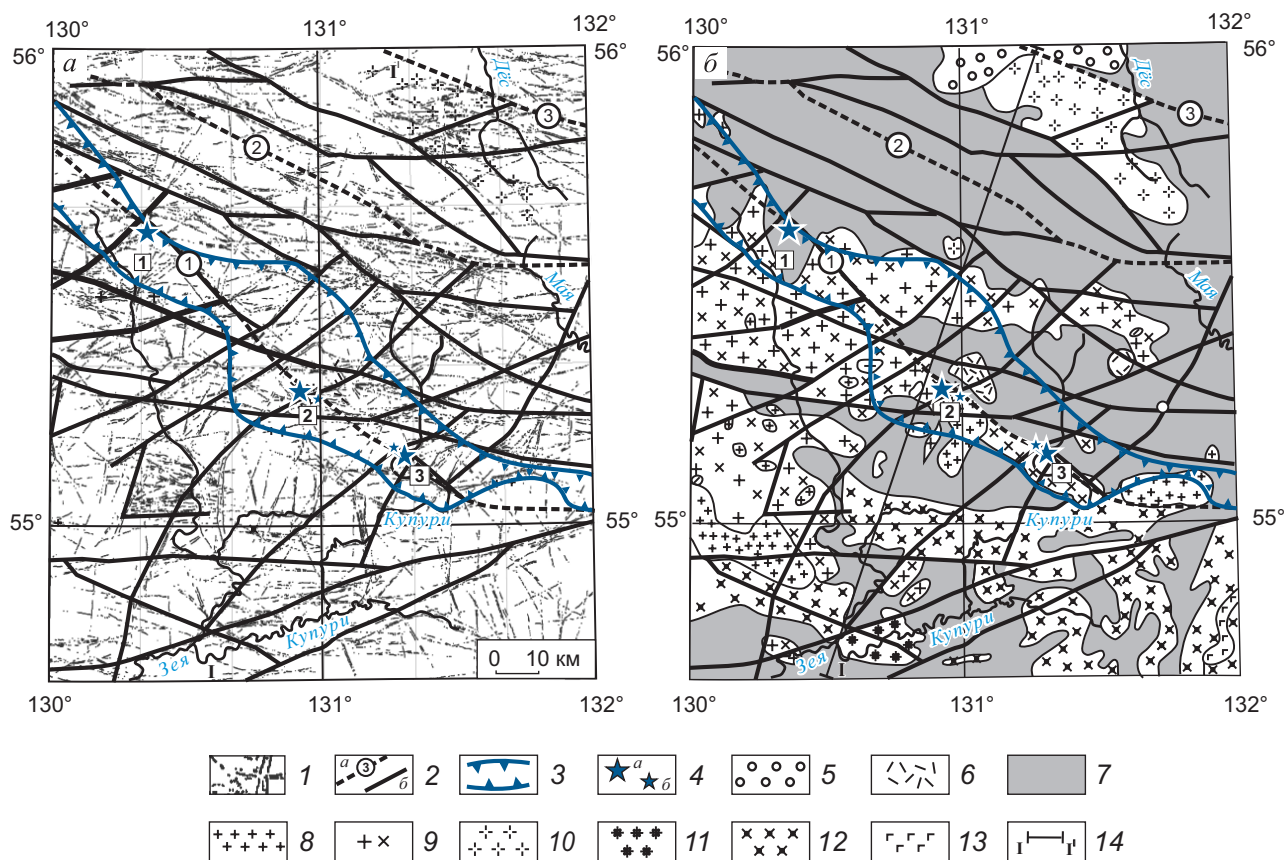


Рис. 1. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА КУПУРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕАМЕНТОВ МОДУЛЯ ГРАДИЕНТА РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (а), ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МЕЖДУРЕЧЬЯ КУПУРИ – ЗЕЯ (б):

1 – линеаменты; 2 – разломы и разломные системы, установленные по геологическим данным (а) (1 – Становой, 2 – Туксанийский, 3 – Утукский), по результатам интерпретации линеаментных структур (б); 3 – контур Оконон-Купуринской радиогеохимической аномалии; 4 – мезозойские рудопроявления урана (а) (1 – Оконон, 2 – Унин, 3 – Пакчи), точки минерализации (б); стратифицированные образования: 5 – неоген-четвертичные отложения, 6 – вулканы боннакского позднемелового эффузивного комплекса (трахиандеэбазальты, трахиандезиты, трахидациты, трахириолиты, комендиты, их туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты); 7 – архейские гнейсы и кристаллические сланцы; интрузивные комплексы: 8 – раннемеловой иракский (субщелочные лейкограниты, щелочные граниты, диориты), 9 – позднеюрский – раннемеловой тындинско-бакаранский (гранодиориты, кварцевые диориты, диориты), 10 – идюмский позднеархейский (лейкограниты, субщелочные граниты, плагиограниты, гранодиориты), 11 – древнестановой раннеархейский (субщелочные двуслюдяные граниты, субщелочные гранодиориты), 12 – токско-алгаминский раннеархейский (субщелочные гранодиориты, субщелочные кварцевые диориты, монзониты); 13 – архейские основные породы (габбро, габбронориты, нориты, пироксениты, анортозиты); 14 – линия геолого-геофизического разреза

когранитовой формации калиевого ряда. Телекопирование многофазного и полифациального магматизма на относительно коротком отрезке Станового глубинного разлома указывает на наличие наиболее проницаемого участка для магматизма и продуктов постинтрузивной гидротермальной деятельности и определяет границы потенциально ураноносной зоны. Эти данные

послужили основанием для выделения перспективного на уран Купуринского рудного района.

С учётом полученной в последние годы геолого-геофизической информации (геологические карты м-ба 1:1 000 000 третьего поколения [8], дистанционные, гравиметрические, магнитометрические данные, крупномасштабные аэрогеофизические съёмки) и новых возможностей в

интерпретации [23], а также собственных результатов по прогнозно-геологическим работам м-ба 1:200 000 и 1:50 000, металлогенического анализа и радиогеохимических особенностей горных пород авторы поставили перед собой задачу выявить на Купуринской площади закономерности локализации урановых руд и выделить основные рудоконтролирующие структуры.

Геолого-геофизическая характеристика Купуринской площади. Геологическое строение Становой гранит-зеленокаменной области неоднократно рассматривалось в работах [1–3, 8, 10–12]. На изучаемой территории на основании космической радарной съёмки создана цифровая модель градиента рельефа земной поверхности, проведён линеаментный анализ, составлена схема основных тектонических нарушений (рис. 1, а, б). Установлены различия в проявлении главных разломных систем площади – Становой, Туксаньской, Утукской в структурном плане линеаментов. Наиболее сложная структура наблюдается для зоны Станового разлома, что свидетельствует о его более длительном тектоническом развитии по сравнению с двумя другими. Выделенная северо-восточная система разрывных нарушений, пересекающих Становой разлом и зону его влияния, контролирует положение известного золотого оруденения (месторождение «Колчеданный Утёс»). Глубинные структурные особенности верхней части земной коры исходя из петрофизических характеристик (квазиполя плотности и магнитной восприимчивости) указывают на связь основных разломных систем с относительно разуплотнёнными телами в верхней части земной коры (построение 2D плотностных и магнитных моделей до глубин 12 км). Структуры аномального магнитного поля и квазиполя магнитной восприимчивости подчёркивают делимость исследуемой площади на два основных тектонических блока земной коры – Становой и Алданский. Известные рудопрооявления урана расположены в областях локальных аномалий поля отрицательного знака умеренной интенсивности. В радиогеохимических полях зона влияния Станового разлома выделена по граничному содержанию U 2,0 г/т и более (см. рис. 1, а). В пределах Окнон-Купуринской радиогеохимической зоны и вне её выделены локальные области повышенного (>2,5 г/т) содержания урана. Все они приурочены, как правило, к зонам пересечений тектонических

нарушений, отмеченных в пределах Алданского блока земной коры данной территории.

Стратиграфия. Стратифицированные подразделения района расчленены на нижне- и верхнеархейские метаморфические и нижнемеловые вулканогенные.

К нижнему архею отнесены породы токсской, тырканской, зейской и чогарской серий. Они сложены разнообразными пироксен-роговообманковыми, роговообманково-пироксеновыми кристаллическими сланцами, мраморами, кальцифирами, гиперстен-биотитовыми, биотит-гранатовыми, графит-биотитовыми гнейсами с прослоями гранат-двупироксеновых, двупироксеновых, биотит-пироксеновых кристаллических сланцев и амфиболитов [6, 9, 11, 13, 18, 19]. Вдоль Станового разлома породы подвержены диафторезу, проходившему в условиях амфиболитовой, реже эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма, при которых по пироксеновым кристаллическим гнейсам и гнейсам основного состава образуются биотит-роговообманковые, эпидот-биотит-роговообманковые и другие кристаллические сланцы и гнейсы.

Верхнеархейские метаморфические образования представлены породами туксаньской, хайканской и купуринской серий. Это биотит-роговообманковые, реже роговообманково-биотитовые гнейсы с подчинёнными прослоями и пачками гранат-биотитовых, биотит-роговообманковых кристаллических сланцев, мраморов, кальцифиров, амфиболитов. В междуречье Джагарма – Унин в них встречаются многочисленные прослои и линзы минерализованных мраморов и ассоциирующих с ними скарноидоподобных цоизит-диопсидовых, гранат-роговообманковых кристаллических сланцев мощностью 3–5 м [17].

Для всех архейских пород площади характерны надкларковые содержания хрома, молибдена, скандия. Основные гнейсы и кристаллические сланцы нижнего архея, кроме того, обогащены кобальтом.

Нижним мелом датируется толща трахиандезитов, трахидацитов, дацитов, трахириолитов и их туфов и туфобрекчий, распространённая в верхнем течении бассейнов рек Пакчи и Джагарма. Она залегает почти горизонтально на эродированной поверхности архейских пород и ограничена разломами от гранитоидов позднеюрско-раннемелового тындинско-бакаранского интрузивного комплекса. В кислых разностях эффузивов калий

1. СОДЕРЖАНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В ПОРОДАХ КУПУРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Свиты, комплексы	Породы	Число проб	U, г/т	δ/V	Th, г/т	δ/V	Th/U
Позднемеловой дайковый	Риолиты, риодациты, витрофиры	34	2,2	1,1/50	8,2	2,9/35	3,7
	Гранит-порфиры	17	2,3	1,5/65	11,5	3,4/30	5
	Гранодиорит-порфиры	11	2,9	1,6/55	9,7	5,3/55	3,3
2-я фаза ираканского интрузивного	Субщелочные лейкограниты, граниты, гранит-порфиры	30	5,4	1,9/40	23,0	5,7/20	4,3
1-я фаза ираканского интрузивного	Граниты 1-й фазы	19	1,6	1,3/81	10,3	3,2/31	6,4
	Риолиты, риодациты	24	1,4	1,3/93	6,3	1,1/17	4,5
Бомнакский вулканоплутонический	Риолиты, лавобрекчии риолитов (бассейн р. Джагарма)	21	7,0	2,4/34	10,6	1,7/16	5,4
	Туфы кислого состава (бассейн р. Джагарма)	19	5,4	1,0/19	12,0	1,8/15	2,2
	Дациты, риодациты	21	2,2	0,4/18	11,9	2,6/22	5,4
	Андезиты, андезитовые порфиры, их туфы	27	1,5	0,9/60	7,6	1,4/18	5,0
Тындинско-бакаранский интрузивный	Биотит-амфиболовые граниты	24	2,7	1,2/44	18,6	5,9/32	6,8
	Гранодиориты в бассейнах верхних течений рек Джагарма и Унин	26	5,2	1,3/25	12,8	2,1/16	2,4
	Диориты, кварцевые диориты	35	2,6	0,9/35	9,2	2,8/30	3,5
Нижний протерозой нерасчленённый	Двуслюдяные и филлитовидные сланцы	23	2,8	3,0/107	6,8	7,1/104	2,4
Древнестановой интрузивный	Граниты, плагиограниты	33	2,5	1,6/64	9,3	10,2/10	3,7
	Субщелочные лейкограниты	17	7,8	5,1/69	14,4	7,8/69	1,8
Верхний архей: сиваканская свита талаканская свита	Биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы	39	2,0	1,8/90	12,7	13,7/10	6,3
	Амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы	37	1,4	1,2/50	6,0	5,2/87	4,3
Нижний архей: ивакская свита	Биотит-амфиболовые гнейсы	30	0,8	0,3/38	3,1	2,8/90	3,9
	Амфиболовые, диопсидовые гнейсы и сланцы	15	0,9	1,4/156	2,4	2,0/83	2,7

Примечание. δ – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации.

преобладает над натрием. Они характеризуются высокими содержаниями урана и пониженным торий-урановым отношением (табл. 1).

Магматизм. Интрузивные образования занимают большую часть изученной площади и прослеживаются на значительные глубины (рис. 2). Они расчленены на раннеархейские, позднеархейские, юрско-раннемеловые и раннемеловые интрузивные комплексы [3, 6, 7, 9, 10, 13, 16, 17].

К раннеархейским относятся: метагаббро, габброамфиболиты, метапироксениты, горнблендиты, перидотиты лучинского комплекса; габбро, габбронориты, нориты, пироксениты, вебстериты, габброанортозиты майско-джанинского комплекса; субщелочные кварцевые диориты и диориты, субщелочные гранодиориты и монзониты токско-алгаминского комплекса; субщелочные гранодиориты, плагиограниты, граниты, субщелочные лейкограниты древнестанового комплекса.

Позднеархейские комплексы представлены: лейкогранитами, субщелочными гранитами, гранитами, плагиогранитами и гранодиоритами идюмского комплекса; габбро, лейкогаббро, норитами, анортозитами, пироксенитами, дунитами, перидотитами идюмо-тырканского комплекса.

Поздним мезозоем датируются: гранодиориты, кварцевые диориты, монцодиориты, щелочные габброиды тындинско-бакаранского комплекса, радиологический возраст которых 122,9–124 млн лет [5]; субщелочные лейкограниты, граниты, гранит-порфиры и сиениты ираканского комплекса с радиологическим возрастом 72–126 млн лет [8]; дайки обсидиан-порфиров, гранит-порфиров, диоритовых порфиритов, андезибазальтов.

В архее калиевый тип щёлочности свойствен только щелочным лейкогранитам древнестанового комплекса. В позднем мезозое калий преобладает над натрием в породах ираканского интрузивного

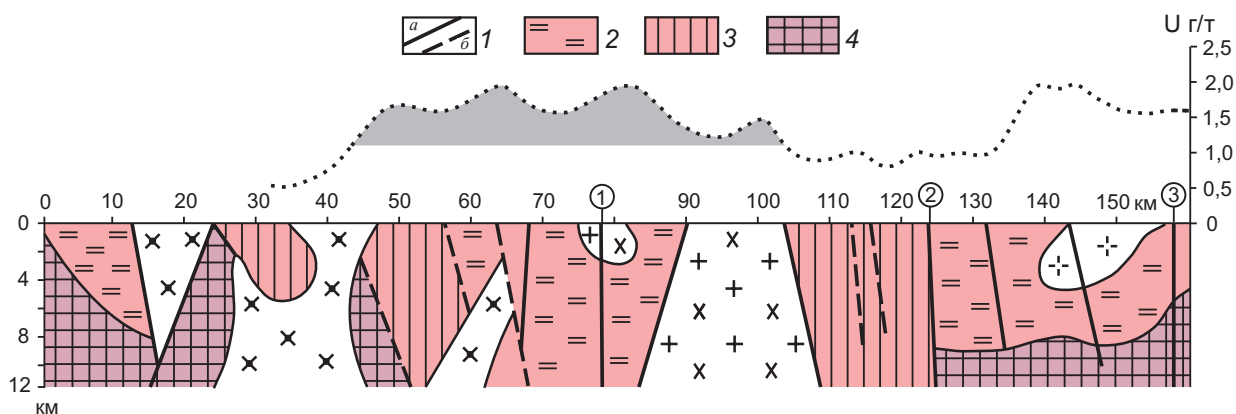


Рис. 2. ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ К СХМАТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ МЕЖДУРЕЧЬЯ КУПУРИ – ЗЕЯ:

1 – разломы установленные (а), предполагаемые (б); архейские образования: 2 – диафторированные породы, 3 – меланократовые кристаллические сланцы, 4 – гнейсы; график содержания урана (затемнённый фрагмент – Оконон-Купуринская радиогеохимическая зона); остальные усл. обозн. см. рис. 1

зивного комплекса (табл. 2). Архейские гранитоиды характеризуются повышенными против кларка содержаниями хрома, молибдена, скандия и заметно обеднены оловом, литием. Лейкограниты древнестанового комплекса специализированы на уран и относительно обеднены торием. Общая геохимическая особенность мезозойских интрузивных образований – унаследованность некоторых геохимических черт фундамента: обогащённость хромом, молибденом, скандием. Породы тындинско-бакаранского комплекса отличаются наиболее высокими содержаниями в них кобальта, ванадия, молибдена, цинка, олова, скандия. Для первой фазы ираканского интрузивного комплекса характерны повышенные содержания меди и бария и наиболее низкие содержания урана, тория, бериллия и скандия. Вторая фаза ираканского интрузивного комплекса (талгыгский комплекс) отличается высокими содержаниями урана, тория, свинца, бериллия при низких концентрациях кобальта, титана, ванадия, меди, цинка, бария.

Тектоника. Метаморфические комплексы Купуринской площади смяты в антиклинальные и синклиналильные складки северо-западного и субширотного простираний с углами падения крыльев от 40 до 80°. Большую роль в районе играет дизъюнктивная тектоника [8, 9, 14, 20]. По результатам линеamentного анализа числовых моделей рельефа и интерпретации геофизических данных [16] выделяются три системы тектонических нарушений: северо-западная, субширотная и северо-восточная (см. рис. 1, б).

Наиболее крупный на площади Становой разлом имеет северо-западное простирание и сложное внутреннее строение [7, 20]. Он представляет собой чередование в различной степени динамометаморфизованных пород шириной 5–8 км – милонитов, blastsмилонитов, ультрамилонитов, рассланцованных и диафторированных пород, катаклазитов и брекчий. В целом разлом взбросо-сдвиговой природы с амплитудой перемещения по нему предположительно до нескольких километров.

В мезозое район подвергся интенсивным коллизийным тектоническим движениям и дроблению земной коры на блоки, их дифференцированному перемещению по зонам разломов и проявлению многофазного разнообразного магматизма. В результате возникли густая сеть разломов и приразломные впадины, выполненные эффузивами, и внедрились крупные трещинные интрузии гранитоидов. Часть этих разломов являются подновлёнными разломами древнего заложения, другие – вновь образованными. К последним относятся наиболее молодые разломы северо-восточного простирания, контролирующие поздне меловые дайки и дайковые поля. На местности северо-восточные разломы фиксируются зонами катаклаза, дробления с зеркалами скольжения, ореолами грейзенизированных и минерализованных пород.

Металлогения и ураноносность. На Купуринской площади установлены рудные проявления архейской, раннепротерозойской, позднеме-

2. ХИМИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД КУПУРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ, ПО [6, 7, 8, 14], МАС. %

Интрузивные или вулканические комплексы	Возраст	Состав пород	Число проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Позднемеловой дайковый	K ₂	Витрориолит	1	71,27	0,11	10,08	0,38	0,57	0,04	3,11	1,75	3,38	2,23
		Гранит-порфир	2	69,71	0,40	14,21	1,54	1,64	0,07	1,23	2,21	3,56	2,81
		Диоритовый порфирит	1	60,50	0,78	17,00	5,00	2,47	0,04	2,82	4,98	4,0	2,01
		Андезибазальт	1	53,10	1,07	15,2	2,96	5,05	0,14	9,22	5,05	2,83	2,29
2-я фаза ираканского	K ₁	Субщелочной лейкогранит	16	73,88	0,22	13,61	0,82	1,53	0,04	0,80	1,63	3,79	4,33
		Гранит, гранит-порфир	7	72,72	0,26	13,32	0,75	1,61	0,03	0,66	1,60	3,40	3,40
1-я фаза ираканского	K ₁	Гранит	7	72,95	0,47	15,34	0,79	2,00	0,05	1,19	1,60	3,20	4,04
		Сиенит	1	61,57	1,50	16,23	14,00	4,56	0,06	2,30	4,29	3,84	4,59
Бомнакский	K ₁	Риолит	2	69,67	0,22	14,95	1,01	2,07	0,05	0,89	1,70	3,84	4,04
Тындинско-бакаранский интрузивный	J ₃ -K ₁	Гранодиорит	8	66,87	0,49	15,34	1,80	2,46	0,08	1,93	3,09	3,71	3,55
		Кварцевый диорит	4	59,9	0,84	16,61	2,39	4,51	0,12	3,99	4,36	4,15	2,35
		Монцодиорит	6	60,28	0,83	15,93	1,93	4,05	0,10	3,32	3,80	3,90	3,03
		Субщелочной габброид	2	43,36	1,66	15,02	6,82	8,41	0,16	8,37	12,3	1,62	0,74
Древнестановой интрузивный	AR ₁	Субщелочной гранит	17	73,82	0,13	13,96	0,59	0,99	0,03	0,64	0,99	4,13	4,49
		Субщелочной гранодиорит	3	67,35	0,29	17,85	0,93	0,98	0,03	0,76	3,17	6,66	1,41
		Плагиигранит	2	70,33	0,34	15,78	0,35	1,44	0,06	0,80	3,14	5,23	1,94
		Гранит	2	71,76	0,36	13,85	0,84	1,38	0,02	2,63	0,34	3,95	2,33
Токско-алгаминский интрузивный	AR ₁	Субщелочной гранодиорит	6	65,09	0,44	18,06	0,50	1,67	0,05	3,40	1,07	5,73	2,53
		Субщелочной кварцевый диорит	6	58,61	1,04	16,70	2,32	4,27	0,13	4,06	5,60	4,46	2,00
		Монцонит	7	56,48	2,16	21,21	1,83	2,59	0,08	5,13	1,87	6,59	1,41
Лучинский	AR	Габбро, габброамфиболит	5	50,07	1,19	12,81	4,90	8,42	0,22	6,92	10,91	1,97	0,63

зоной металлогенических эпох. В пегматитах и аляскитах древнестанового комплекса обнаружена редкоземельная минерализация, связанная с акцессорными минералами – монацитом, цирконом, рутилом, ильменитом. Содержание редких земель до 0,29%.

В связи с мезозойской металлогенической эпохой выявлены рудопоявления и месторождения полиметаллов, молибдена и золота. Подавляющее большинство объектов полиметаллической минерализации локализуется в экзо- и эндоконтактах позднемезозойских гранитоидов тындинско-бакаранского интрузивного комплекса в эпидотовых и гранат-эпидотовых скарнах, зонах окварцевания,

сульфидизации, кварцевых жилах. Максимальные содержания Pb в рудах до 3,85, Zn до 4,6, Cu до 1%.

Молибденовые проявления отмечены в зонах окварцевания и кварцевых жилах в эндоконтактах наиболее молодых лейкогранитов Марельского массива ираканского интрузивного комплекса в верховьях руч. Большой Оконой, междуречье Большой Иракан – Акивдяк, верховьях р. Джагарма, в окварцованных гнейсах и кристаллических сланцах на р. Пакчи, в среднем течении р. Большой Чайдах и др. Мощность жил и окварцованных пород 0,2–5 м, протяжённость первые десятки метров. Содержания Mo до 0,139%.

Месторождение золота Колчеданный Утёс локализовано среди архейских биотит-пироксеновых гнейсов, кристаллических сланцев, гранитоидов. Представлено кварц-пиритовыми и пирит-кварцевыми жилами мощностью до 1,8 м (Au 5–25, реже 40–55 г/т). Мелкие проявления золота известны в зонах на правом берегу р. Пакчи (Au 0,4–0,8 г/т). Золото в количестве до 0,4 г/т найдено также на урановых рудопроявлениях Пакчи, Унин и аномалии № 5. Березитизированные и пиритизированные эффузивы участка Унин на контакте с гранодиоритами тындинско-бакаранского интрузивного комплекса слабозолотоносны (Au 0,002–0,1 г/т).

Известные по предыдущим работам и открытые нами рудопроявления радиоактивной минерализации подразделяются на три формационных типа, отвечающих главнейшим тектоническим режимам развития региона: проявления, сформировавшиеся на раннем этапе становления земной коры Алдано-Станового щита в архее; проявления раннепротерозойской тектоно-магматической эпохи; проявления, образовавшиеся в мелу в коллизионный этап развития территории.

Археем датируются урановые и торий-урановые проявления уран-торий-редкоземельной формации в редкометалльных пегматитах и кальцит-диопсидовых скарнах в связи с архейской гранитизацией метаморфических толщ. Высокая радиоактивность редкометалльных пегматитов и диопсидовых скарнов объясняется присутствием в них уран- и торийсодержащих минералов – фергусонита, малакона, ортита, монацита. Радиоактивные проявления представлены небольшими гнёздами аномальной радиоактивности преобладающей ториевой природы. Содержания тория в гнёздах составляют первые сотые – десятые доли, урана – первые сотые доли процента.

К *раннепротерозойской эпохе* отнесены ториевые, торий-урановые и урановые проявления формации кремнещелочных метасоматитов; урановые проявления в альбититах, распространённые в центральной и юго-западной частях Купуринской площади.

В кремнещелочных метасоматитах по мигматизированным биотитовым и амфибол-биотитовым гнейсам природа проявлений, как правило, ториевая, реже торий-урановая. В местах аномальной радиоактивности отмечаются биотитизация и скопления радиоактивных акцессорных мине-

ралов – циркона, ортита, монацита, оранжита. Содержания Th до 0,096, U <0,009%. В гнейсах, интродуцированных гранитами древнестанового интрузивного комплекса, подверженных кремнещелочному метасоматозу, природа радиоактивности урановая, реже торий-урановая. Радиоактивные минералы развиваются в форме гнёзд размером до 1 м. Повышенная радиоактивность тяготеет к линзочкам и скоплениям биотита и связана с уранинитом и браннеритом. Содержания U до 0,2% при фоновых содержаниях Th.

Радиоактивные проявления в альбититах в среднем течении р. Пакчи прослеживаются в гнейсах, прорванных жилами гранитов и гранито-гнейсов древнестанового комплекса. По данным минералого-петрографического изучения минералогических проб устанавливается многостадийный процесс гидротермально-метасоматических изменений: калишпатизация, альбитизация, окварцевание. К катаклазированным и милонитизированным породам приурочены выделения метасоматических и рудных минералов – биотита, актинолита, магнезиального хлорита, серицита, эпидота, пирротина, пирита, халькопирита, молибденита, апатита, сфена, циркона, уранинита, бетафита. Содержание U в породе 0,0111, Th 0,0014, K 2,96, Na 3,45%. Кроме того, обнаружены Pb, Cu 0,004, Bi 0,007, P 0,07, Mo 0,001%, Au 0,1 г/т. К наиболее характерным проявлениям этого типа относятся аномалии № 5 и № 6 (неопубликованные материалы Таёжного ПГО, М.В.Горошко, 1998 г.).

Урановые проявления мезозойского возраста контролируются Оконон-Купуринской радиогеохимической зоной (см. рис. 1, а; рис. 2). Они выявлены на значительном интервале этой зоны от р. Оконон на севере до р. Купури на юге на расстоянии ~100 км и характеризуются близкими условиями локализации руд, типами гидротермально-метасоматических изменений и элементов-спутников уранового оруденения.

Выделение радиогеохимических зон – важная задача прогнозных работ на уран. К этим работам привлекаются карты радиогеохимических полей, ореолов элементов-спутников урановой минерализации, специализированных на уран магматических пород, ураноносных проявлений, ореолов метасоматической зональности и др. Основой для составления карты служили главным образом данные АГСМ-полей м-ба 1:50 000 и литогеохи-

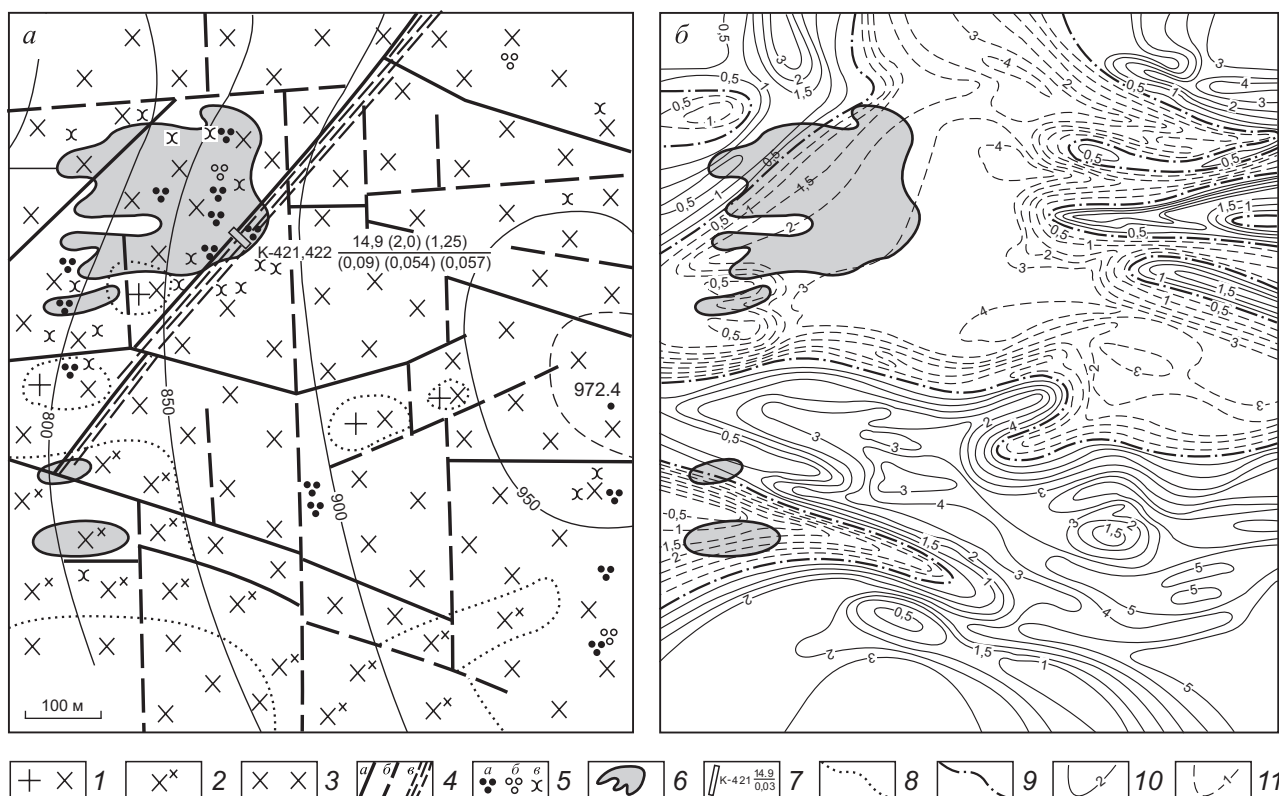


Рис. 3. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА (а) И КАРТА АНОМАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ (б) РУДОПРЯВЛЕНИЯ ПАКЧИ:

тындинско-бакаранский интрузивный комплекс: 1 – гранодиориты, 2 – мелкозернистые диориты, 3 – массивные среднезернистые биотит-амфиболовые диориты; 4 – разломы (а – установленные, б – предполагаемые по геофизическим данным, в – вскрытые горными выработками); 5 – эпигенетические изменения (а – гематитизация, б – аргиллизация, в – хлоритизация); 6 – ореолы аномальной радиоактивности; 7 – каналы, их номера, результаты вскрытия рудных зон (в числителе – мощность рудного интервала, м, в знаменателе – содержание U, %); 8 – фациальные границы; изолинии аномального магнитного поля, нТл: 9 – нулевые, 10 – положительные, 11 – отрицательные

мического опробования по нерегулярной сети, проведённые в 1996–1998 гг. Таёжным ПГО (ответственный исполнитель М.В.Горошко). Фоновые и аномальные содержания урана определялись по выборкам для различных комплексов пород статистическими методами на ЭВМ. Аномальные содержания выносились на карту. По результатам обработки аэроданных в совокупности с вышеперечисленными признаками выделена Оконон-Купуринская радиогеохимическая зона, объединяющая специализированные на уран комплексы пород, урановые проявления и аномалии, ореолы элементов-спутников урановой минерализации и структурные данные.

Рудопроявление Пакчи локализовано в диоритах тындинско-бакаранского интрузивного комплекса. Рудоконтролирующая структура представ-

лена мощной крутопадающей зоной интенсивной трещиноватости и брекчирования северо-восточного простирания сбросового характера (рис. 3). Рудопроявление расположено в краевой части локальной отрицательной аномалии магнитного поля ΔT размером 400×500 м на фоне интенсивного положительного магнитного поля. Она отвечает диоритам, утратившим намагниченность вследствие наложенных интенсивных гидротермально-метасоматических процессов. В радиоактивном поле участку рудопроявления соответствует радиоактивная аномалия размером 240×220 м по изолинии 30 мкР/ч на фоне 12–14 мкР/ч.

В связи со сложными природными условиями ведения работ рудная зона вскрыта не на полную мощность. Она приурочена к участку с максимальной тектонической и гидротермально-ме-

тасоматической проработкой диоритов. Неполная мощность вскрытого рудного интервала по бортовому содержанию U 0,03% >14 м. В нём выделяются два интервала мощностью 2,0 и 1,25 м с содержанием U 0,054 и 0,057% соответственно.

Гидротермально-метасоматические процессы в околорудном пространстве протекали в несколько стадий: калишпатизация, окварцевание, пренитизация, хлоритизация, цеолитизация (ломонтит), глинисто-гидрослюдистые изменения. Высокие содержания урана на рудопроявлении обусловлены наличием в рудных зонах собственно урановых (урановая чернь, уранофан) и большого количества урансодержащих минералов – биотита, роговой обманки, циркона, тёмного апатита, сфена, ильменита, пирита, гидроксидов железа. Эти минералы развиваются в цементирующей массе тектонических брекчий, зон катаклаза и интенсивной трещиноватости. В рудных пробах, кроме аномальных концентраций урана, присутствуют Au 0,4, Ag 30 г/т, Pb 0,004, As 0,04, Mo 0,002, Ba 0,15%. Факторным анализом установлены высокие корреляционные связи урана со свинцом и молибденом. Рудопроявление может быть отнесено к урановой формации в связи с каолин-гидрослюдистыми метасоматитами зон разломов.

Кроме рудопроявления Пакчи, в пяти километрах к северу от него выявлены два ореола аномальной радиоактивности интенсивностью 30–105 мкР/ч, протяжённостью 250 и 200 м при ширине 5–25 м. Ореолы тяготеют к зонам катаклаза и кварц-гидрослюдистых изменений по плагиогранитам и мигматизированным гнейсам. Урановая минерализация представлена гидроксидами урана и радиоактивным цирконом. Содержание U в штучных пробах до 0,0574, As до 0,008, Вi до 0,03, Мо до 0,001, Pb до 0,007%, Au 0,2, Ag 4 г/т. По результатам факторного анализа уран образует тесную геохимическую ассоциацию со свинцом, цинком и серебром.

Рудопроявление Унин расположено в гольцовой части рельефа в районе высоты 1943,9 м на водоразделе рек Пакчи – Джагарма (рис. 4). Природные условия ведения наземных поисковых работ крайне неблагоприятны: коренные выходы встречаются только на узких гребневидных водоразделах. Рудопроявление локализовано в гранодиоритах тындинско-бакаранского позднеюрско-раннемелового интрузивного комплекса,

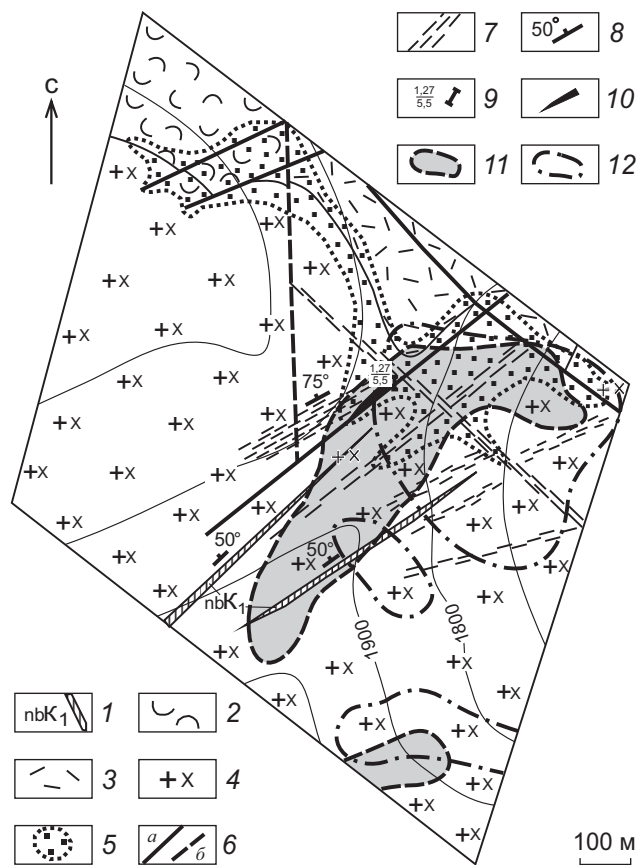


Рис. 4. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РУДОПРОЯВЛЕНИЯ УНИН:

1 – дайки диабазовых порфиридов и габбродиабазов; 2 – туфы агломератовые, псефитовые риолитового состава; 3 – риолиты, их лавобрекчии; 4 – гранодиориты (γδ), реже кварцевые диориты (б) тындинско-бакаранского интрузивного комплекса; 5 – ореолы березитизированных пород; 6 – тектонические нарушения (а – установленные, б – предполагаемые); 7 – зоны дробления и интенсивной трещиноватости пород; 8 – элементы залегания тектонических нарушений и даек; 9 – канава, результаты вскрытия рудных тел (в числителе – содержание U, %, в знаменателе – мощность рудных тел, м); 10 – урановорудные тела; 11 – ореолы рассеяния урана; 12 – мультипликативные ореолы элементов-спутников урановой минерализации (Mo·Cu·Pb·Ag·As≥x+δ)

перекрытых на севере участка кислыми эффузивами бомнакской свиты нижнего мела. Контакт гранодиоритов с эффузивами пологий с падениями на северо-восток под углами 20–25°. Вдоль контакта в гранодиоритах и эффузивах картиру-

ется мощный ореол березитизированных пород, прослеженный по простиранию на 900 м. Все породы прорваны дайками основного состава, внедрившимися вдоль разломов северо-восточного, реже северо-западного простираний. Гранодиориты и эффузивы характеризуются высокими содержаниями урана (см. табл. 1) при пониженном торий-урановом отношении.

В центральной части участка выявлен ореол аномальной радиоактивности размером 80×25 м, вскрытый канавой в одном сечении. Урановая минерализация приурочена к крутопадающей тектонической зоне северо-восточного простирания общей мощностью ~16 м, в пределах которой выделяются несколько швов интенсивного дробления и трещиноватости пород с видимой первичной и вторичной урановой минерализацией. Средневзвешенное содержание U в зоне составляет 1,27% на мощность 5,5 м, в том числе 7,565% на мощность 0,37 м.

Дорудные гидротермально-метасоматические изменения в зоне протекали в несколько стадий: калишпатизация, грейзенизация, интенсивная гидрослюдизация. Урановая минерализация накладывается на все более ранние эпигенетические минералы и представлена первичными оксидами, гидроксидами и силикатами. Возраст уранового оруденения по уран-свинцовой изохроне 130 ± 13 млн лет [7].

В аномальных концентрациях, кроме урана, присутствуют Au до 0,4, Ag до 3 г/т, Pb 0,3, As 0,04, Mo 0,02, Cu 0,003%. Факторный анализ показал высокие корреляционные связи урана со свинцом, медью, молибденом, мышьяком, серебром.

Рудопроявление Оконон залегает в гранодиоритах тындинско-бакаранского интрузивного комплекса в мощной зоне катаклаза и милонитизации с наложенной аргиллизацией, хлоритизацией и окварцеванием. Радиоактивность до 200 мкР/ч обусловлена вторичной урановой минерализацией. Помимо урана, в зоне обнаружены Cu до 0,6, Pb 0,001, Co 0,01–0,05, Mo 0,02%.

В результате исследований определены основной потенциально промышленный формационный тип урановых проявлений, датируемый мезозойским возрастом, и основные закономерности их локализации.

Урановые проявления находятся в зоне Станового глубинного разлома, разграничивающего

Алданскую гранулит-гнейсовую и Становую гранит-зеленокаменную области Алдано-Станового щита. В районе проявлен интенсивный многофазный и полифациальный вулканогенно-интрузивный магматизм позднемезозойского возраста. Пространственно магматизм контролировался Становым глубинным разломом. Ранние стадии магматизма характеризуются образованием гранитоидов диорит-гранодиоритовой формации, а поздние – высокорadioактивными, специализированными на уран лейкогранитами калиевого ряда повышенной щёлочности.

Телескопирование многофазного и полифациального мезозойского магматизма на относительно коротком отрезке Станового глубинного разлома указывает на наиболее проницаемый его участок для магматитов и продуктов постинтрузивной гидротермальной деятельности и определяет границы потенциально урановорудного района.

Зоны околорудных гидротермально-метасоматических изменений отчётливо фиксируются отрицательными значениями аномального магнитного поля, что связано с резким понижением магнитной восприимчивости пород за счёт разложения магнитных минералов на значительную глубину.

Урановое оруденение локализуется в зонах северо-восточных разломов, занимающих резко секущее положение относительно основных складчатых и разрывных структур района. К разломам часто приурочены самые молодые дайки и их пояса основного, среднего и кислого составов.

Анализом проявленности уранового оруденения в поле экстенсивности развития коротких линеаментов установлена связь рудных проявлений с ореолами их максимального развития (см. рис. 1, а), что может рассматриваться в качестве благоприятного фактора рудоконтроля.

Структурный контроль оруденения является главенствующим. Это мощные зоны интенсивного катаклаза и трещиноватости в гранитоидах тындинско-бакаранского интрузивного комплекса, реже в гранито-гнейсовом фундаменте.

Уран образует тесные геохимические связи со свинцом, медью, молибденом, серебром, цинком. На всех рудопроявлениях установлено содержание Au до 0,4 г/т.

Положение Купуринской площади в зоне сочленения по Становому глубинному разлому двух

крупнейших структур Алдано-Станового щита Алданской гранулит-гнейсовой и Становой гранит-зеленокаменной областей, интенсивное развитие многоэтапного мезозойского магматизма, завершившегося внедрением специализированных на уран позднемезозойских лейкократовых гранитов ираканского комплекса, проявление урановой минерализации на значительном (~100 км) отрезке Станового разлома и другие благоприятные признаки позволяют рассматривать Окнон-Купуринскую радиогеохимическую зону как потенциальную ураноносную.

Оценка максимальной проявленности прямых и косвенных критериев ураноносности даёт возможность определить на стадии среднемасштабных поисковых работ участки для более детальных поисковых и поисково-оценочных работ, прежде всего на недоизученных рудопроявлениях и в экзо- и эндоконтактах высокорadioактивной интрузии Марела в истоках р. Унин. Сравнительный анализ условий локализации уранового оруденения на Купуринской площади и других ураноносных районов мира (Западная Европа, Чехия, Китай, Забайкалье) [21, 22] выявил значительные черты сходства района [4, 8, 15] с регионами с установленной промышленной ураноносностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий.* М-б 1:2 500 000. Объяснительная записка / Л.И.Красный, А.С.Вольский, Пэн Юньбяо и др. – СПб., Благовещенск, Харбин: МПР РФ, Мин-во геол. и мин. ресурсов КНР, 1999.
2. *Геологическая карта России и сопредельных государств (в границах бывшего СССР).* М-б 1:5 000 000 / Гл. редактор Р.И.Соколов. – СПб.: Ленингр. картфабрика ВСЕГЕИ, 1992.
3. *Геологическая карта СССР.* М-б 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-52-(53) Зея / Отв. ред. Е.М.Заблоцкий. – Л.: ВСЕГЕИ, 1985.
4. *Геология и металлогения Забайкалья и Восточной Монголии* / Под ред. Ю.М.Шувалова, М.Д.Пельменева. – Л.: ВСЕГЕИ, 1982.
5. *Геохронологические исследования гранитоидов Становой складчатой области* / Л.Н.Тимаков, Н.В.Шатова, Н.Г.Бережная и др. // Региональная геология и металлогения. 2015. № 61. С. 35–49.
6. *Гиммельфарб Г.Б., Белоножка А.Б., Заборский В.Ю.* Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Сер. Становая. Лист N-52-VI. – М.: Недра, 1971.
7. *Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е.* Металлогения урана Дальнего Востока России. – М.: Наука, 2006.
8. *Государственная геологическая карта Российской Федерации.* М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Лист N-52 (Зея) / А.Н.Серезников, Ю.Р.Волкова, А.Л.Яшнов и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2005.
9. *Казмин Ю.Б., Федоровский В.С., Найденов Ю.Ф.* Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Сер. Становая. Лист N-52-IV. Объясн. записка. – М.: Копир.-картограф. предприятие Всесоюз. геол. фонда, 1970.
10. *Казмин Ю.Б.* Становой глубинный разлом, его влияние на магматизм и металлогению // Тр. Всесоюз. аэрогеол. треста. 1962. Вып. 8. С. 98–102.
11. *Карсаков Л.П.* Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Сер. Становая. Лист N-52-XI. – М.: Мингео СССР, 1974.
12. *Карсаков Л.П.* Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Сер. Становая. Лист N-52-XII. – М.: Мингео СССР, 1980.
13. *Карсаков Л.П.* *Метаморфические комплексы Приамурья / Метаморфизм докембрия в районе Байкало-Амурской магистрали* – Л.: Наука, 1983. С. 66–97.
14. *Карсаков Л.П., Чжао Чуньчин, Горошко М.В., Малышев Ю.Ф.* Тектоническая карта области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к тектонической карте м-ба 1:1 500 000. – Владивосток-Хабаровск: Дальневосточное книжное издательство, 2005.
15. *Лошак Н.П.* Геологическая карта и карта полезных ископаемых СССР. М-б 1:200 000. Сер. Становая. Лист N-52-X. – М.: Мингео СССР, 1971.
16. *Малышев Ю.Ф.* Геофизические исследования докембрия Алданского щита. – М.: Недра, 1977.
17. *Металлогения урана Урало-Монгольского пояса* / Под ред. Ю.А.Арапова, А.А.Смылова, В.М.Терентьева и др. – Л.: ВСЕГЕИ, 1986.
18. *Микаилов Б.А., Терещенко Л.В., Панкина С.А.* Геологическая карта СССР. М-б 1:200 000. Лист N-52-V. – М.: Мингео СССР, 1971.
19. *Соколовский А.К., Федчук В.Л., Корсаков А.К., Соболев В.М.* Строение нижнего докембрия Становой области Алданского щита // Геология и разведка. 1994. № 5. С. 9–19.
20. *Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы: профиль 3-ДВ Сковородино – Томмот* / А.Н.Диденко, А.С.Ефимов, П.А.Нелюбов и др. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 2112–2131.
21. *Тектоника, глубинное строение и минералогия Приамурья и сопредельных территорий* / Отв. ре-

- дакторы Г.А.Шатков, А.С.Вольский. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004.
22. Урановые месторождения Чехословакии / Ю.А.Арапов, В.Е.Бойцов, Г.А.Кремчуков и др. – М.: Недра, 1984.
23. *Gilmanova G.Z., Rybas O.V., Goroshko M.V.* Specialized radar processing for the location of large geologic targets // *Geology and resources*. 2015. Vol. 24. № 3. P. 283–286.

GEOLOGICAL STRUCTURE AND URANIUM POTENTIAL OF KUPURINSKAYA AREA, ALDAN-STANOVY SHIELD

M.V.Goroshko, B.F.Shevchenko, G.Z.Gilmanova, M.Yu.Nosyrev

Materials on geology and uranium potential of Kupurinskaya area, Aldan-Stanovoy shield, are summarized and analyzed. Three uranium epochs (Early Archean, Early Proterozoic and Late Mesozoic) are outlined with the latter recognized as the most important by the authors as it differs from the earlier ones by ore zone parameters and presence of high-grade ores. Radiogeochemical characterization of all the rock complexes is given, Archean granitoids of the old Stanovoy intrusive complex and Late Mesozoic Irakan intrusive complex are determined as specialized for uranium. Radiogeochemical Okonon-Kupurinskaya zone confined to Stanovoy deep-seated fault at a junction of Early Archean Ud-May and Early to Late Archean Kupurinsky block of Aldan-Stanovoy shield is recognized. It is recommended for further uranium prospecting.

Keywords: Aldan-Stanovoy shield, Stanovoy deep-seated fault, Archean, Mesozoic, Cenozoic, magmatism, metallogeny, uranium.

ПОДПИСЧИКАМ

ПОДПИСКА В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ

по каталогу «Газеты. Журналы» Агентства «Роспечать»
(индекс 47218)

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА
на сайте Научной Электронной Библиотеки elibrary.ru

Вышедшие номера журнала можно приобрести в редакции:

Адрес: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1
Контактный телефон: 8 (495) 315-28-47. Факс: 315-43-47
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru

Периодичность – 4 номера в год. Цена подписки на год 1200 рублей

ТИПОМОРФИЗМ ЭНДОГЕННЫХ КАРБОНАТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

В рудах полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское преобладают карбонаты анкерит-доломитового ряда – типоморфные минералы Au-кварцевой формации. Но в целом по развитию минеральных видов, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов изученные эндогенные карбонаты близки к таковым олово-серебро-полиметаллических месторождений Западного Верхоянья. Fe-Mg двойные соли характеризуются широкой вариацией изоморфизма с сосуществованием фаз различного состава и исключительно высокой железистостью.

Ключевые слова: анкерит, сидеродолomit, изоморфизм, золоторудное месторождение Задержнинское, Южное и Западное Верхоянье.

Карбонаты, наряду с кварцем, – наиболее распространённые минералы рудных месторождений. В 1970-х годах были масштабно изучены карбонаты эндогенного оруденения Якутии различных формационных типов от кимберлитов и базальтоидов до гидротермальных месторождений олова, серебра, золота и других элементов [14]. Полученные данные позволили по развитию тех или иных минеральных видов карбонатного вещества, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов (Ca, Mg, Fe, Mn) выявить типоморфные особенности карбонатов, характерные определённым формационным типам оруденения.

В продолжение этих исследований в данной работе авторы охарактеризовали карбонаты полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское (Южно-Верхоянская металлогеническая зона Восточно-Якутского постагрегационного пояса), придерживаясь предложенной систематики и методики с использованием современных аналитических приборов. Анализ жильных карбонатов проводился термическим (термоанализатор STA449C Jupiter фирмы «NETZSCH» (Германия), скорость нагрева 10°C/мин. в инертной среде – аргон, аналитик Н.Н.Емельянова), рентгенофазовым (дифрактометр D2 PHASER фирмы Bruker (Германия), CuK α излучение, напряжение трубки 30 кВ, сила тока 10 мА, в интервале (2 θ) 4–65°, база данных PDF 2, аналитики Н.Н.Емельянова, Т.И.Васильева), рентгеноспектральным (микроанализатор Camebax-Micro, ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 0,8·10⁻⁷ А, t=10 сек., аналитик Н.В.Христофорова; сканирующий электронный микроскоп фирмы JEOL JSM-6480LV, энергетический дисперсионный спектрометр Energy 350, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1,08 нА, t=10 сек., аналитики С.К.Попова, С.А.Карпова) методами.



**Кондратьева
Лариса Афанасьевна**

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
lkon12@yandex.ru

**Емельянова
Нюргустана Николаевна**

ведущий инженер

ФГБУН Институт геологии алмаза
и благородных металлов СО РАН,
г. Якутск



Месторождение находится в Аллаш-Юньском горнорудном районе Южного Верхоянья. Рудная и россыпная золотоносность известна здесь с 30-х годов прошлого века. В разное время на площади рудного поля проводились геологоразведочные работы (Ю.П.Воронин, 1967 г., В.С.Краснопольский, 1988 г., М.К.Силичев, 1993 г. и др.). В 2002–2006 гг. ООО «Артель старателей «Дражник» разрабатывала месторождение с попутной разведкой нижних горизонтов, но в связи с нерентабельностью эксплуатации (малые и невыдержанные параметры рудных тел) оно было консервировано.

Месторождение расположено на западном крыле Южно-Верхоянского синклинория. Здесь протягивается одноимённый метаморфический пояс с широко проявленным гранитоидным магматизмом ранне-позднемелового возраста среди отложений верхоянского терригенного комплекса, преобразованных в условиях серицит-хлоритовой субфации метаморфизма фации зелёных сланцев (рис. 1). Оруденение тяготеет к осевой части антиклинали север–северо-восточного простирания, ассоциирующей с надвиговыми структурами. Рудовмещающие терригенные турбидиты ранней перми представлены переслаивающимися песчанистыми алевролитами и песчаниками бонсолчанской свиты. Породы смяты в мелкие складки, осложняющие свод основной структуры, интенсивно кливажированы. В пределах месторождения широко развиты маломощные дайки диоритов, микродиоритов, диоритовых порфиритов, спессартитов и керсантитов, группирующихся в серии сближенных, иногда кулисообразно расположенных тел, приуроченных к субширотной системе разломов. На месторождении и его флангах локализованы три мелких штокообразных тела субщелочных гранитоидов и разрозненные ореолы биотит-кордиеритовых роговиков, рассматриваемые в качестве апикальных выступов погребённого интрузивного массива.

Формирование полиформационного золотого оруденения обусловлено длительно развивавшейся рудно-магматической системой и совмещением в рудных телах трёх генетически различных, полихронных типов оруденения [8, 10]. Мезотермальные Au-кварцевые руды сформировались в две стадии. Раннее стратоидное Au-As оруденение сопоставимо с добатолитовыми

гидротермально-метаморфогенными жилами юрско-буларского типа. Время образования Au-Pb-Zn руд синхронно с внедрением ранне-меловых гранитоидов Южного Верхоянья. Наложённое эпитеермальное оруденение представлено золото-редкометальной Au-Bi (Te) минерализацией, проявившейся на завершающей стадии формирования гранитоидов Южного Верхоянья, и золото-серебряной Au-Ag (Sb), сходной с таковой Нежданнинского месторождения, связанной с позднемеловым гранитоидным магматизмом.

Ранние слабозолотоносные стратоидные жилы сложены интенсивно кливажированным крупнокристаллическим кварцем с редкой вкрапленностью метакристаллов арсенопирита и пирита. Промышленная золотоносность месторождения Задержнинское связана с рудными телами секущего морфоструктурного типа, представленными крутопадающими кварцевыми жилами и минерализованными зонами дробления с телескопированным оруденением. Количество рудных минералов ~5%. Это арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, самородное золото, электрум, реже встречаются халькопирит и пирротин. Золото-редкометальная ассоциация характеризуется наличием самородного висмута, висмутина, хедлейита, сульфотеллуридов Bi, минералов группы густавита и вторичных минералов – оксидов и теллуридов Bi с низкопробным (740–760‰) золотом. Индикаторными минералами Au-Ag (Sb) ассоциации являются Hg-содержащие электрум и кюстелит, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосоли, штютцит, Te-Pb-содержащий канфильдит, фрейбергит, сульфиды Au и Ag.

Карбонаты, широко распространённые на месторождении, присутствуют в виде прожилков, гнёзд и отдельных зёрен в кварце. Исследовано >50 образцов руд различного текстурно-структурного облика, представляющих пять типов гидротермальных образований:

- 1) дорудные жилы;
- 2) мезотермальное Au-кварцевое оруденение:

 - 2) стратоидное с Au-As минерализацией,
 - 3) Au-полисульфидное секущего типа;

- 3) Au-кварцевое с наложенным эпитеермальным Au-редкометальным и Au-серебряным оруденением:

 - 4) прожилково-жильное, часто сопровождаемое дайками спессартитов,
 - 5) прожилково-вкрапленное в минерализованных зонах дробления.

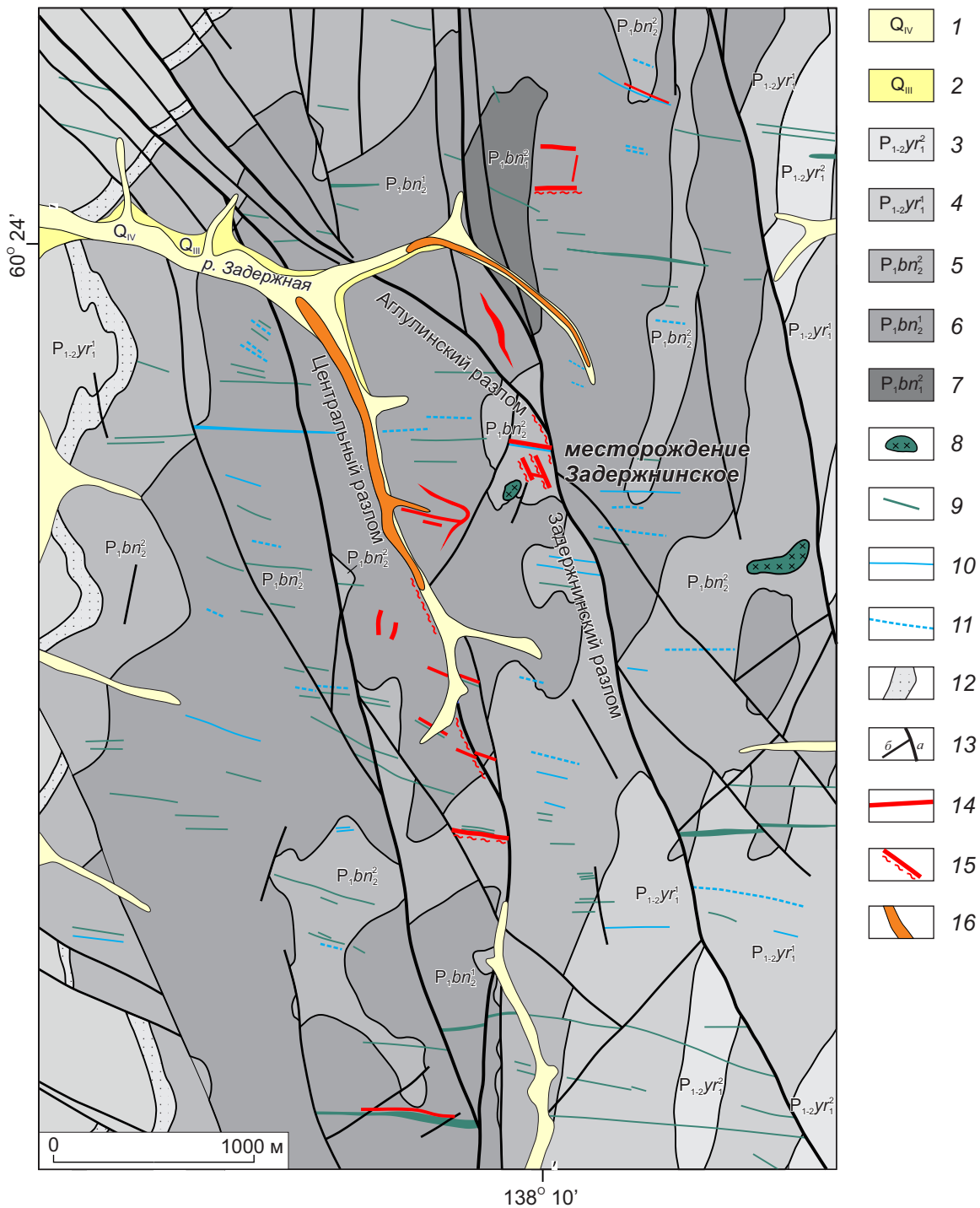


Рис. 1. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЗАДЕРЖИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:

четвертичные отложения: 1 – современное звено, 2 – верхнее звено; отложения ырчакской свиты: 3 – нижняя подсвита, вторая пачка, 4 – нижняя подсвита, первая пачка; отложения бонсолчанской свиты: 5 – верхняя подсвита, вторая пачка, 6 – верхняя подсвита, первая пачка, 7 – нижняя подсвита, вторая пачка; 8 – штоки диоритов; 9 – дайки диоритов, диоритовых порфиров и микродиоритов; 10 – дайки спессартитов; 11 – дайки керсантитов; 12 – маркирующие горизонты песчаников; 13 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные); 14 – кварцевые жилы; 15 – минерализованные зоны дробления; 16 – россыпи

1. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТОВ ЗАДЕРЖНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, МОЛ. %

Номера проб/анализов	Типы гидротермальных образований	Минералы	CaCO ₃	FeCO ₃	MgCO ₃	MnCO ₃	SrCO ₃		
110-ЛК-06/4-2*	Дорудные жилы	Кальцит I	95,30	1,92	1,48	0,80	0,51		
108-ЛК-06/6		Кальцит I	94,91	0,06	4,60	0,33	0,10		
С-54а-1/4-2*		Сидерит	0,30	90,73	8,39	0,58	-		
С-54а-1/4-4*		Мг-сидерит	1,99	79,65	17,85	0,51	-		
104-ЛК-06/5-10*		Сидерит	1,33	90,53	7,57	0,57	-		
104-ЛК-06/5-5*		Мг-сидерит	0,29	64,97	34,03	0,65	0,07		
104-ЛК-06/3-7*		Fe-доломит	52,13	21,29	26,32	0,26	-		
36-ЯС/3	Мезотермальное Au-кварцевое оруденение	Fe-доломит	49,34	22,73	26,80	0,95	0,19		
36-ЯС		Стратоидные жилы	Мг-анкерит	50,57	27,22	20,78	0,86	0,56	
2-АН-06/2-1*			Мг-анкерит	50,61	25,92	22,75	0,34	0,37	
116-2-ЛК-06/2			Fe-доломит	49,10	15,32	33,96	0,62	1,01	
К-211-1/4-1		Секущие жильные зоны	Кальцит I	97,08	0,18	2,26	0,49	-	
К-320/20-10*			Кальцит I	93,25	3,65	3,10	-	-	
К-211-1/5-4			Fe-доломит	49,05	13,31	36,73	0,35	0,56	
К-320/19-6*			Мг-анкерит	50,01	26,81	22,18	1,00	-	
К-320/14-3*			Fe-доломит	51,22	20,48	28,24	0,06	-	
23-АН-06/1-4*			Мг-анкерит	52,27	25,96	20,54	0,80	0,43	
23-АН-06/6-2			Fe-доломит	49,07	19,64	30,09	0,99	0,21	
К-308/5			Мг-анкерит	52,89	23,66	21,52	1,60	0,34	
К-409/3-1*			Мг-анкерит	49,17	33,10	17,09	-	0,64	
К-409/4-6*			Fe-доломит	49,04	16,67	32,65	1,37	0,26	
К-507-17-2/5-7*			Мг-анкерит	51,32	27,55	19,78	1,35	-	
К-507-17-2/5-2*			Fe-доломит	47,46	17,51	33,17	1,18	0,68	
Штр. 4-15-1/2-2*			Мг-анкерит	47,67	33,71	17,76	0,04	0,82	
Штр. 4-15-1/2-5*			Fe-доломит	49,36	16,48	32,69	0,92	0,55	
С8-32/3-2*			Fe-доломит	51,08	23,06	25,86	-	-	
С8-32/7-3*			Fe-доломит	51,03	11,88	36,79	-	0,30	
С7-30/5-11*			Мг-анкерит	50,94	28,43	19,12	0,57	0,93	
С7-30/2-11*			Fe-доломит	50,04	15,41	32,73	1,25	0,58	
С39-192,9/3-3			Fe-доломит	49,42	20,47	28,74	0,69	0,69	
К-320/7-1*			Секущие жильные зоны	Мн-сидерит	14,49	63,21	3,75	18,55	-
К-320/7-2*				Мн-сидерит	6,61	63,98	3,61	25,79	-
13-ЯС/8-2		Кальцит II		94,66	0,16	0,23	0,03	4,91	
Штр. 5-97/3		Кальцит II		97,10	0,16	0,20	0,04	2,50	
6-ЯС/1		Fe-доломит		49,13	18,52	30,92	0,75	0,68	
8-ЯС/5-2		Fe-доломит		48,90	19,06	30,54	0,82	0,68	
11-ЯС/2		Fe-доломит		50,50	19,40	28,55	1,05	0,50	
13-ЯС/8-1		Fe-доломит		50,53	17,10	30,55	0,99	0,84	
17-ЯС/3-2		Fe-доломит		50,69	16,70	30,66	1,05	0,91	
22-ЯС/3-4		Fe-доломит		48,86	21,98	27,62	0,81	0,73	
24-ЯС/5-2	Fe-доломит	50,81		18,88	28,48	1,03	0,80		
Штр. 4бис-0-1/3-2	Fe-доломит	50,23		21,40	27,24	0,70	0,43		
Штр. 5-80-2/8-2*	Fe-доломит	52,20		21,05	25,86	0,60	0,30		
Штр. 5-97-2/1-1	Fe-доломит	49,56		18,66	30,30	0,86	0,62		
Штр. Ю-22/1-3	Fe-доломит	51,41		15,62	31,50	1,15	0,31		
Уч. 8-К-3-5/1-2*	Fe-доломит	51,09		12,76	35,11	0,57	0,47		
Штр. 1-0/1-1	Минерализованные зоны дробления	Кальцит II		96,30	0,06	1,33	0,25	2,06	
Штр. 1-19-2/2-1*		Кальцит II		97,49	1,04	0,39	-	1,09	
В1-1/1-4*		Fe-доломит		51,12	20,55	28,33	-	-	
В1-3/1-5*		Fe-доломит		52,20	13,46	34,34	-	-	
В16-1-3/2-2*		Fe-доломит		49,95	19,56	29,40	0,47	0,62	
С61-10/4-2*		Fe-доломит		50,01	22,11	26,72	0,47	0,69	
42-ЯС/3-4*		Fe-доломит		50,21	19,64	30,15	-	-	
Штр. 1-0/3-4		Fe-доломит		49,11	19,00	30,19	1,07	0,63	
Штр. 1-19-2/1-1		Fe-доломит	48,19	24,33	26,35	0,65	0,48		
Рсч. 1-2/1		Доломит	51,15	7,85	40,62	0,11	0,27		
Рсч. 1-2/7-5		Fe-доломит	47,75	21,56	29,34	0,74	0,62		
Укл. 66-1/2-1		Fe-доломит	48,58	15,18	34,19	2,05	-		

Примечание. Пробы исследованы методом рентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе фирмы JEOL JSM-6480LV (*) и микроанализаторе Camebax-Micro.

Содержание карбонатов в разных типах руд варьирует: в ранних стратоидных жилах концентрация минимальная (до 5%), в крутопадающих – 5–15%, в минерализованных зонах дробления – до 50%. Как показал рентгеноспектральный анализ, карбонаты месторождения отличаются относительно широким видовым составом, представлены сидеродоломитом, магнезиоанкеритом, кальцитом, магнезиосидеритом, сидеритом и мангансидеритом (табл. 1). Содержания и соотношения в них изоморфных примесей приведены ниже при рассмотрении последовательности образования.

Дифференциальным термическим анализом (ДТА) подтверждается разнообразие карбонатных минералов и подчёркиваются особенности их химического состава (рис. 2). В основе метода ДТА – различия температур диссоциации солей CO_2 (табл. 2). Как видно из таблицы, температура эндоэффектов в кальцитах соответствует стандартной. В сидерите пик смещён в направлении повышения температуры по причине значительной концентрации в нём изоморфной примеси MgCO_3 (7,57 мол. %) [13]. Термические эффекты двойных солей ряда доломит – анкерит, напротив, наблюдаются при несколько заниженных температурах, что объясняется высоким содержанием Fe в минералах [16]. На кривых ДТА анкеритов, диагностируемых по характерному третьему эндотермическому эффекту, и доломитов значительная концентрация Fe также фиксируется по большей потере веса при первой реакции, чем при второй и третьей [15]. Кроме того, на кривых разложения наиболее железистых Mg-анкеритов (обр. 2-АН-06, В-16-1-3 и др.) между первым и вторым эндопиками отмечается экзотермический эффект.

Другой физический метод изучения карбонатов – рентгенофазовый анализ, выполненный методом порошка. Полученные дифрактограммы, как и следовало ожидать, отличаются от стандартных [1] из-за нестехиометричности состава. Межплоскостные расстояния d_{104} кальцита (3,02 Å) и сидерита (2,775 Å) смещены в сторону уменьшения от эталонных (соответственно, 3,036 и 2,79 Å), вследствие присутствия в них изоморфной примеси Mg [17].

И.Г.Демчук [5] выявлена прямая зависимость межплоскостного расстояния d_{104} в железистых доломитах от содержания изоморфного желе-

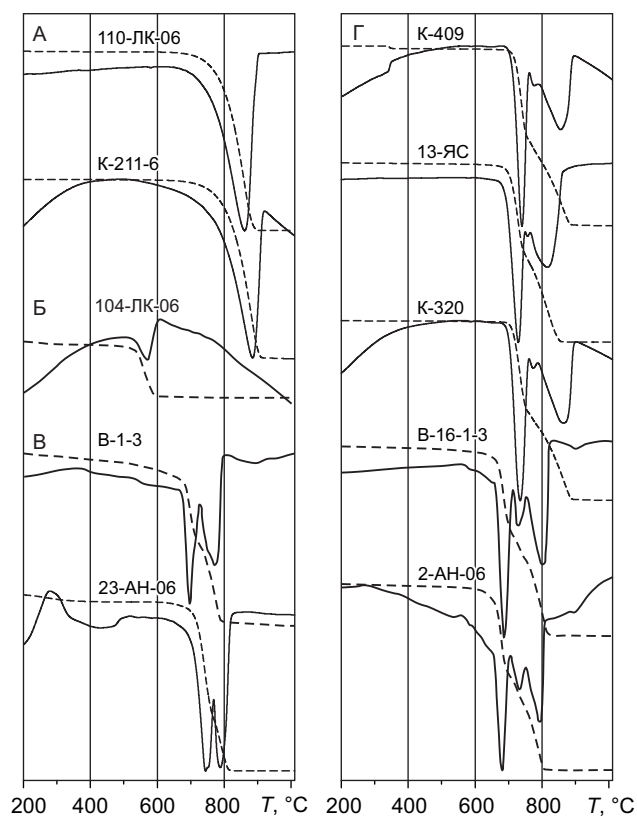


Рис. 2. ТЕРМОГРАММЫ КАРБОНАТОВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАДЕРЖНИНСКОЕ:

А – кальцит; Б – сидерит; В – доломит; Г – анкерит; штриховая линия – кривая потери веса

за, замещающего магний в кристаллической решётке, что обусловлено увеличением параметров решётки (рис. 3). Так, d_{104} с увеличением содержания FeO от 0,2 до 14 мас. % изменяется от 2,886 до 2,898 Å. Положение главной диагностической линии более железистых карбонатов доломит-анкеритового ряда месторождения Задержнинское отвечает значениям 2,898–2,899 Å (табл. 3), что соответствует установленной зависимости и подтверждает данные термического и рентгеноспектрального анализов анкерита в обр. К-409 и 2-АН-06. Рефлексы d_{113} и d_{116} также близки линиям анкерита, а не доломита.

Обобщая сведения по диагностике карбонатов, можно отметить хорошую сходимость и взаимодополняемость результатов, полученных разными физико-химическими методами.

Образование карбонатов на месторождении происходило на всём протяжении гидротермального процесса. Условно их можно подразделить

2. ТЕМПЕРАТУРЫ ДИССОЦИАЦИИ КАРБОНАТОВ

Минералы	Реакция	Температура	
		измеренная	стандартная [15]
Кальцит	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	853,1–882,8	800–950
Сидерит	1а. $\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	570,7	500–550
	1б. $2\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (экзоэффект)	608,8	
Доломит	1. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{CO}_2$	686,6–755,1	750–800
	2. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	761,3–825,6	840–950
Анкерит	1а. $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{CO}_2$	672,1–722,2	700–770
	1б. $2\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (экзоэффект)	696,7–739,1	
	2. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 + 2\text{CO}_2$	718,0–758,7	750–800
	3. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	760,8–846,6	850–950

3. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖПЛОСКОСТНЫХ РАССТОЯНИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ КАРБОНАТОВ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА

Образцы	$d_{104}, \text{Å}$	$d_{113}, \text{Å}$	$d_{116,009}, \text{Å}$	FeO, мас. %	FeCO ₃ , мол. %	Минералы
Стандарт	2,886	2,192	1,786–1,781	0,22		Доломит
Данные [по 5]	2,886			0,2		Доломит
	2,889			4,0; 4,3		Fe-доломит
	2,892			6,1; 7,2		Fe-доломит
	2,894			8,3; 10,5		Fe-доломит
	2,895			11,0		Fe-доломит
	2,898			14,0		Fe-доломит
В-1-3	2,898	2,199	1,793	$\frac{9,76-14,04}{12,78}$ (7)	$\frac{13,46-19,33}{17,53}$	Fe-доломит
13-ЯС	2,898	2,199	1,793	$\frac{6,9-15,3}{12,72}$ (23)	$\frac{9,38-21,16}{17,62}$	Fe-доломит
24-ЯС	2,898	2,199	1,793	$\frac{13,66-14,25}{13,91}$ (4)	$\frac{18,88-19,83}{19,38}$	Fe-доломит
11-ЯС	2,898	2,200	1,793	13,82	19,40	Fe-доломит
В-1-1	2,898	2,200	1,793	$\frac{14,4-14,62}{14,51}$ (2)	$\frac{19,94-20,55}{20,24}$	Fe-доломит
В-16-1-3	2,898	2,200	1,794	$\frac{13,34-17,15}{14,69}$ (18)	$\frac{18,60-24,68}{20,48}$	Fe-доломит – Mg-анкерит
К-409	2,899	2,200	1,794	$\frac{12,32-22,79}{17,21}$ (19)	$\frac{16,67-33,10}{24,30}$	Fe-доломит – Mg-анкерит
2-АН-06	2,899	2,200	1,794	18,36	25,92	Mg-анкерит
Стандарт	2,899	2,199	1,792	12,06	16,6	Анкерит

Примечание. В числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее содержание, в скобках – число анализов.

на дорудные, раннерудные, позднерудные. Дорудные карбонаты представлены кальцитом и в основном распространены на флангах рудного поля вне связи с рудоносными структурами в карбонат-кварцевых лестничных жилах, реже в виде мономинеральных прожилков в песчаниках. Кальцит содержит до 4,6% магнетитового минала и до 1,9% сидеритового. Единичные проявления сидерита наблюдались на южном фланге месторождения в карбонат-хлорит-кварцевых жилах и условно отнесены к дорудным. Сидерит

встречается в виде мелких зёрен в сидеродолomite или образует тонкую вкрапленность в крупнокристаллическом кварце, от чего последний приобретает густую бурую окраску. Карбонат содержит значительную концентрацию магнетитового минала от 7 до 34%, что позволяет различать собственно сидерит и Mg-сидерит (сидероплезит 17,85 и пистомезит 34,03% MgCO_3).

Раннерудные карбонаты Au-кварцевых руд как стратоидных, так и крутопадающих тел представлены высокожелезистыми двойными соля-

Строение рудных месторождений

ми ряда доломит – анкерит генерации I крайне неравновесного состава (табл. 4). По соотношению Fe и Mg по принятой систематике [14] минералы определены как сидеродоломит и магниоанкерит. Минералы отличаются широкими вариациями изоморфизма и сосуществованием фаз различного состава. В табл. 1 приведены крайние члены изоморфного ряда. Двойные соли характеризуются зональным и неяснозональным распределением фазового состава (рис. 4, а, в). Кальцит встречается очень редко, только в кварцевожильном секущем типе, и содержит до 3,65% сидеритового минерала и до 3,1% магниезитового.

Позднерудные карбонаты месторождения в рудах с наложенным эпitherмальным оруденением представлены сидеродоломитами генерации

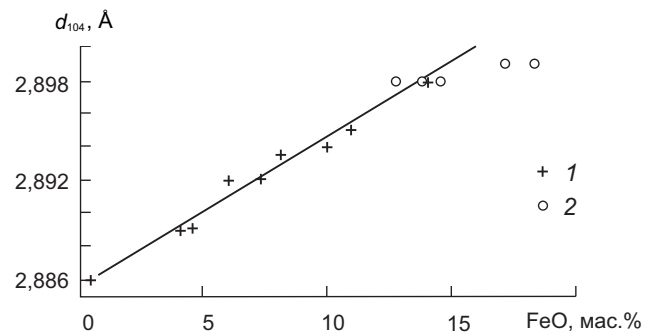


Рис. 3. ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ МЕЖПЛОСКОСТНОГО РАССТОЯНИЯ d_{104} (Å) ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В КАРБОНАТАХ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА, ПО И.Г.ДЕМЧУК [5]:

1 – данные по [5]; 2 – данные авторов

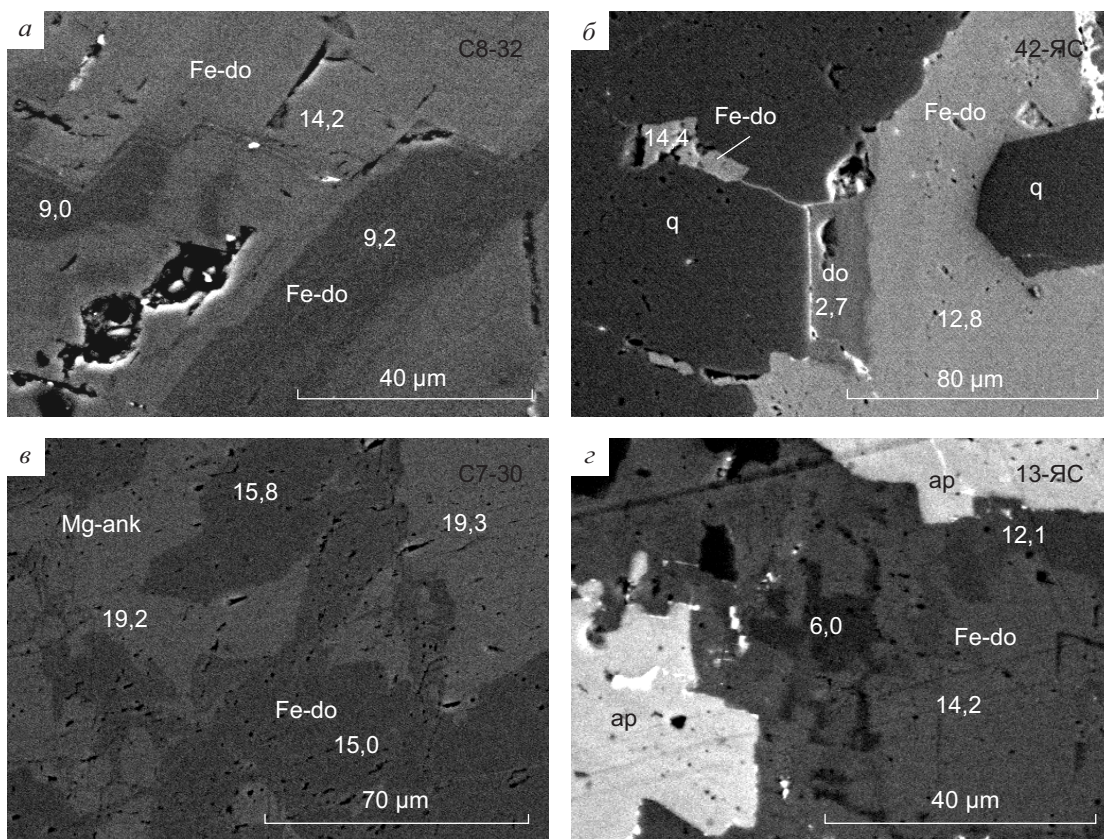


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КАРБОНАТОВ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАДЕРЖНИНСКОЕ:

а, б – зональное; в, г – неяснозональное; Fe-do – сидеродоломит, Mg-ank – магниоанкерит, do – доломит, ap – апатит, q – кварц; цифрами дано содержание FeO, мас. %

4. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТОВ РЯДА ДОЛОМИТ – АНКЕРИТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ

Составы	Мезотермальное Au-кварцевое оруденение		Мезоэпитермальное оруденение	
	Стратоидные жилы (n=8)	Жильные зоны (n=112)	Жильные зоны (n=68)	Минерализованные зоны дробления (n=65)
FeCO ₃	$\frac{12,86-27,22}{20,74}$	$\frac{11,88-33,71}{22,29}$	$\frac{9,30-25,03}{18,63}$	$\frac{7,85-24,68}{18,63}$
MgCO ₃	$\frac{20,78-36,72}{27,66}$	$\frac{17,09-37,80}{26,83}$	$\frac{24,52-37,88}{29,95}$	$\frac{24,22-40,72}{30,27}$
MnCO ₃	$\frac{0,34-1,60}{0,80}$	$\frac{0-1,64}{0,60}$	$\frac{0-2,59}{0,88}$	$\frac{0-2,85}{0,68}$

Примечание. В числителе пределы колебаний, в знаменателе среднее содержание, n – число анализов.

II с различным соотношением сидеритового и магнетитового миналов (см. рис. 3, б, г). В целом также отличаются повышенной железистостью. Карбонаты находятся в ассоциации с поздними сульфидами, сульфосолями и электрумом, часто совместно с апатитом и серицитом. Существенных различий между сидеродоломитами из руд жильно-прожилкового типа и минерализованных зон дробления не выявлено (см. табл. 4). Однако в последних чаще встречаются сидеродоломиты с относительно низкой концентрацией FeO, вплоть до собственно доломита (FeO 5,81 мас. %, или 7,85 мол. %), отмеченного в руде брекчиевой текстуры в ассоциации с кюстелитом и сульфидами Au и Ag. В зонах дробления, по-видимому, встречаются и более низкожелезистые доломиты, содержащие 2,29–3,37 мас. % FeO (см. рис. 3, б), а также сидериты (FeO 56,92 мас. %) и магнетитосидериты (FeO 36,64 мас. %, MgO 13,27 мас. %), но недостаток суммарного содержания (90–94%) не позволил принять их в расчёт. Несомненно, поздним является мангансидерит (родохрозитовая составляющая достигает 25,79%), образующий тонкие просечки в сидеродоломите генерации I.

Наряду с упомянутыми карбонатами, на заключительном этапе гидротермального процесса отлагался кальцит генерации II. Сравнение состава одновременных кальцитов показывает существенное обеднение позднего кальцита Mg, Fe, Mn и резкое обогащение Sr (до 4,9 мол. % SrCO₃) относительно раннего (0–0,5 мол. % SrCO₃). Стронций в карбонатах изоморфно замещает кальций [6], а повышенная стронциенность характерна для карбонатов из участков с интенсивной метасоматической проработкой по-

род, при которой происходит накопление элемента в растворе.

Проведёнными исследованиями установлена следующая последовательность образования карбонатов: дорудные жилы – кальцит I, сидерит-магнетитосидерит (?) → мезотермальное Au-кварцевое оруденение – магнетитосидерит-сидеродоломит I → телескопированные мезоэпитермальные руды – сидеродоломит-доломит II, мангансидерит, сидерит-магнетитосидерит, кальцит II. При этом резко преобладают Fe-Mg двойные соли при ограниченной роли остальных карбонатов. Выявлено относительное снижение железистости карбонатов в процессе минералообразования. Смена минеральных видов карбонатного вещества, соотношений в них минералообразующих элементов, парагенезисов рудных минералов, безусловно, отражают изменение условий рудообразования. Высокая железистость карбонатов свидетельствует о повышенной кислотности среды минералообразования [12]. По КР-спектроскопическим данным газовая составляющая флюидных включений кварцевых жил месторождения представлена почти исключительно CO₂ (93–100 мол. %); примеси CH₄ (до 2 мол. %) и N₂ (до 5,9 мол. %) появляются на поздних этапах оруденения, характеризующихся также относительным снижением температур гомогенизации [9].

Сопоставление результатов исследований со сведениями по карбонатам других золоторудных месторождений Южного Верхоянья выявило их принципиальное отличие. На месторождении Юр карбонат в жильном кварце пластовых тел диагностирован как кальцит [14]. Карбонаты Неждановского месторождения, по данным В.А.Аму-

5. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ АНКЕРИТОВ ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-ВЕРХОЯНСКОГО РАЙОНА

Месторождения	CaCO ₃	FeCO ₃	MgCO ₃	MnCO ₃	Источник
Кельтерское	53,92	28,82	16,40	0,86	[7]
Чочимбальское	56,02	23,70	19,02	1,26	
Эчийское	56,00	22,60	20,14	1,26	
Нунандинское	51,74	25,30	22,84	0,11	[14]
Хобоятинское	55,03	23,76	19,01	2,20	
Аркачан	49,45	27,18	22,66	0,57	[4]
	49,27	24,57	25,34	0,82	
	50,01	36,06	13,04	0,89	

зинского [14], Г.Н.Гамянина, В.В.Алпатова [3], представлены доломитом и крайне редко низкожелезистым сидеродоломитом. Данные по концентрации в них родохрозитового минала разнятся от 0,29–2,10 [по 14] до 0,01–0,03 мас. % [по 3].

Типоморфный карбонат мезотермального Au-кварцевого оруденения Верхне-Индибирского, Куларского горнорудных районов и Западного Верхоянья – сидеродоломит [14], что согласуется с полученными данными по раннерудным карбонатам. Отличие состоит в исключительно высокой железистости изученного сидеродоломита, вплоть до появления Mg-анкерита. Достоверные находки анкерита в месторождениях Якутии весьма редки. Минерал установлен в полисульфидно-карбонатных ассоциациях касситерит-сульфидных и серебро-полиметаллических руд Западного Верхоянья [7, 14] (табл. 5), известны они и на Нежданинском месторождении, но развиты в дорудных березитах и жилах [3].

Полиформационный телескопированный характер оруденения поздних этапов формирования месторождения Задержнинское, несомненно, вносит трудности не только в выяснение последовательности образования карбонатов, что, как отмечалось, сделано с некоторой долей условности, но и при отнесении их к определённым формационным типам. Особенно это касается золото-редкометального оруденения, где непосредственных взаимоотношений карбонатов с минералами висмута не выявлено. В рудах комплексной редкометально-кварцевой форма-

ции Янской синклиналиной зоны также широко развиты Fe-доломиты, но при этом доминирует кальцит, редко встречается Mg-сидерит. По данным Г.Н.Гамянина [11], на месторождениях висмутового типа Эргелях и Чугулук иммерсионным методом диагностирован анкерит.

Карбонаты Au-Ag формации Верхояно-Колымской складчатой области на 80–90% представлены кальцитом. На месторождении Задержнинское с минералами серебра ассоциируют относительно низкожелезистый сидеродоломит и собственно доломит, что характерно для Нежданинского месторождения. Наиболее позднее, завершающее процесс формирования Задержнинского месторождения, золото-серебряное оруденение существенно отличается от типичных золото-серебряных формаций вулканогенного типа, и в целом названо так по минералого-геохимическим признакам. Возможно, золото-серебряное оруденение месторождения – продукт наложения олово-серебряной минерализации на ранее сформированное Au-кварцевое оруденение с привнесом серебра и сурьмы, что обусловило образование золото-серебряных парагенезисов, развивающихся за счёт ранних золотых руд. Это подчёркивается появлением в рудах канфильдита, разнообразных сульфосолей сурьмы и серебра, снижением пробности самородного золота до электрума и кюстелита. Скорее всего, это парагенезис заключительных этапов, который проявился в связи с поздне-меловым магматизмом, как и на Нежданинском месторождении, где на ранние золото-пирит-арсенопиритовые руды наложена Sn-Ag минерализация [2].

Полученный материал во многом перекликается со сведениями по Au-Bi-сидерит-сульфидному оруденению месторождения Аркачан [4] оловоносного Западно-Верхоянского района, где выявлена такая последовательность отложения карбонатов: гидротермально-метаморфогенный этап – анкерит I; золоторудный (с минералами висмута в поздних ассоциациях) – Mg-сидерит I, анкерит II; серебро-полиметаллический – Mn-сидерит II (Mn 9–11 мас. %) и серебро-сурьмяный – кальцит.

В рудах полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское преобладают карбонаты анкерит-доломитового ряда – типоморфные минералы Au-кварцевой формации. Но

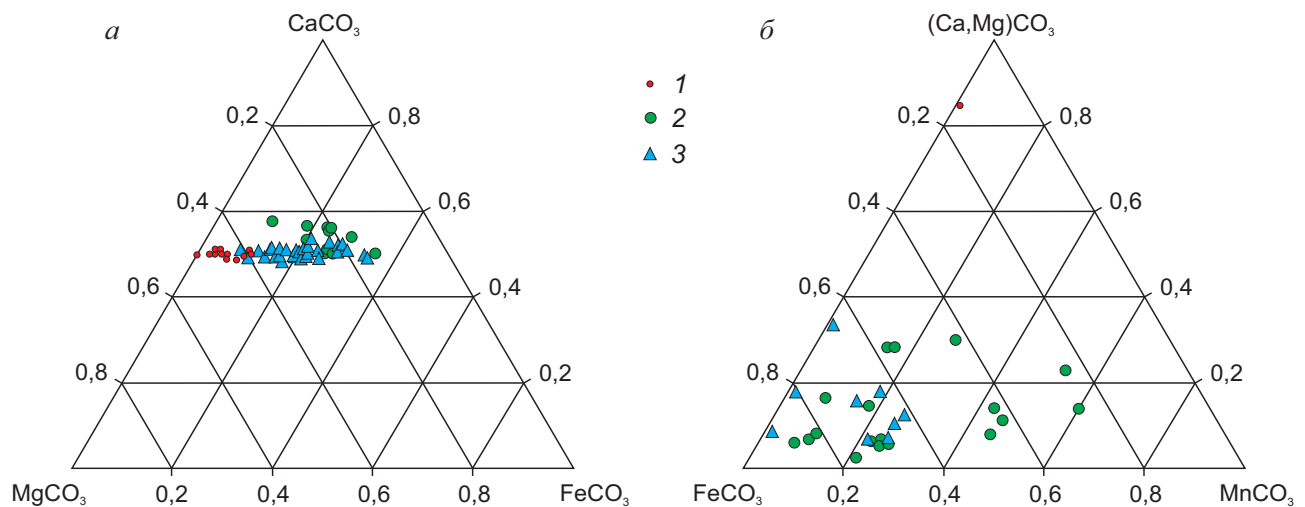


Рис. 5. ДИАГРАММЫ СОСТАВА КАРБОНАТОВ:

a – доломит-анкеритового ряда; *б* – сидерит-магнетит-родохрозитового ряда; месторождения: 1 – Нежданинское, 2 – олово-серебро-полиметаллические Западного Верхоянья, 3 – Задержнинское

в целом по развитию минеральных видов, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов изученные эндогенные карбонаты близки таковым олово-серебро-полиметаллических месторождений Западного Верхоянья (рис. 5).

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Е.К., Васильева Н.П. Рентгенографический определитель карбонатов. – Новосибирск: Наука, 1980.
2. Высокотеплотные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu-Ni-Pt, Co, Au и редкие металлы) / А.С.Борисенко, А.М.Спиридонов, А.Э.Изох и др. // Проблемы минералогии России. М., 2012. С. 237–252.
3. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2000.
4. Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С. Аркачан – новый золото-висмут-сидерит-сульфидный тип месторождений в оловоносном Западно-Верхоянском районе (Якутия) // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 513–545.
5. Демчук И.Г. Рентгеноструктурное исследование железистых доломитов из нижнего рифея на Южном Урале // Ежегодник-1980 (Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР). Свердловск, 1981. С. 131–132.
6. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 5. – М.: Мир, 1966.
7. Индолев Л.Н., Невойса Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. – Новосибирск: Наука, 1974.
8. Кондратьева Л.А. Закономерности локализации, минералого-геохимические особенности и возраст золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье): Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 2013.
9. Кондратьева Л.А. Рудообразующие флюиды золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье) // Мат-лы XV Всеросс. конф. по термобарогеохимии. М., 2012. С. 39–40.
10. Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Холмогоров А.И. Структура и минералогия Задержнинского золоторудного поля // Отч. геология. 2005. № 5. С. 23–28.
11. Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Индибирского района / Отв. ред. И.С.Рожков. – М.: Наука, 1971.
12. Сазонов В.Н., Поленов Ю.А., Огородников В.Н. Карбонаты метасоматитов золоторудных месторождений и их индикаторная роль // Мат-лы XI съезда РМО. С-Пб., 2010. С. 257–258.
13. Цветков А.И., Вальяшихина Е.П., Пилюян Г.О. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. – М.: Наука, 1964.

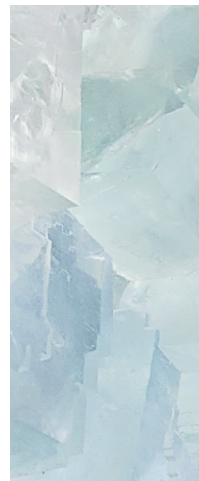
14. Эндогенные карбонаты Якутии / Отв. ред. В.В.Ковальский. – Новосибирск: Наука, 1980.
15. Földvari M. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice // Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary. 2011. Vol. 213.
16. Kulp J.L., Kent P., and Kerr P.F. Thermal study of the Ca-Mg-Fe-carbonate minerals // Amer. Mineralogist. 1951. Vol. 36. № 9–10. P. 643–671.
17. Rosenberg P.E. Synthetic solid solutions in the systems $MgCO_3$ - $FeCO_3$ and $MnCO_3$ - $FeCO_3$ // Amer. Mineralogist. 1963. Vol. 48. № 11–12. P. 1396–1400.

TYPOMORPHISM OF ENDOGENOUS CARBONATES AS AN INDICATOR OF THE FORMATION TYPE OF MINERALIZATION

L.A.Kondratieva, N.N.Yemelyanova

The carbonates of the ankerite-dolomite series, typomorphic minerals of the Au-quartz formation, predominate in the ores of the Zaderzhninskoe polyformational gold deposit. But in general, the development of mineral species, the ratio and concentration level of mineral-forming elements, the endogenous carbonates studied are similar to those of the tin-silver-polymetallic deposits of the Western Verkhoyansk region. Fe-Mg double carbonates are characterized by a wide variation of isomorphism with the coexistence of phases of different composition and extremely high iron content.

Keywords: ankerite, ferrous dolomite, isomorphism, Zaderzhninskoe gold deposit, Southern and Western Verkhoyansk region.





НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕНЕЗИСА И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРАТИФОРМНЫХ РУД КОЛЧЕДАННО- ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ

Приведено описание минерального состава руд ряда колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений Рудного Алтая с учётом двухэтапного процесса рудообразования – первичного гидротермально-осадочного и метаморфогенного. Рассмотрены преобразования первичных рудных концентраций в процессе контактового метаморфизма, связанного со становлением габбро-диорит-плагиогранит-гранитовой формации. Наиболее интенсивно метаморфизованные зоны отвечают амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма, остальные – мусковит-роговиковой. Установлен стадийный характер метаморфической эволюции руд в процессе перекристаллизации, частичной и полной мобилизации.

Ключевые слова: гидротермально-осадочные, метаморфогенные, колломорфные, фрамбоидальные, перекристаллизация.

Решение вопросов генезиса месторождений является первоочередным при прогнозных исследованиях. От правильного понимания происхождения месторождений зависит применение того или иного комплекса поисковых предпосылок и признаков, а также направление поисковых работ. Важнейшие факторы образования крупных запасов колчеданных руд – связь с контрастными или последовательно дифференцированными вулканогенными формациями (формационный), близость источника рудного вещества, наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне палеовулканического режима. При этом для формирования крупных запасов колчеданных руд не требовалось никаких неповторимых в геологической истории случайных совпадений факторов [7, 9].

Размещение древних колчеданных месторождений, особенно крупных, определялось положением центров длительной эндогенной активности, что обеспечивало существенную продолжительность функционирования магматогенных субмаринных гидротермальных систем в участках палеорастяжения вулканических гряд и благоприятствовало накоплению значительных объёмов сульфидного вещества, особенно в погребённых условиях [4]. Огромные скопления сульфидов вместе с сопровождающими их широкими полями гидротермальных изменений представляли собой участки неоднородности земной коры с контрастными петрофизическими свойствами, что стимулировало развитие здесь при синметаморфических деформациях зон тектонического течения. Исследования закономерностей

**Кузнецова
Светлана Владимировна**

научный сотрудник
sfa72@rambler.ru

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва

распределения месторождений северо-западной части Рудного Алтая, их строения, состава и условий образования [5, 8] подтверждают парагенетическую связь колчеданно-полиметаллического оруденения с процессами девонского вулканизма и их приуроченность к центрам вулканической активности базальт-риолитовой контрастной формации с антидромным развитием. Вулканические процессы на площади северо-запада Рудного Алтая протекали прерывисто на фоне общего терригенно-вулканогенного осадконакопления в пределах относительно мелководного шельфа. Вулканические поднятия (центры), выраженные в гравитационных и магнитных геофизических полях, чередовались с межвулканическими депрессиями, нередко со стабильным режимом прогибания и накопления мощных (до 4–5 км) осадочных толщ.

О девонском возрасте оруденения свидетельствуют находки обломков руды полиметаллического состава в конгломератах фамена в районе рек Маношиха и Каменка [6]. Известны также находки обломков околорудно-изменённых пород в конгломератах фамена на Садовушинско-Петровской площади [16]. Обломки колчеданных руд с незначительными содержаниями сфалерита и галенита присутствуют на месторождении Корбалихинское в перекрывающих рудовмещающую толщу отложениях. Здесь в лавах, лавобрекчиях и туфах основного состава наблюдаются окатанные или слабо окатанные обломки колчеданных руд размером несколько сантиметров.

Наиболее сложен и наименее изучен вопрос об источнике рудного вещества колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В.И.Смирнов [15] отмечал, что в периоды базальтоидного магматизма ранней стадии геосинклинального этапа формирование обширной группы специфических колчеданно-эндогенных месторождений происходило за счёт ювенильного подкорового вещества. Л.И.Шилов с соавторами [17], исследуя изотопный состав свинца месторождений Корбалихинское, Лазурское и Комиссаровское, а также ряда других объектов Рудного Алтая, пришёл к выводу об общности источников свинца в рудах и рудовмещающих породах и на основании близкого изотопного состава свинца в рудах, алевролитах и вулканогенных породах показал, что для руд

и вмещающих пород характерен свинец из вулканогенного источника.

Источником полезных компонентов, по-видимому, могли быть породы рамы. Как доказано [2], в экзоконтактовой зоне массивов в углеродисто-терригенных породах увеличивается содержание полезного компонента на 1–3 порядка, причём условия локализации оруденения и его масштабы связаны с длительным режимом стационарных термоградиентов, которые возникают над крупными интрузиями или их отщеплениями. А.И.Кривцовым [12] показана применимость модели субмаринных конвективно-рециклинговых рудообразующих систем к образованию колчеданных месторождений с выделением зоны мобилизации рудного вещества.

Современный облик рудных полей и месторождений обусловлен интенсивным метаморфизмом как вмещающих пород, так и руд. На Рудном Алтае проявлен контактовый метаморфизм, связанный со становлением крупных гранитоидных массивов [10]. Контактные изменения образуют довольно мощный ореол роговиков и ороговикованных пород мусковит-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций. Экзоконтактовые изменения, связанные со становлением габбродиорит-плагиигранит-гранитовой геологической формации, обычно имеют мощность 50–350 м, образуют две зоны роговиков и ороговикованных пород. Наиболее интенсивно метаморфизованные зоны отвечают амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма, остальные – мусковит-роговиковой [14].

Наряду с вмещающими породами, контактовому метаморфизму подвержены стратиформные и штокверковые рудные тела, а также сопровождающие их околорудные метасоматиты. Температурный режим метаморфических преобразований (370–410°C) установлен по результатам гомогенизации первичных включений в гранобластовом кварце. Постоянное присутствие графита в рудовмещающих углистых алевролитах, образующегося в результате термального воздействия на углистое вещество (оно иногда сохраняется в виде реликтов среди новообразований графита), указывает на тот же температурный интервал. Как показали экспериментальные исследования, проведённые С.С.Гороховым и Н.И.Петровой, образование графита за счёт углеводородов в присутствии металличе-

ских катализаторов происходит при температуре несколько выше 400°C. Наличие граната, пироксена и кордиерита в метаморфических породах ряда месторождений свидетельствует о достаточно высокотемпературном режиме метаморфизма начала амфибол-роговиковой фации, которой соответствуют температуры 550–600°C.

Главные рудные тела размещаются в разрезе среди тонкого чередования вулканогенных и осадочных пород. Здесь они занимают определённое стратиграфическое положение, локализуясь среди первично кремнистых фаций. Такое положение оруденения прослеживается на многие сотни метров как по падению, так и по простиранию рудных зон. Таким образом, основные рудные тела месторождений располагаются очень компактно, захватывая стратиграфический интервал от 50 до 150, редко 200 м.

Минералогические особенности стратиформных рудных тел и их метаморфические преобразования изучены на Корбалихинском, Лазурском, Семёновском, Майском, Зареченском, Степном, Юбилейном, Комиссаровском колчеданно-полиметаллических месторождениях и ряде рудопроявлений, обнаруженных по результатам полевых и камеральных работ с 2009 г. по настоящее время в российской части Рудного Алтая. Ниже приводится описание минерального состава руд применительно к двум этапам процесса рудообразования – первичному гидротермально-осадочному и метаморфогенному.

Гидротермально-осадочный этап рудообразования. На этом этапе сформировалась галенит-сфалерит-пиритовая минеральная ассоциация переменного состава, иногда с халькопиритом. Минералы ассоциации встречаются в виде реликтов среди перекристаллизованных и наложенных образований, а также самостоятельных скоплений. Пирит в ранней ассоциации представлен колломорфными выделениями с хорошо выраженными зональными почками (рис. 1, а), тонкозернистыми землистыми массами (мельниковит-пирит), а также фрамбоидами. Внутреннее строение пирита выявлялось при помощи травления концентрированной азотной кислотой. В большей части исследуемых образцов отмечаются почки размером 0,05–0,4 мм, но в некоторых случаях наблюдаются гигантские почки размером 1–7 см (месторождение Зареченское). В подчинённом количестве в участках развития

галенит-сфалерит-пиритовой ассоциации наблюдаются почки сложного состава – зональные, состоящие из чередования зонок пирита, галенита и сфалерита (см. рис. 1, б, в). Фрамбоиды пирита группируются в скопления до 0,5 мм и ассоциируют с ранними галенитом и сфалеритом, иногда образуют обогащённые слои в микрослоистых рудах, зафиксированы также фрамбоиды в виде вкрапленников в сфалерите (см. рис. 1, г).

Сфалерит данной ассоциации из-за большей пластичности редко сохраняется в первоначальном виде и обычно представлен тонким (размер зёрен сотые доли миллиметра) агрегатом мозаичного строения. Изредка встречаются захваченные кварцем сфалерит-пиритовые колломорфные агрегаты. В некоторых зёрнах при помощи диагностического травления выявляются реликты почковидного строения. Зональный рост отдельных зёрен сфалерита прослеживается по расположению эмульсионной вкрапленности халькопирита. Галенит и халькопирит в подчинённом количестве присутствуют в микрослоистых рудах и локализуются в зональных почках. Отмечаются также тонкодисперсные сростания халькопирита и пирита.

К парагенезису текстурных форм гидротермально-осадочного этапа относятся горизонтально-слоистая, ритмично-слоистая (рис. 2, а), линзовидно-слоистая, массивная и брекчиевая текстуры. Слоистые текстуры обусловлены чередованием прослоев с различным содержанием сульфидов. В ритмично-слоистых текстурах такое чередование закономерно. Кроме того, в макрослойках гидротермально-осадочных руд наблюдается микрослоистость, обусловленная распределением рудных минералов (см. рис. 2, б). Порой в слоистых рудах наблюдается убывание крупности зёрен от подошвы слоя к кровле. В рудах брекчиевой текстуры обломки руд различного состава цементируются нерудным веществом, иногда с небольшой примесью сульфидов (см. рис. 2, в). Рудные обломки состоят из пирита, сфалерита, халькопирита и галенита в различных соотношениях. Почти во всех обломках фиксируются первичные зональные почки или их реликты. Структуры гидротермально-осадочных руд колломорфные, аллотриоморфные, фрамбоидальные, почковидные, глобулярные.

Метаморфогенный этап рудообразования. На всех изученных месторождениях Рудного Алтая

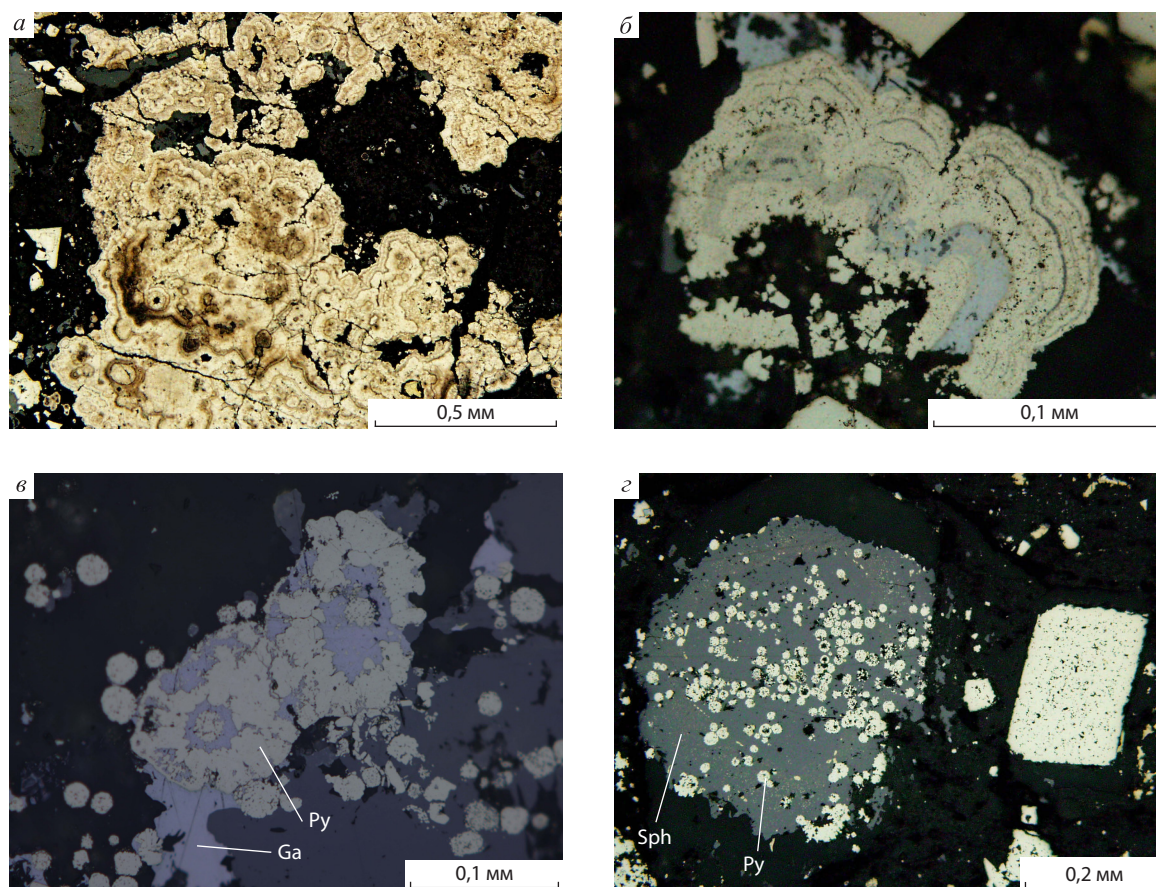


Рис. 1. МОРФОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЙ ПЕРВИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНОГО ЭТАПА:

а – почки пирита, протравлено азотной кислотой; *б* – первичные почки галенит-пиритового состава ритмично-зональные; *в* – первичные почки сложного пирит-галенитового состава, в центре почки фрамбонид пирита; *г* – фрамбониды пирита в сфалерите; полированные шлифы; месторождения: *а* – Лазурское, *б, г* – Корбалихинское, *в* – Семёновское

проявлен метаморфизм, связанный со становлением габбро-диорит-плагиигранит-гранитовой геологической формации. Контактному метаморфизму подвержены стратиформные рудные тела и сопровождающие их околорудные метасоматиты. Г.В.Ручкиным на примере колчеданных месторождений Северного Прибайкалья, Казахстана, Карелии обоснован стадийный характер метаморфических преобразований рудного вещества в процессе перекристаллизации, частичной и полной мобилизации [13]. Стадийность метаморфической эволюции руд установлена и на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая [11].

Стадия перекристаллизации и частичной мобилизации руд. Первичные, обычно коллоидные, руды преобразуются в кристалличе-

ски-зернистые агрегаты, моноклинный пирротин переходит в гексагональный, за счёт углистого вещества образуется графит. Помимо этого, изменяются состав или содержания элементов-примесей в сульфидах. Частичная мобилизация происходит при более интенсивных деформационно-метаморфических воздействиях и приводит к частичному переотложению вещества, нередко в пределах подвергшихся перекристаллизации скоплений. В рудах изученных месторождений наблюдаются переходы от почти не изменённых коллоидных образований до полностью перекристаллизованных разновидностей, в которых первичная структура остаётся лишь в виде реликтов среди агрегатов гранобластовой структуры.

Частично перекристаллизованные руды. В начале перекристаллизации коллоидных обра-

зований пирита в них появляются островки гранобластовой структуры и по краям они приобретают кристаллографические очертания (рис. 3, а). Мельниковит-пирит легко перекристаллизуется в тонкозернистый гранобластовый агрегат уже при слабых метаморфических воздействиях. Сфалерит приобретает двойниковое, мозаичное строение, однако в расположении и ориентации двойников угадываются первичные почки (см. рис. 3, б). В ходе дальнейших преобразований колломорфные агрегаты сульфидов постепенно полностью превращаются в гранобластовые (см. рис. 3, в, г).

Перекристаллизация руд без превращения в гранобластовый агрегат. В некоторых случаях преобразование пирита осуществляется по другой «схеме», без образования гранобластовых структур. Зональность, которая наблюдается в слабо перекристаллизованных почках, как бы «консервируется» в виде чётких «линий» в зёрнах пирита (рис. 4, а). Сами зёрна, как правило, становятся более гладкими, массивными, приобретают гипидиоморфную структуру при незначительном распространении аллотриоморфных зёрен и даже реликтов почковидных структур. Пиритовые выделения отличаются от первичных массивностью, сливным видом, несколько оплывшими границами. Подобный пирит с трудом подвергается диагностическому травлению, изредка удаётся обнаружить концентрически-зональное строение. Галенит, сфалерит и халькопирит из зональных почек отжимаются в интерстиции зёрен, в редких случаях остаются в виде слоёв. Минеральные ассоциации на этапе метаморфической перекристаллизации чаще всего унаследованы от гидротермально-осадочного этапа.

В конце перекристаллизации большинство зёрен утрачивают первичную структуру. Пирит представлен гипидиоморфными выделениями, в которые перекристаллизуется гранобластовый и почковидный пирит, хотя и в этом случае иногда встречаются реликты значительно преобразованных почек зонального строения (см. рис. 4, б). Очень устойчивы к метаморфическому воздействию фрамбоиды, сохраняющие первичную структуру в полностью перекристаллизованном пирите (см. рис. 4, в). Часто отмечаются «слипшиеся» фрамбоиды со следами давления, потерявшие округлую форму (см. рис. 4, г). На этой стадии широко представлены не только процессы перекристаллизации, но и переотложения

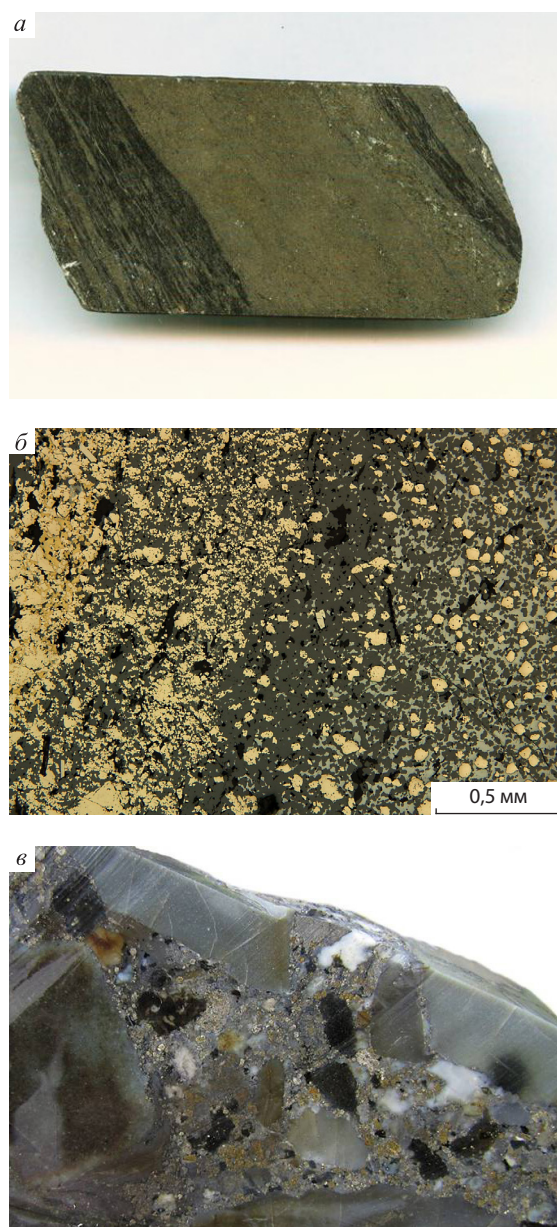


Рис. 2. ТЕКСТУРЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛАЗУРСКОЕ:

а – ритмично-слоистые колчеданно-полиметаллические руды (штуф, 1/2 от натуральной величины); б – микрослоистые руды (полированный шлиф); в – брекчиевые колчеданно-полиметаллические руды (штуф, натуральная величина)

вещества. В этом случае происходит частичная мобилизация вещества с последующим переотложением в каймах регенерации пирита. Наблюдаются образование пирротина за счёт пирита и рост метакристаллов пирита.

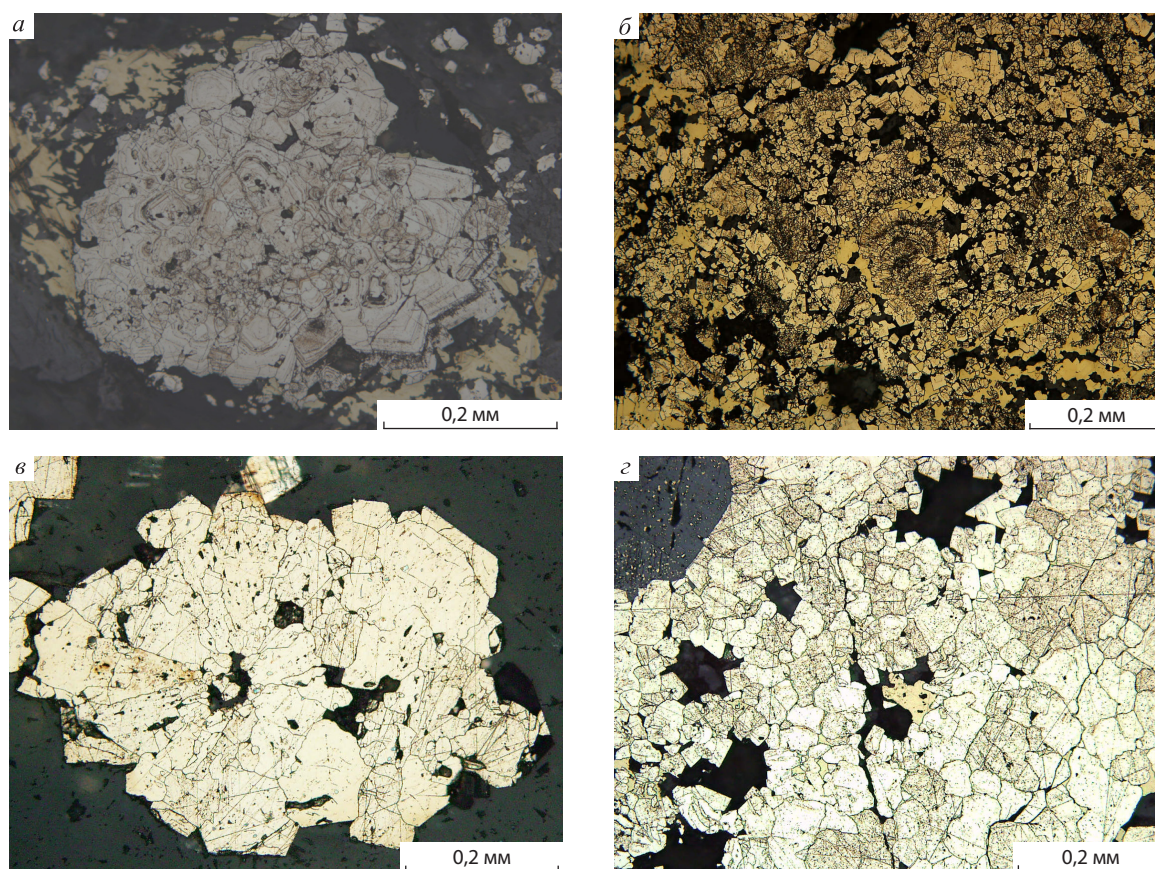


Рис. 3. МОРФОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЙ В РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО ПИРИТА:

а – начало перекристаллизации, протравлено концентрированной азотной кислотой; *б* – перекристаллизованный тонкозернистый агрегат с реликтами почковидного строения; *в* – почки пирита, начало превращения в гранобластовый агрегат, протравлено концентрированной азотной кислотой; *г* – пирит гранобластовой структуры; полированные шлифы; месторождения: *а, б* – Лазурское, *в* – Комиссаровское; *г* – Берёзовогогорское рудопроявление

В результате метаморфической перекристаллизации возникают полосчатая и пятнистая текстуры, различные бластические структуры руд с реликтами первичных структур. Развитие метаморфогенных структур и текстур руд проявлено локально на отдельных участках месторождений.

Стадия мобилизации руд. Полная мобилизация рудного вещества проявляется локально и реализуется в результате активного воздействия на первичные руды образующейся агрессивной флюидно-газовой смеси. Это воздействие сопровождалось мобилизацией и переотложением рудного вещества в полостях отслоения складок и трещинах. Наиболее типичные представители стадии мобилизации – кварц-пирит-галенит-сфалеритовая и кварц-галенит-сфалери-

товая минеральные ассоциации; халькопирит-блеклорудная и карбонат-галенит-халькопиритовая с блеклой рудой развиты меньше. Минералы ассоциаций образуют зоны вкрапленности, прожилков и гнёзд во вмещающих вулканогенных и осадочных породах и занимают как согласное, так и секущее положение по отношению к слоистости. Главные минералы ассоциаций – кварц, сфалерит и галенит поздней генерации, второстепенные – пирит, барит, карбонат. В некоторых случаях в составе ассоциаций встречаются марказит, арсенопирит. Редкие минералы представлены сульфосолями свинца и серебра. Сфалерит образует агрегаты зёрен с хорошо выраженным двойниковым строением. Двойники неровные, изогнутые, пересекающиеся друг с другом. Вдоль двойниковых швов в сфалерите обычно наблю-

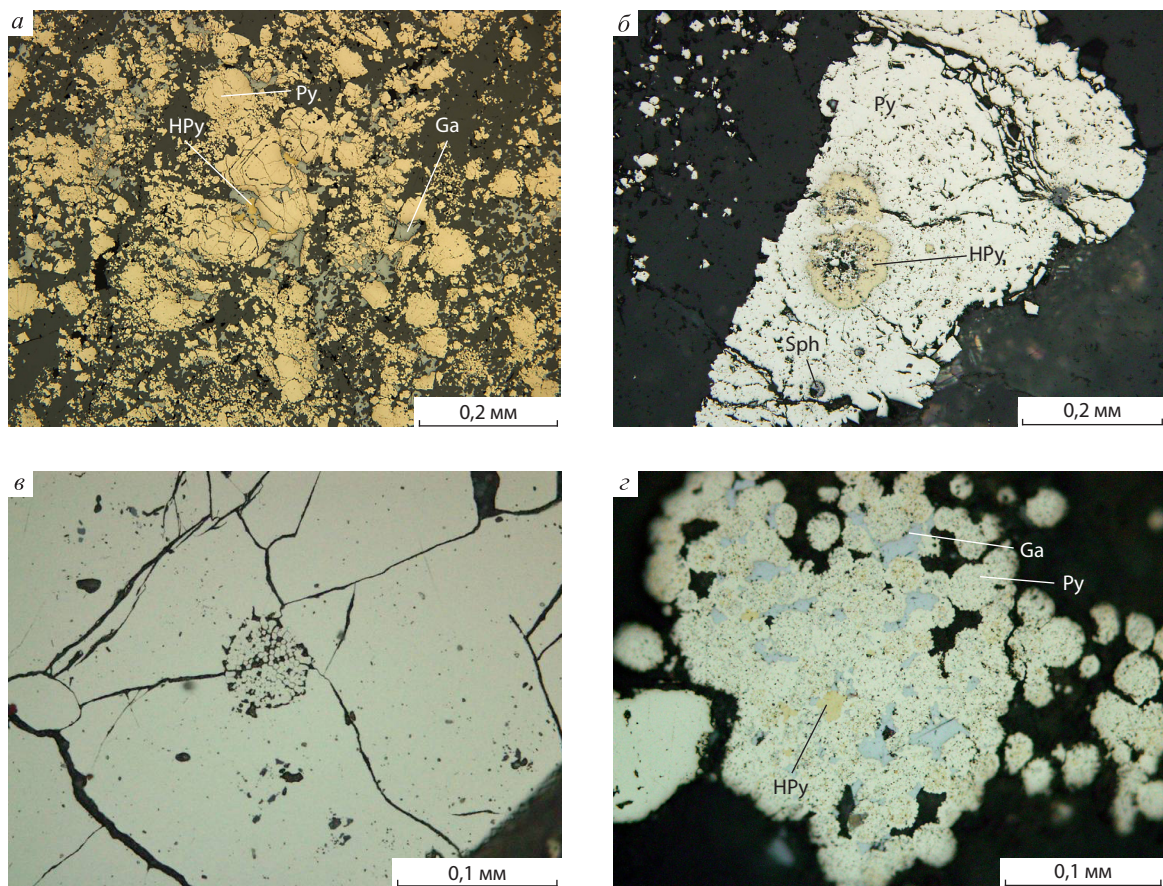


Рис. 4. РЕЛИКТЫ ПЕРВИЧНЫХ СТРУКТУР В ИНТЕНСИВНО ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗОВАННЫХ РУДАХ:

а – перекристаллизованный пирит с реликтами концентрически-зонального строения; *б* – реликты почковидного строения в раздробленном и захваченном кварцем обломке аллотриоморфного пирита, центральные части почек маркируются округлыми выделениями халькопирита и сфалерита; *в* – включения фрамбоидов в перекристаллизованном пирите; *з* – кластер слипшихся фрамбоидов; полированные шлифы; месторождения: *а* – Лазурское, *в, з* – Майское; *б* – Центрально-Берёзовогорское рудопоявление

дается эмульсионная вкрапленность халькопирита. Характерно укрупнение эмульсионной вкрапленности в местах изгибов двойниковых швов. Галенит занимает подчинённое положение, интенсивно корродирует минералы ранних генераций, чаще всего ассоциирует со сфалеритом (рис. 5, *а*). Сульфосоли серебра отмечаются в виде мелких зёрен в полях галенита. Пирит представлен хорошо ограниченными идиоморфными зёрнами размером от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Кварц образует гнёзда и прожилки совместно с сульфидами.

Халькопиритовая, халькопирит-блеклорудная, реже карбонат-галенит-халькопиритовая с блеклой рудой парагенетические минеральные ассоциации – основные в составе медно-колче-

данных руд. Главный минерал здесь – халькопирит-II, присутствуют также блеклая руда, сульфосоли серебра, иногда самородный висмут, висмутин, пирротин, самородное золото и серебро, соединения золота (см. рис. 5, *б, в*). Соединения золота и серебра колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая описаны многими авторами [1, 3, 5 и др.]. Халькопирит, представленный аллотриоморфно-зернистым агрегатом, интенсивно замещает все минералы ранних ассоциаций, развиваясь в них по трещинкам. С халькопиритом часто ассоциирует блеклая руда (см. рис. 5, *з*), которая может быть как теннантитом (месторождение Корбалихинское и др.), так и серебрясодержащим тетраэдритом (месторождения Змеиногорское, Зареченское и

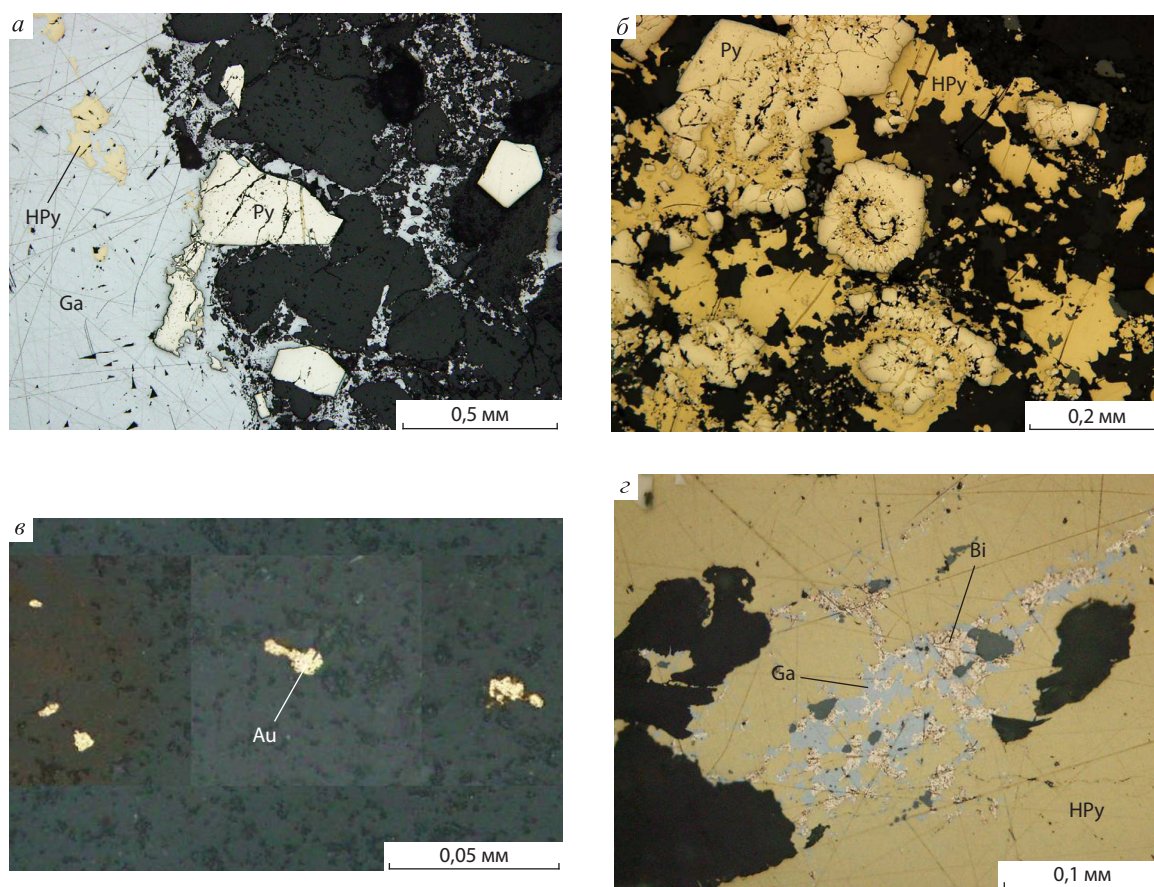


Рис. 5. МОРФОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЙ СУЛЬФИДОВ СТАДИИ МОБИЛИЗАЦИИ:

а – галенит корродирует и цементирует зёрна пирита; *б* – частично перекристаллизованные почки пирита цементируются халькопиритом; *в* – выделения золота; *з* – выделения блеклой руды и самородного висмута в халькопирите; полированные шлифы; рудопроявления: *а* – Берёзовогорское, *б, з* – Вересухинское; *в* – Змеиногорское месторождение

др.) [1]. Эпизодически в ассоциациях присутствует галенит, находясь в тесном сростании с халькопиритом и вместе с ним развиваясь по трещинам в более ранних сульфидах. Сульфосоли серебра встречаются в виде мелких выделений в галените и халькопирите. Самородный висмут, висмутин (см. рис. 5, *з*) и теллуриды висмута обычно ассоциируют с халькопиритом и блеклой рудой с повышенным содержанием серебра. Пирротин моноклинный или переходного типа с преобладанием моноклинной фазы. Состав пирротина на основании данных рентгеноструктурного анализа по кривой Арнольда – $Fe_{0,865}S$. Очень редко отмечается кубанит в виде веретенообразных вростков в халькопирите. На многих месторождениях выделяется ассоциация гипергенных сульфидов, главными минера-

лами которой являются ковеллин, халькозин, борнит.

Стадия мобилизации характеризуется образованием штокверковых рудных залежей с преобладанием прожилковых, вкрапленных, гнездово-прожилковых текстур, в местах сгущения сульфидов переходящих в массивные. Из структур в рудных агрегатах проявлены коррозионная, регенерации, гипидиоморфная, метакристаллическая, цементации, выполнения полостей. Рудные минералы наложены на первичные и перекристаллизованные сульфиды, цементируя или пересекая их скопления.

Кроме метаморфической перекристаллизации и мобилизации, в рудах широко проявлены процессы деформации, дробления (рис. 6, *а-в*), сопровождающие метаморфические преобразо-

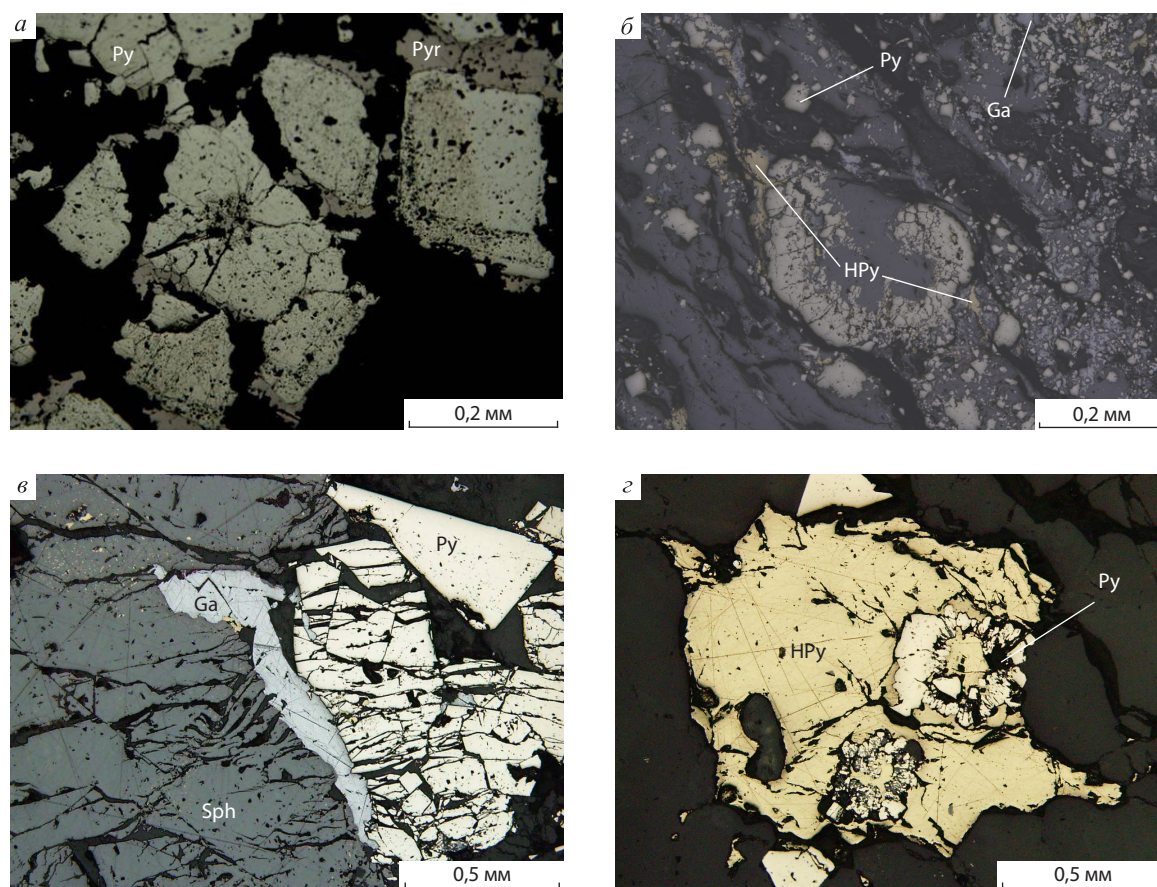


Рис. 6. СТРУКТУРЫ ДРОБЛЕНИЯ, ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ЧАСТИЧНОЙ МОБИЛИЗАЦИИ:

а – перекристаллизованный пирит, имеются следы переотложения вещества в каймах регенерации, коричневый – пирротин; *б* – растущая почка в зоне дробления корродирована кварцем; *в* – интенсивное дробление пирита и сфалерита ранней генерации и цементация их поздним галенитом; *з* – перекристаллизованные почки пирита цементируются халькопиритом, который, в свою очередь, подвергается деформационным воздействиям; полированные шлифы; месторождения: *а* – Каменское, *б* – Лазурское, *з* – Майское; *в* – Берёзовогорское рудопроявление

вания. Наиболее часто деформационным воздействиям подвергаются ранние сульфиды, особенно пирит. В зонах дробления они интенсивно разбиты трещинами, растущими и сцементированы минералами поздних генераций (см. рис. 6, з).

Главные минералы руд содержат широкий набор элементов-примесей, который одинаков для минералов различных этапов и стадий процесса рудообразования. Распределение элементов-примесей в сульфидах иллюстрируется на примере месторождения Семёновское (табл. 1, 2). Наибольшие концентрации Cd наблюдаются в сфалерите, Se – в галените, Ag – в блеклых рудах, Au – в пирите и сфалерите. Ранний гидротермально-осадочный пирит обогащён примеся-

ми Au (31,8 г/т), Ag (0,026%), Sb (0,027%), As (0,35%), Mn (0,071%) по сравнению с пиритами метаморфогенной стадии. Во многом схожие результаты получены для галенита и сфалерита. В частности, в раннем сфалерите значительно выше содержание Ag, As, Ti, в позднем – больше Mn. Поздние галенит и сфалерит характеризуются пониженными по сравнению с ранними концентрациями золота. Таким образом, минералы гидротермально-осадочного этапа резко отличаются по содержанию элементов-примесей от аналогичных минералов метаморфогенно-гидротермального этапа, причём первые обычно содержат более высокие концентрации примесей Au, Sb, Ag, Ti, Mn, As и Ti, а вторые обеднены ими.

1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА СРЕДИ СУЛЬФИДОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕМЁНОВСКОЕ
ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

Итак, на основании изучения ряда колчеданно-полиметаллических месторождений и рудопроявлений Рудного Алтая описаны стадийные преобразования первичных гидротермально-осадочных руд в процессе контактового метаморфизма, связанного со становлением габбро-диорит-плагиогранит-гранитовой геологической формации. Слабо метаморфизованным гидротермально-осадочным рудам присущи коллоидная, почковидная, концентрически-зональная, фрамбоидальная, тонкозернистая структуры и ритмично-слоистая, линзовидно-слоистая, массивная, брекчиевая и другие текстуры. Минералы ранних ассоциаций обогащены примесями ряда рудогенных элементов, в том числе золотом. В начале метаморфизма в результате перекристаллизации первичных рудных концентратов возникли агрегаты с преобладанием гранобластовых структур. Динамометаморфизм обусловил широкое проявление структур деформации и дробления. В дальнейшем происходила

Номера проб	Минералы	Au, г/т	Примечания
4010	Пирит	2,1	Пирит метаморфогенного этапа
4003		3,1	
4010/1		1,8	
4060		31,8	Пирит первичных руд
4002		11,5	
4002/1		14,2	
4008		17,5	
4000	Сфалерит	3,8	Сфалерит метаморфогенного этапа
4000/1		4,3	
4009	Галенит	1,5	Галенит метаморфогенного этапа
4008		27,7	Галенит первичных руд

2. СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В СУЛЬФИДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕМЁНОВСКОЕ, %

Минералы	Cu	Ag	Bi	Ni	Sb	Cd	Co	Tl	Mo	Mn	Ti	As	La	Zn
Пирит первичных руд	0,383	0,026	0,0007	0,007	0,027	0,047	0,011	0,003	0,003	0,071	0,007	0,35	-	-
Пирит метаморфогенных руд	0,25	0,001	-	0,0067	0,015	0,047	0,01	-	0,0025	0,038	0,034	0,033	-	-
Сфалерит первичных руд	0,38	0,024	0,0011	0,002	0,025	0,091	0,005	0,002	0,003	0,048	0,007	0,138	-	-
Сфалерит метаморфогенных руд	0,17	0,005	0,001	0,0012	0,023	0,1	0,004	0,001	0,004	0,08	0,001	0,08	-	-
Галенит	0,12	0,02	0,0005	0,002	0,03	0,05	0,003	0,0015	0,01	0,5	0,004	0,3	-	-

частичная или полная мобилизация рудного вещества с его последующим переотложением. В этом случае образуются скопления прожилково-вкрапленной, вкрапленной, гнездово-вкрапленной, пятнистой текстур, проявлены структуры цементации, коррозионная, регенерации, гипидиоморфная, метакристаллическая, выполнения полостей. Выявленные особенности могут быть использованы при создании геолого-поисковых моделей месторождений региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бестемьянова К.В. Минералогия благородных металлов барит-полиметаллических руд Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Месторож-

дения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования (Мат-лы Всеросс. конф., посв. 85-летию ИГЕМ РАН, 25–27 ноября 2015 г.). М., 2015. С. 317–319.

2. Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Геологическое строение / Г.Н.Щерба, Д.А.Дьячков, Н.И.Стучевский и др. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000.

3. Вейц Б.И. Минералогия Рудного Алтая. Т. III. – Алмата: АН КазССР, 1959.

4. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М.: Научный мир, 2004.

5. Гаськов И.В., Дистанов Э.Г., Миронова Н.Ю., Чекалин В.М. Колчеданно-полиметаллические месторождения верхнего девона северо-западной части Рудного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1991.

6. *Дербииков И.В.* О тектонических и палеогеографических условиях полиметаллического рудообразования на Рудном Алтае // Тр. СНИИГГиМС. Новосибирск, 1962. Вып. 25. С. 35–46.
7. *Дергачев А.Л., Еремин Н.И.* Вулканогенное колчеданно-полиметаллическое и эксгалационно-осадочное свинцово-цинковое оруденение в истории Земли // ДАН. 2008. Т. 423. № 1. С. 89–91.
8. *Дистанов Э.Г., Гаськов И.В.* Эволюция процессов рудообразования и закономерности размещения полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1655–1667.
9. *Еремин Н.И., Дергачев А.Л., Позднякова Н.В., Сергеева Нат. Е.* Крупные и особо крупные колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 2. С. 107–127.
10. *Кузнецов В.В.* Геолого-генетические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Сибири // Тез. докл. Науч.-практ. конф. «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы», 19–20 апреля 2016 г. М., 2016. С. 39–40.
11. *Кузнецова С.В.* Метаморфические преобразования первичных гидротермально-осадочных руд (на примере Змеиногорского рудного района Рудного Алтая) // Тр. Уральской минералогической школы. Екатеринбург, 2014. С. 131–140.
12. *Месторождения колчеданного семейства.* Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, О.В.Минина, А.Г.Волчков и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
13. *Ручкин Г.В.* Стратиформные полиметаллические месторождения докембрия. – М.: Недра. 1984.
14. *Серавина Т.В.* Обстановки локализации полиметаллических руд Берёзовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Руды и металлы. 2014. № 4. С. 30–36.
15. *Смирнов В.И.* Колчеданные месторождения субмаринных конвективно-рециклинговых рудообразующих систем // Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968. С. 586–647.
16. *Филатов Е.И.* Полиметаллические месторождения фанерозоя. – М.: Недра, 1986.
17. *Шилов Л.И., Матвеев В.С., Шилов В.И.* Возможности использования стабильных изотопов свинца при поисках свинцово-цинковых месторождений в Каратау // Изв. АН КазССР. Сер. геол. Алма-Ата, 1968. № 1. С. 74–76.

SOME ISSUES OF GENESIS AND MINERALOGICAL FEATURES OF STRATIFORM ORES OF PYRITE POLYMETALLIC DEPOSITS FROM RUDNY ALTAI, ALTAI TERRITORY

S.V.Kuznetsova

Mineral composition of ores from a number of pyrite polymetallic deposits and ore occurrences of Rudny Altai is described taking into account the two-stage ore formation process – primary hydrothermal-sedimentary and metamorphogenetic. Transformations of primary ore concentrations during contact metamorphism related to gabbro-diorite-plagiogranite-granite formation are reviewed. The most intensely metamorphosed zones correspond to amphibole-hornfels facies of contact metamorphism while others pertain to muscovite-hornfels facies. Stages of metamorphic ore evolution are defined during recrystallization, partial and complete mobilization.

Keywords: hydrothermal-sedimentary, metamorphogenetic, colloform, framboidal, recrystallization.

РУДНЫЕ ХРОМШПИНЕЛИДЫ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ: ХИМИЗМ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ

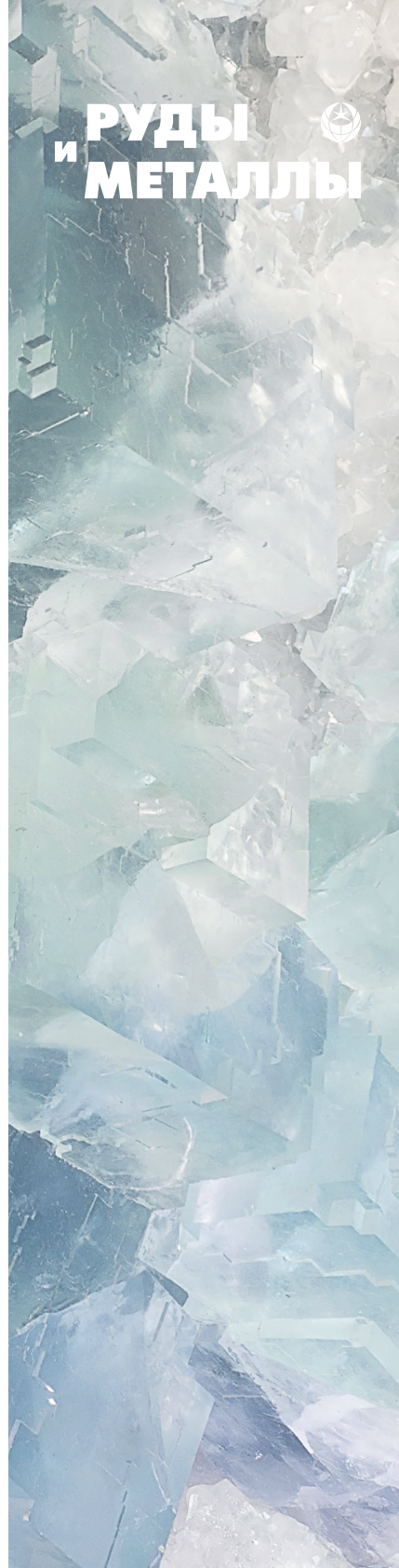
Объектом исследования являются рудные хромшпинелиды из реститовых ультрамафитовых массивов Сыум-Кеу и Харчерузский, которые замыкают на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала. Проведена сравнительная оценка вещественного состава рудных хромшпинелидов из обоих массивов и предпринята попытка моделирования геодинамической обстановки и условий формирования вмещающих их ультрамафитов.

Ключевые слова: Полярный Урал, реститовые ультрамафиты, рудные хромшпинелиды, химизм, геодинамическая обстановка.

Ультрамафитовые реститовые массивы дунит-гарцбургитового состава – часть мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей. В последние несколько десятилетий они привлекают всё большее внимание исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности своими промышленной хромитоносностью, асбестоносностью и включением благороднометалльной минерализации. Однако в настоящее время спорность многих аспектов петрологии этих интереснейших образований обусловлена их недостаточной всесторонней изученностью. Известно, что одним из главных носителей генетической информации является минерал, а не только порода. Изучив в достаточной степени минералогию объекта, можно реконструировать историю его образования и преобразования.

Объект настоящего исследования – рудные хромшпинелиды из реститовых ультрамафитовых массивов Сыум-Кеу и Харчерузский, которые входят в состав Хадатинского офиолитового пояса, замыкающего на севере офиолитовые комплексы Полярного Урала [2]. При этом слабо изученный Харчерузский массив, расположенный несколько южнее массива Сыум-Кеу, согласно геолого-геофизическим данным и петрологическим исследованиям, вероятно, может быть эрозионно-тектоническим клиппом данного массива [11, 12].

Массив Сыум-Кеу находится в северной части офиолитового пояса, образуя вытянутое в меридиональном направлении серповидное тело протяжённостью ~50 км и шириной до 12 км (рис. 1). На западе он имеет тектонический контакт с докембрийскими метаморфическими породами харбейского гнейсо-амфиболитового комплекса (PR_1) и вулканогенно-осадочными породами няровейской свиты (R_1), с востока обрамляется габброидами Щучьинского синклиория, которые перекрываются



**Юричев
Алексей Николаевич**
кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник, доцент
juratur@sibmail.com
Национальный исследовательский
Томский государственный университет,
г. Томск



мощной толщей мезокайнозойских осадков Западно-Сибирской плиты и практически пока не изучены. В составе массива выделяются два главных комплекса пород [12]: ранний – лерцолит-гарцбургитовый и поздний – дунит-гарцбургитовый. Ранний комплекс представлен преимущественно гарцбургитами с участками диопсидсодержащих гарцбургитов и лерцолитов, занимающими до 40% площади массива. Для ультрамафитов характерно массивное однородное строение, не повсеместно отмечается шлировидность по ориентировке скоплений пироксенов и шпинели. В породах фиксируются редкие согласные и секущие жилы орто- и клинопироксенов, вебстеритов, а также дунитов, образующих иногда крупные (мощностью до 100 м) тела. Поздний комплекс сложен отчётливо полосчатыми (директивными) гарцбургитами с выраженной минеральной уплощённостью, содержащими значительное (до 50%) количество согласных с полосчатостью и секущих её дунитовых жил и линз. С породами данного комплекса связаны небольшие по масштабам проявления хромитовых руд.

Харчерузский массив мало изучен в отличие от массива Сыум-Кей, от которого он отделён узкой полосой метаморфизованных габбро и амфиболитов. Представляет собой клинообразное тело субширотного простирания, выклинивающееся на восток, протяжённостью ~18 км при максимальной ширине в западной части 7 км (см. рис. 1). Сложен в основном дунитами, среди которых встречаются гарцбургиты. Отмечаются также мелкие тела габброидов, обычно интенсивно метасоматически изменённые. В экзоконтактных зонах габброидов устанавливаются верлиты и клинопироксениты, вероятно, являющиеся высоко-температурными реакционно-метасоматическими образованиями. Среди дунитов выявлены линейные и линзообразные тела хромитов преимущественно субширотного простирания. Мощность отдельных тел обычно <1 м, протяжённость до 10 м. Рудные тела нередко группируются в рудные субширотные зоны, в которых количество хромшпинелидов существенно возрастает и может варьировать от 10 до 50–90%, с образованием от убоговкрапленных до густовкрапленных и сплошных рудопроявлений.

Вещественный состав рудных хромшпинелидов из ультрамафитов массивов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа [27]

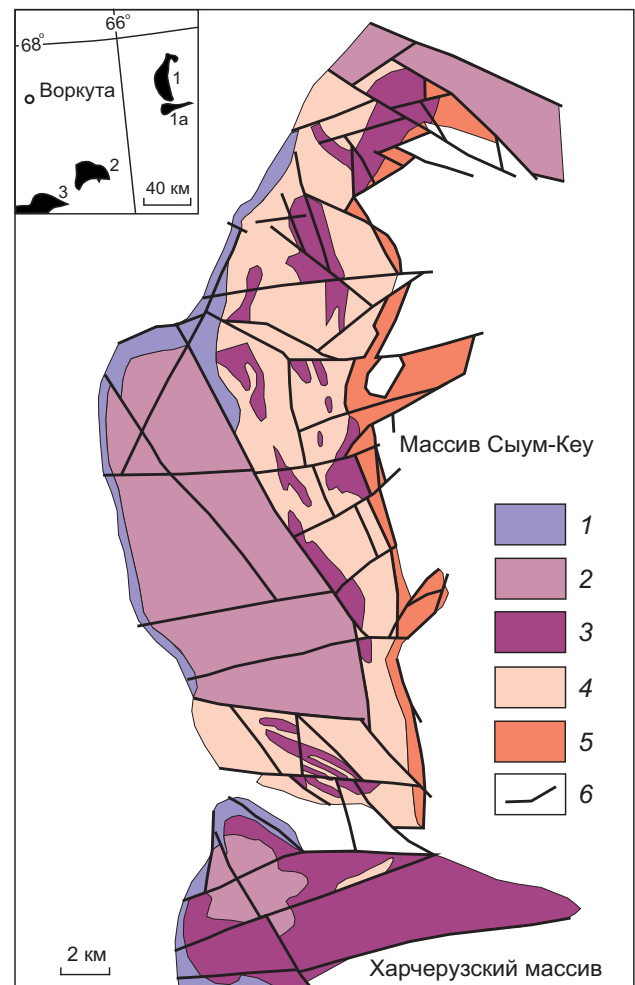


Рис. 1. СХЕМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МАССИВОВ СЫУМ-КЕЙ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ, ПО [6, 11] С ДОБАВЛЕНИЯМИ АВТОРА:

1 – краевая зона (антигоритовые серпентиниты, оливин-антигоритовые породы); 2 – лерцолит-гарцбургитовый комплекс (лерцолиты, гарцбургиты с редкими телами дунитов); дунит-гарцбургитовый комплекс: 3 – дуниты, 4 – гарцбургиты; 5 – дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс (дуниты, верлиты, оливинные клинопироксениты, оливинные и безоливинные вебстериты, реже лерцолиты, гарцбургиты); 6 – тектонические нарушения; на врезке: географическое расположение ультрамафитовых массивов офиолитового комплекса Полярного Урала (1 – Сыум-Кей, 1а – Харчерузский, 2 – Рай-Из, 3 – Войкарский)

на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Vega II LMU», оборудованном энергодисперсионным спектрометром (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионным INCA Wave 700, в ЦКП «Аналитический центр геохи-

мии природных систем» ТГУ (г. Томск). Для этого из отобранных образцов хромититов с разной степенью вкрапленности были изготовлены плоскопараллельные аншлифы толщиной 3–4 мм по рекомендуемым методикам [27]. Перед проведением анализов на исследуемые поверхности предварительно напылялся слой углерода толщиной 25–30 нм. Последующие расчёты химических составов выполнялись по программе INCA-Issue 18b и дополнительным авторским программам.

Исследования показали, что проанализированные рудные хромшпинелиды обоих массивов в целом слабо метаморфизованы и близки по составу. Однако хромшпинелиды массива Сьюм-Кеу в отличие от харчерузских характеризуются несколько большей степенью метаморфического преобразования исходных зёрен, выразившегося в увеличении роли оксидного Fe (II) (табл. 1, 2). Последнее обстоятельство привело к незначительному различию и в химических составах шпинелидов. На классификационной диаграмме Н.В.Павлова [4] хромшпинелиды Харчерузского массива в хромититах с вкрапленной структурой преимущественно соответствуют алюмохромитам, в хромититах с густовкрапленной структурой – хромитам, а хромшпинелиды массива Сьюм-Кеу – субферриалюмохромитам и субферрихромитам соответственно (рис. 2). Подобная зависимость химического состава шпинелидов от «густоты» вкрапленности ранее отмечалась для хромшпинелидов Харчерузского массива [11] и, очевидно, свидетельствует о более высокой степени воздействия высокотемпературного динамометаморфизма на густовкрапленные и сплошные хромититы, вероятно, обусловленной их высокотемпературными пластическими деформациями.

Фигуративные точки составов хромшпинелидов обоих массивов характеризуются одинаковой эволюционной тенденцией, связанной с уменьшением содержания MgO и Al₂O₃ при увеличении количества Cr₂O₃ и незначительном повышении концентрации суммарного железа (рис. 3). При этом часть точек составов хромшпинелидов из массива Сьюм-Кеу несколько отклоняется от основного единого тренда, формируя на отдельных графиках самостоятельный тренд регрессивной метаморфической природы (см. рис. 3, а, б).

Наблюдаемый на рис. 2, 3 общий эволюционный тренд составов хромшпинелидов отражает преобразование вещественного состава хром-

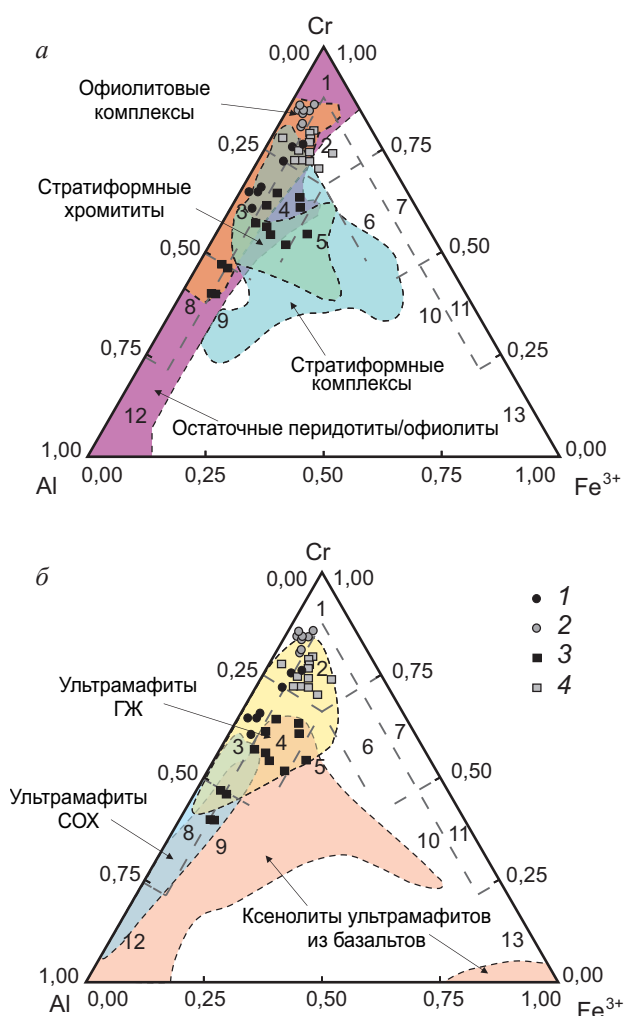


Рис. 2. СОСТАВЫ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЬУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ НА КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ДИАГРАММЕ Н.В.ПАВЛОВА [4]:

на диаграмме: а – генетический тип хромититов [20], б – геодинамические обстановки формирования, построенные по аксессуарным хромшпинелидам [7, 17]; массивы: 1, 2 – Харчерузский, 3, 4 – Сьюм-Кеу; структуры: 1, 3 – вкрапленная, 2, 4 – густовкрапленная; 1 – хромиты; 2 – субферрихромиты; 3 – алюмохромиты; 4 – субферриалюмохромиты; 5 – ферриалюмохромиты; 6 – субалюмоферрихромиты; 7 – феррихромиты; 8 – хромпикотиты; 9 – субферрихромпикотиты; 10 – субалюмохроммагнетиты; 11 – хроммагнетиты; 12 – пикотиты; 13 – магнетиты

шпинелей в процессе высокотемпературного динамометаморфизма [15], а также степень рестирования вмещающих их ультрамафитов [5, 13, 14]. Увеличение степени плавления рестиита сопровождается возрастанием хромистости и желези-

стости хромшпинелидов при уменьшении их глинозёмистости и магнезиальности (см. рис. 3), что характерно для мантийных реститогенных ультрамафитов [3, 5, 13, 16] и служит дополнительным свидетельством реститовой природы пород массивов Сьюм-Кей и Харчерузский. Положение фигуративных точек составов шпинелидов на треугольной диаграмме (см. рис. 2, а) и диаграмме J.M.Ghazi с соавторами (рис. 4, а) также указывает на генетическую связь изученных хромитов с офиолитовыми мантийными ультрамафитами и их принадлежность к подформному типу.

Для оценки геодинамической обстановки формирования пород массивов автором были привлечены диаграммы зарубежных учёных по данному направлению исследований (см. рис. 2, б; 4, б–е). На треугольной диаграмме Al–Cr–Fe³⁺ фигуративные точки составов преимущественно попадают в область ультрамафитов глубоководных желобов, а на бинарных диаграммах TiO₂–Cr#, Mg#–Cr# и Al₂O₃–TiO₂ – в область бонинитов (см. рис. 4, б, в) и океанических надсубдукционных перидотитов (см. рис. 4, б, г, д). Это позволяет сделать вывод о том, что изучаемые ультрамафитовые массивы, вероятно, являются полигенными образования-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА ХАРЧЕРУЗСКИЙ, ВЕС. %

Структура Номера анализов	Вкрапленная							Густовкрапленная								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MgO	8,27	7,37	8,34	10,34	11,15	11,10	11,03	8,31	8,05	9,38	9,64	7,93	7,35	8,00	6,19	6,43
Al ₂ O ₃	10,87	8,84	7,49	15,18	17,92	16,06	17,18	5,08	4,41	6,93	7,00	6,19	5,84	6,20	5,16	5,50
TiO ₂	0,14	0,33	0,21	0,13	0,17	-	0,09	0,19	0,19	0,05	0,10	0,06	-	0,03	0,04	0,02
V ₂ O ₅	0,22	0,17	0,14	0,12	0,13	0,13	0,08	0,22	0,15	0,03	0,08	0,16	0,08	0,07	0,20	0,09
Cr ₂ O ₃	55,24	56,81	57,90	52,12	48,99	51,90	52,27	62,27	63,38	60,89	60,99	62,60	62,42	61,21	62,67	63,45
MnO	0,60	0,44	0,60	0,32	0,55	0,32	0,50	0,49	0,62	0,33	0,50	0,80	0,60	0,48	0,59	0,51
FeO*	24,33	25,66	25,29	21,60	20,92	20,24	18,56	23,18	23,12	22,21	21,40	22,11	23,60	23,86	24,82	23,79
ZnO	0,25	0,38	-	0,13	0,03	0,19	0,11	0,18	0,03	-	0,08	0,06	0,03	0,06	0,14	0,15
NiO	0,07	-	0,03	0,06	0,14	0,06	0,18	0,07	0,06	0,17	0,21	0,08	0,08	0,08	0,18	0,07
Fe ₂ O ₃	4,21	4,10	5,71	3,56	3,97	3,35	1,41	3,82	3,49	4,17	3,94	2,26	2,77	3,92	2,43	1,41
FeO	20,55	21,97	20,14	18,39	17,34	17,23	17,29	19,74	19,98	18,46	17,86	20,08	21,11	20,33	22,63	22,51
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>																
Mg	0,410	0,371	0,419	0,496	0,526	0,528	0,523	0,423	0,411	0,469	0,482	0,402	0,375	0,406	0,320	0,331
Al	0,426	0,352	0,297	0,576	0,668	0,604	0,644	0,204	0,178	0,274	0,276	0,249	0,236	0,249	0,211	0,224
Ti	0,004	0,008	0,005	0,003	0,004	-	0,002	0,005	0,005	0,001	0,003	0,002	-	0,001	0,001	0,001
V	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,005	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,005	0,002
Cr	1,452	1,517	1,542	1,326	1,225	1,309	1,314	1,679	1,717	1,616	1,615	1,685	1,690	1,646	1,716	1,733
Mn	0,017	0,013	0,017	0,009	0,015	0,009	0,013	0,014	0,018	0,009	0,014	0,023	0,017	0,014	0,017	0,015
Zn	0,006	0,009	-	0,003	0,001	0,004	0,003	0,005	0,001	-	0,002	0,002	0,001	0,002	0,004	0,004
Ni	0,002	-	0,001	0,002	0,004	0,002	0,005	0,002	0,002	0,005	0,006	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002
Fe ³⁺	0,105	0,104	0,145	0,086	0,095	0,081	0,034	0,098	0,090	0,105	0,099	0,058	0,071	0,100	0,063	0,037
Fe ²⁺	0,571	0,621	0,568	0,495	0,459	0,460	0,460	0,563	0,572	0,518	0,500	0,572	0,605	0,578	0,656	0,651
Сумма	2,998	2,999	2,998	2,999	2,998	2,999	2,999	2,997	2,997	3,000	2,999	2,997	2,999	2,999	2,997	2,999
<i>Расчётные характеристики</i>																
Cr#	77,3	81,2	83,8	69,7	64,7	68,4	67,1	89,2	90,6	85,5	85,4	87,1	87,8	86,9	89,1	88,6
Fe##	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Mg#	41,8	37,4	42,5	50,1	53,4	53,5	53,2	42,9	41,8	47,5	49,0	41,3	38,3	41,2	32,8	33,7

Примечание. Здесь и в табл. 2 FeO* – суммарное железо. Расчёт трёх- и двухвалентного железа: Fe₂O₃ (вес. %)=52,832·[(FeO*+MgO+MnO+NiO+Co)-(Cr₂O₃+Al₂O₃+2·TiO₂)]/1000 мол. кол-ва, FeO (вес. %)=FeO* (вес. %)-0,9·Fe₂O₃ (вес. %). Cr#=[Cr/(Cr+Al)]·100%; Fe##=[Fe³⁺/(Fe³⁺+Cr+Al)]·100%; Mg#=[Mg/(Mg+Fe²⁺)]·100%.

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА СЫУМ-КЕУ, ВЕС. %

Структура	Вкрапленная												
Номера анализов	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
MgO	14,83	14,37	7,83	11,55	12,54	13,99	11,08	8,73	8,1	12,68	7,28	15,1	14,41
Al ₂ O ₃	18,67	26,19	12,6	17,35	13,78	29,34	17,22	11,44	15,72	15,92	11,08	30,23	25,73
TiO ₂	0,28	0,17	0,38	0,37	0,25	0,4	0,33	0,44	0,33	0,25	0,41	0,34	0,29
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	47,04	39,64	41,3	43,63	51,12	33,7	44,87	46,72	40,26	49,34	47,6	34,46	39,21
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO*	18,49	19,09	36,31	26,1	21,59	21,85	25,62	31,46	34,23	21,14	32,53	19,25	19,73
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	6,88	5,46	15,94	10,0	7,29	7,28	8,68	12,21	13,53	6,65	10,98	6,13	6,29
FeO	12,3	14,18	21,96	17,1	15,03	15,3	17,81	20,47	22,05	15,15	22,65	13,73	14,07
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>													
Mg	0,683	0,644	0,389	0,546	0,598	0,620	0,526	0,432	0,396	0,599	0,364	0,662	0,646
Al	0,679	0,927	0,495	0,649	0,520	1,028	0,646	0,447	0,607	0,594	0,438	1,048	0,912
Ti	0,013	0,008	0,019	0,018	0,012	0,018	0,016	0,022	0,016	0,012	0,021	0,015	0,013
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr	1,148	0,942	1,087	1,095	1,293	0,792	1,130	1,226	1,043	1,236	1,264	0,801	0,932
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ³⁺	0,160	0,123	0,399	0,239	0,176	0,163	0,208	0,305	0,334	0,159	0,278	0,136	0,142
Fe ²⁺	0,318	0,356	0,612	0,454	0,402	0,380	0,474	0,568	0,604	0,401	0,636	0,338	0,354
Сумма	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
<i>Расчётные характеристики</i>													
Cr#	62,8	50,4	68,7	62,8	71,3	43,5	63,6	73,3	63,2	67,5	74,2	43,3	50,5
Fe##	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Mg#	68,3	64,4	38,9	54,6	59,8	62,0	52,6	43,2	39,6	59,9	36,4	66,2	64,6
Структура	Густовкрапленная												
Номера анализов	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
MgO	12,1	9,1	12,08	11,26	10,28	12,85	12,55	11,98	11,28	12,43	6,48	4,37	10,21
Al ₂ O ₃	8,61	7,99	6,37	8,1	9,02	6,41	7,29	6,77	9,02	7,02	9,68	4,76	9,99
TiO ₂	0,33	0,19	0,1	0,17	0,15	0,13	0,15	0,14	0,21	0,17	0,14	0,17	0,2
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,1	0,17
Cr ₂ O ₃	55,17	51,97	60,6	56,09	55,07	61,13	59,28	59,81	56,74	59,81	53,6	52,42	59,17
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,51	0,08
FeO*	22,91	29,61	20,22	23,56	24,71	18,87	20,05	20,66	22,11	19,92	28,74	35,97	19,79
ZnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,43	0,1
NiO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,07	0,06
Fe ₂ O ₃	8,91	11,46	6,31	8,34	7,79	6,1	6,76	6,55	6,55	6,46	6,3	12,14	2,18
FeO	14,89	19,3	14,54	16,05	17,7	13,38	13,97	14,76	16,21	14,11	23,07	25,04	17,83
<i>Пересчёт на кристаллохимическую формулу (на 4 «О»)</i>													
Mg	0,592	0,457	0,597	0,556	0,509	0,631	0,616	0,591	0,554	0,611	0,328	0,231	0,502
Al	0,333	0,317	0,249	0,316	0,353	0,249	0,283	0,264	0,350	0,273	0,388	0,199	0,388
Ti	0,016	0,010	0,005	0,008	0,007	0,007	0,008	0,007	0,010	0,008	0,007	0,009	0,010
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003	0,002	0,004
Cr	1,431	1,383	1,589	1,468	1,445	1,593	1,542	1,566	1,477	1,559	1,440	1,467	1,543
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	0,015
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	0,011
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,001	0,002
Fe ³⁺	0,220	0,290	0,157	0,208	0,195	0,151	0,167	0,163	0,162	0,160	0,161	0,323	0,054
Fe ²⁺	0,409	0,543	0,403	0,444	0,491	0,369	0,384	0,409	0,447	0,389	0,656	0,741	0,492
Сумма	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,999	2,999	3,000
<i>Расчётные характеристики</i>													
Cr#	81,1	81,4	86,4	82,3	80,4	86,5	84,5	85,6	80,8	85,1	78,8	88,1	79,9
Fe##	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0
Mg#	59,2	45,7	59,7	55,6	50,9	63,1	61,6	59,1	55,4	61,1	33,4	23,7	50,5

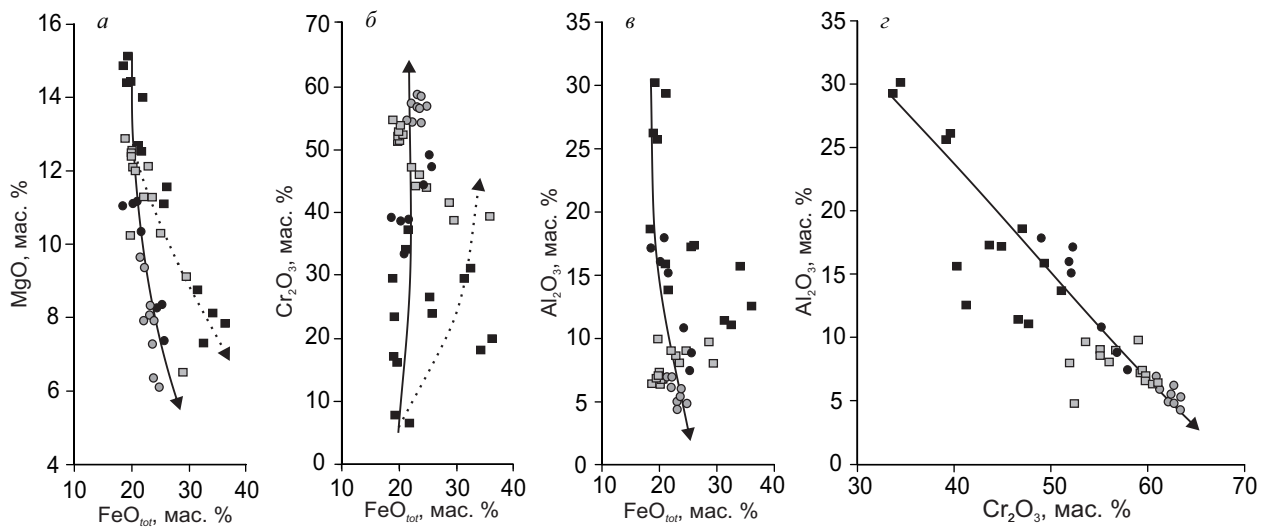


Рис. 3. БИНАРНЫЕ ДИАГРАММЫ ДЛЯ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ:

усл. обозн. см. рис. 2

ми, имеющими сложную многостадийную тектоническую историю. Очевидно, деплетирование мантийного вещества в процессе частичного плавления происходило в обстановке «додугового» спрединга рядом с горячей точкой. В дальнейшем в островодужной системе аномальная океаническая литосферная мантия взаимодействовала с бонинитовыми расплавами, инициированными субдукцией, что впоследствии привело к появлению ультрамафитов с явными характеристиками надсубдукционных перидотитов.

По химическому составу рудные хромшпинелиды из ультрамафитов массивов Сыум-Кеу и Харчерузский в целом характеризуются близкими составами и слабо метаморфизованы. Однако несколько большее воздействие процессов регрессивного метаморфизма на ультрамафиты массива Сыум-Кеу обусловило незначительное различие в их химическом составе. В отличие от алюмохромитов и хромитов массива Харчерузский хромшпинелиды массива Сыум-Кеу соответствуют более железистым разновидностям – субферриалюмохромитам и субферрихромитам. Несколько меньшие значения MgO и Al_2O_3 в хромшпинелидах массива Харчерузский по сравнению с хромшпинелидами массива Сыум-Кеу, очевидно, позволяют судить о более высокой степени рестирования вмещающих их пород, интенсивно истощённых в процессе деплетирования мантийного субстрата.

Фигуративные точки составов рудных шпинелидов из ультрамафитов обоих массивов образуют эволюционный тренд одинаковой тенденции, который отражает преобразование вещественного состава хромшпинелей под действием высокобарического динамометаморфизма. Данный процесс, как следует из построенных диаграмм (см. рис. 2, 3), сопровождался выносом из рудных хромшпинелидов магния и алюминия и увеличением их хромистости, что приводило к естественному «облагораживанию» последних. Развитие такого механизма «облагораживания» подтверждено экспериментальными исследованиями [10, 18], а также находками в хромититах ультрамафитовых массивов Полярного Урала [9, 19] минералов, образовавшихся при высоких и сверхвысоких давлениях (алмаз, карбиды кремния, псевдоморфы октаэдрического оливина, корунд, циркон, гранат и др.). При этом отмечено, что степень воздействия динамометаморфизма на химический состав хромшпинелидов возрастает по мере увеличения «густоты» вкрапленности.

Следующая стадия преобразования хромшпинелидов, связанная с более поздними процессами наложенного приповерхностного регионального метаморфизма (P до 4 Кбар для ультрамафитов массива Сыум-Кеу, P не более 2 Кбар для пород массива Харчерузский, см. рис. 4, е), не существенно повлияла на химический состав рудных

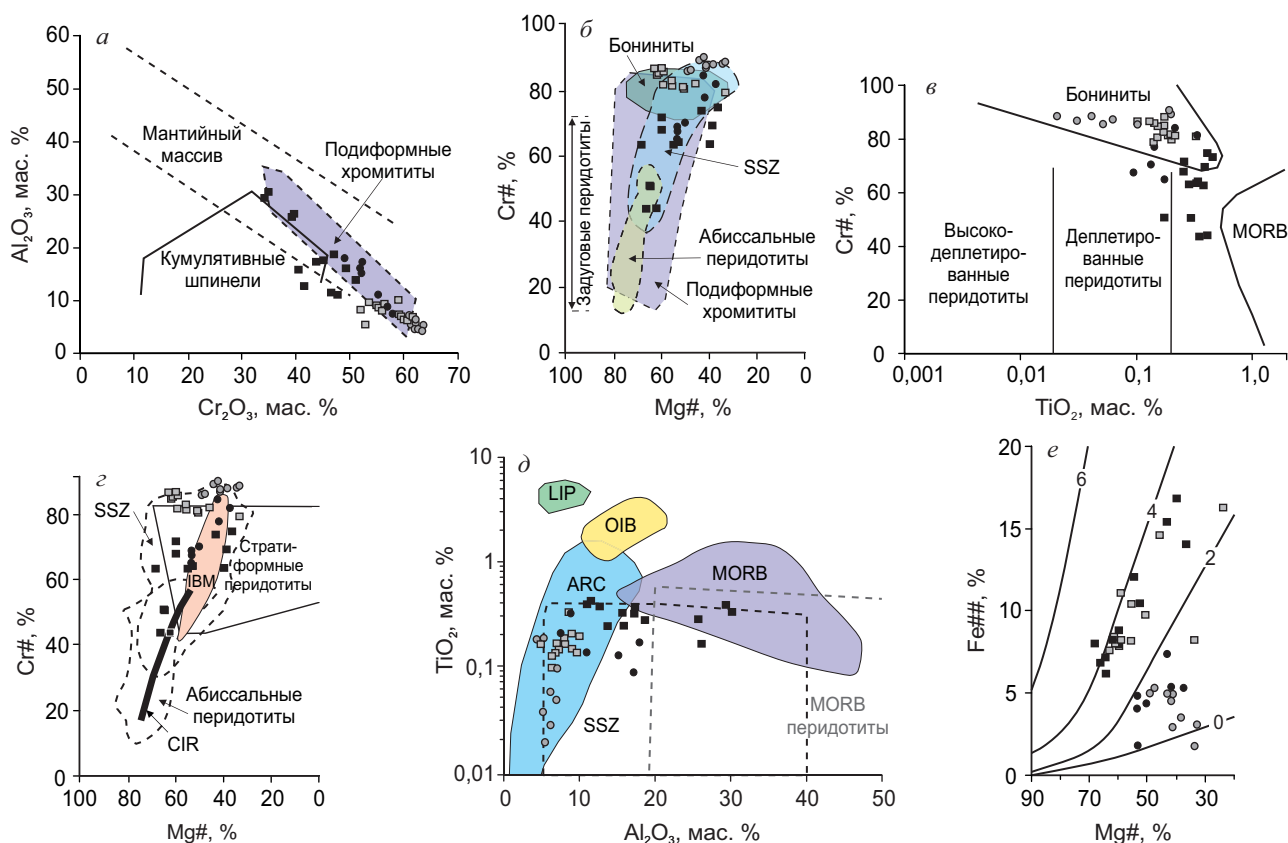


Рис. 4. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ ДЛЯ РУДНЫХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВОВ СЫУМ-КЕУ И ХАРЧЕРУЗСКИЙ:

график *a* отражает происхождение рудных хромшпинелидов и их тип, диаграммы *б–е* показывают условия и геодинамическую обстановку формирования исследуемых объектов [8, 20, 24, 25]; для диаграммы *z* выделенные области построены по аксессуарным хромшпинелидам, для *д* – по включениям шпинелидов в оливинах из ультрамафитов различных геодинамических обстановок, для остальных – по рудным хромшпинелидам; LIP – базальты крупных изверженных провинций; OIB – базальты океанических островов; ARC – островодужные базальты; MORB – базальты срединно-океанических хребтов; SSZ – океанические надсубдукционные перидотиты; IBM – перидотиты Идзу-Бонин-Марианской островной дуги [23]; CIR – перидотиты центрального Индийского хребта [21]; линии на диаграмме (*e*) представляют теоретические изобары для чистого $(Mg,Fe)Cr_2O_4$ [22] в Кбар. $Cr\# = [Cr / (Cr + Al)] \cdot 100\%$; $Mg\# = [Mg / (Mg + Fe^{2+})] \cdot 100\%$; $Fe\#\# = [Fe^{3+} / (Fe^{3+} + Cr + Al)] \cdot 100\%$; остальные усл. обозн. см. рис. 2

хромшпинелидов и в основном привела к незначительному окислению оксида Fe (III) в оксид Fe (II).

Попытка геодинамического моделирования обстановки формирования вмещающих хромшпинелиды ультрамафитов из массивов Сыум-Кеу и Харчерузский указывает на то, что последние, вероятно, являются сложными полигенными образованиями. В пользу данного утверждения свидетельствуют минералогические и петрогеохимические особенности пород массива Сыум-Кеу [12]. Очевидно, плавление исходного мантийного рестита происходило в зоне спрединга над

зоной субдукции. В дальнейшем в островодужной системе сформировавшиеся реститовые ультрамафиты подвергались магматической рефertilизации под воздействием просачивающихся расплавов (флюидов) островодужной или бонинитовой надсубдукционной природы [1, 26]. Это впоследствии привело к масштабным структурно-вещественным преобразованиям, в результате чего ультрамафиты исследуемых массивов в значительной степени утратили черты, присущие реститам, но приобрели характеристики надсубдукционных перидотитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батанова В.Г., Лясковская З.Е., Савельева Г.Н., Соболев А.В. Перидотиты п-ова Камчатский мыс: свидетельство плавления океанической мантии вблизи горячей точки // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 12. С. 1748–1758.
2. Лапин Б.Н. Атлас структур ультраосновных пород Урала. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005.
3. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
4. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Ин-та геол. наук АН СССР. Сер. рудн. месторождений. 1949. Вып. 103. № 3. С. 3–88.
5. Перевозчиков Б.В., Плотников А.В., Макиев Т.Т. Природа вариаций состава рудной и аксессуарной хромшпинели ультрабазитового массива Сьюм-Кеу (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 4. С. 32–39.
6. Платиноиды хромитоносных массивов Полярного Урала / Л.И.Гурская, Л.В.Смелова, Л.Р.Колбанцев и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2004.
7. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогеохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008.
8. Степанец В.Г. Генезис надсубдукционных офиолитов аллохтона (северо-восток Центрального Казахстана) // Изв. НАН РК. Сер. геол. 2010. № 5. С. 4–15.
9. Суставов С.Г., Вахрушева Н.В. Хромовый рутил в хромититах Енгайской площади массива Рай-Из // Вестн. Уральского отд. Российского минерал. об-ва. 2010. № 7. С. 159–162.
10. Туркин А.И., Соболев Н.В. Пироп-кноррингитовые гранаты: обзор экспериментальных данных и природных парагенезисов // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 12. С. 1506–1523.
11. Чернышов А.И., Юричев А.Н. Структурная эволюция дунитов и хромитов Харчерузского массива (Полярный Урал) // Геотектоника. 2016. № 2. С. 62–77.
12. Шмелев В.Р. Мантийные ультрабазиты офиолитовых комплексов Полярного Урала: петрогенезис и обстановка формирования // Петрология. 2011. Т. 19. № 6. С. 649–672.
13. Юричев А.Н. Аксессуарные шпинелиды из ультрамафитов: индикаторы условий формирования // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 30–34.
14. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326. № 2. С. 61–69.
15. Юричев А.Н. Критерии регионального и локального прогнозирования потенциальной хромитоносности подформных ультрамафитовых массивов складчатых областей // Руды и металлы. 2016. № 3. С. 5–14.
16. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Эволюция составов шпинелиевой минерализации из различных формационных типов мафит-ультрамафитовых комплексов Канской глыбы (Восточный Саян) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 42–50.
17. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // Journal of petrology. 2001. Vol. 42. № 12. P. 2279–2302.
18. Brey G.P., Doroshev A.M., Girmis A.V., Turkin A.I. Garnet-spinel-olivine-orthopyroxene equilibria in the FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ system: I. Composition and molar volumes of minerals // Eur. J. Mineral. 1999. Vol. 11. № 4. P. 599–617.
19. Discovery of diamond and an unusual mineral group from the podiform chromite ore Polar Ural / J.Yang, W.Bai, Q.Fang et al. // Geology in China. 2007. Vol. 34. P. 950–953.
20. Ghazi J.M., Moazzen M., Rahghoshay M., Moghadam H.S. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromian spinels in the chromitites and associated rocks // Ofioliti. 2011. Vol. 36. № 1. P. 59–76.
21. Hellebrand E., Snow J.E., Dick H.J.B., Hofmann A.W. Coupled major and trace elements as indicators of the extent of melting in mid-ocean-ridge peridotites // Nature. 2001. Vol. 410. P. 677–681.
22. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. 1. Theory // Can. J. Earth Sci. 1965. Vol. 2. P. 648–672.
23. Ishii T., Robinson P.T., Maekawa H., Fiske R. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu-Ogasawara-Mariana forearc, Leg 125 // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 125. College Station TX: Ocean Drilling Program. 1992. P. 445–485.
24. Kamenetsky V.S., Grawford A.J., Meffre S. Factors Controlling Chemistry of Magmatic Spinel: an Empirical Study of Associated Olivine, Cr-spinel and Melt Inclusions from Primitive Rocks // Journal of Petrology. 2001. Vol. 42. № 4. P. 655–671.
25. Petrogenesis of the Ophiolitic Giant Chromite Deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a Study of Solid and Fluid Inclusions in Chromite / F.Melcher, W.Grumb, G.Simon et al. // Journal of Petrology. 1997. Vol. 38. № 10. P. 1419–1458.

26. *Polychronous formation of mantle complexes in ophiolites* / G.N.Savelieva, V.G.Batanova, A.V.Sobolev et al. // *Geotectonics*. 2013. Т. 47. № 3. P. 167–179.

27. *Reed S.J.B.* Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005.

ORE CHROMESPINELIDES OF SYUM-KEU AND HARCHERUZSKY MASSIFS: CHEMICAL COMPOSITION AND GENETIC NATURE, THE POLAR URALS

A.N.Yurichev

The object of study is the ore of chromspinelles from restitic ultramafic massifs, Sium Keu and Harcheruzsky, which close the ophiolite complexes of the Polar Urals in the North. Comparative evaluation of the material composition of chrome ore from both arrays is performed and an attempt of modeling the geodynamic setting and formation conditions of the enclosing ultramafics is made.

Keywords: Polar Urals, restitic ultramafites, ore chromspinelides, chemical composition, geodynamic setting.

АВТОРАМ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статьи направляются на e-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru.
2. К тексту прилагаются документы: письмо (разрешение на опубликование) руководителя учреждения, экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати, сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (500–600 знаков) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объём статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Для набора математических формул рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Все символы, сокращения и аббревиатуры необходимо расшифровать. Десятичный символ – запятая (0,47); между цифрами – тире без пробелов (5–10); кавычки – «ёлочки».
6. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или чёрно-белом варианте в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
7. Список литературы приводится в конце статьи и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Ссылки в тексте на источник даются соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. Неопубликованные работы в список не включаются, при необходимости на них делается ссылка в тексте, например (А.А.Иванов, Б.Б.Петров, 2003 г.).
8. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.



ИОННО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ СКРЫТЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

Изложены методика и техника литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений, принципы количественной интерпретации геохимических аномалий, выявляемых ионно-сорбционным методом. Приводятся конкретные примеры из практики поисковых работ.

Ключевые слова: метод литохимических поисков, полиметаллические месторождения.

Устойчивый рост затрат на поиски месторождений рудных полезных ископаемых обусловлен, с одной стороны, проведением работ в труднодоступных и экономически слабо освоенных районах, с другой – увеличением глубинности поисков. Вероятность обнаружения месторождений традиционными геологическими методами по их прямым признакам на дневной поверхности резко уменьшается с ростом изученности, особенно в старых рудных районах. В этих условиях решающее значение приобретают геохимические методы поисков, прежде всего литохимические, основанные на выявлении и анализе прямых признаков полезных ископаемых.

Закрытые территории экономически развитых районов с ограниченной мощностью перекрывающих отложений – важнейший резерв для открытия новых промышленных месторождений. В этих условиях рудные месторождения способны образовываться в рыхлом чехле и на его поверхности вторичные наложенные лито-, атмо- и биогеохимические ореолы рассеяния. Основные процессы, формирующие ореолы рассеяния, – диффузия и эффузия солевых и газовых компонентов, в том числе паров металлов, процессы фильтрации и электрохимического переноса, а также капиллярное и биогенное распространение солевой составляющей ореолов [4]. Наиболее благоприятные условия для образования вторичных наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях сульфидных, в частности, полиметаллических месторождений, имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие коэффициенты концентраций химических элементов в рудах.

В общем случае обнаружение наложенных ореолов на дневной поверхности определяется выбором такой методики анализа литохимических проб, которая позволяла бы усиливать контрастность аномалий, т.е. отношение полезного сигнала к уровню помех. Выявление геохимических аномалий возможно путём избирательного частично-фазового извлечения в раствор легкоподвижных форм нахождения рудных элементов. Частично-фазовый анализ может включать водные, содовые, со-

Миляев Сергей Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
sermil52@yandex.ru

Кряжев Сергей Гаврилович

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделом
s34@mail.ru

Виленкина Юлия Владимировна

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
vilenkina@tsnigri.ru

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва

лянокислые, азотнокислые, ацетатные, пирофосфат-натриевые и другие вытяжки, растворяющие подвижные формы элементов, доля которых над месторождениями существенно выше по сравнению с фоновыми участками [5].

Как показывают эксперименты, наилучшей избирательной способностью при извлечении катионов химических элементов обладает разбавленный раствор азотной кислоты высокой степени очистки. В сильно разбавленных растворах азотной кислоты отмечается состояние динамического равновесия: $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$. Кислотные свойства таких растворов определяются исключительно свойствами иона гидроксония (H_3O^+), характеризующегося высокими ионообменными свойствами и способного активно замещать катионы (Cu, Zn, Pb и др.) почвенного поглощающего комплекса (совокупность минеральных, органо-минеральных и органических компонентов твёрдых фаз почв). Верхний почвенный слой (A_1), обладая высокой дисперсностью, служит прекрасным сорбентом катионов. Последние при взаимодействии почв с азотной кислотой замещаются ионом H_3O^+ , переводя катионы химических элементов в раствор, который может быть проанализирован. Азотная кислота также активно вытесняет слабые кислоты из их солей – $\text{PbCO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, $\text{ZnCO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, образуя хорошо растворимые соли (нитраты). Активно взаимодействует с оксидами: $\text{PbO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$.

В последнее время при проведении геохимических работ всё более широко используется атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP). В практике полуколичественного ICP-анализа применяются два способа разложения силикатных проб – сплавление с флюсом и кислотное. Сплавление пробы с метабора́том лития обеспечивает полное разложение практически всех компонентов горных пород. Кислотное разложение имеет основной недостаток: неполное вскрытие ряда минералов, устойчивых к воздействию кислот. Общим и важным недостатком обоих способов, ограничивающих круг анализируемых элементов, является неконтролируемая потеря легколетучих элементов (S, As, Sb, Se, Hg, Tl и др.) при выпаривании и сплавлении [2]. Оптимальное условие, позволяющее получить достоверные результаты методом ICP

на широкий круг химических элементов, включая легколетучие, – прямой анализ слабосвязанных форм нахождения элементов в слабокислых вытяжках из природных почвенных проб, который и был применён при выявлении сорбционно-солевых ореолов рассеяния над скрытыми полиметаллическими объектами.

Для анализа отбираются пробы из верхнего почвенного горизонта с глубины 5–10 см. Пробы высушиваются до воздушно-сухого состояния и просеиваются через сито 0,25 мм. Из фракции <0,25 мм (навеска 5–10 г) в одноразовых пластиковых пробирках готовится вытяжка путём смачивания пробы 5%-ным раствором азотной кислоты в соотношении 1:10. После центрифугирования раствор направляется на ICP MS анализ. Через каждые 15–20 анализов для выявления и исключения систематических погрешностей проводится калибровка прибора путём замеров H_2O (дистиллированная), внешнего стандарта и аналитического фона. Анализы выполнялись на приборе «Элан-6100» фирмы Перкин-Элмер в ФГУП ЦНИГРИ. Предел обнаружения элементов в растворах составляет $1 \cdot 10^{-4}$ мг/л. Чувствительность анализа даёт возможность получать значимые содержания для всех 63 определяемых химических элементов. Стандартизация методики пробоподготовки и анализа обеспечивает максимальную компенсацию ошибок; получаемые аналитические данные по величинам относительных случайных погрешностей ($\delta_{\text{случ.}} = 1,1^{\pm 1} - 1,3^{\pm 1}$) могут быть отнесены к результатам количественного анализа. Это условие при литохимических поисках скрытого полиметаллического оруденения является обязательным.

Погребённые под чехлом дальнеприносных отложений (50–100 м) и «слепые» полиметаллические объекты, расположенные на глубинах 200–250 м от дневной поверхности, могут формировать в почвах слабые сорбционно-солевые аномалии. Для их выделения и подавления природных и технических помех проводится математическая обработка поисковых данных, понижающая случайные флуктуации геохимического поля и увеличивающая регулярную составляющую рудной аномалии. Эта задача имеет общетехническое значение, и для её решения существует множество способов. Простейший метод снижения уровня случайных помех – сглаживание данных геохимического опробования методом

«скользящего среднего» с числом точек в окне, близким к их числу в контуре ожидаемой слабой аномалии [1]. При этом регулярная составляющая поля (полезный сигнал) сохраняет свою амплитуду, а случайная (помеха) уменьшается, что приводит к увеличению показателя контрастности (γ). Рудные аномалии полиэлементны, их контрастность повышается при перемножении (мультипликации) содержаний элементов типоморфного комплекса. В результате сглаживания и мультипликации показатель контрастности новой аномалии возрастает в несколько раз. Выбор рудных элементов для мультипликации определяют их максимальные кларки концентрации в рудах по сравнению с местным геохимическим фоном. Для удобства сопоставления сорбционно-солевых аномалий проводится нормирование химических элементов на их средние фоновые содержания.

Условием обнаружения аномалии при геохимических съёмках является попадание в её контур хотя бы двух точек наблюдений. Поэтому геометрические размеры аномалий следует определять в границах нижнего аномального значения содержаний микроэлемента $C_A = C_\phi \cdot \varepsilon^2$, где ε – стандартный множитель, зависящий от технической точности и методики геохимических исследований.

Характеристику аномалий, наряду с размерами, определяет их контрастность, за которую нередко ошибочно принимают величину отношения C_{\max} к C_ϕ . Правильная оценка этого показателя требует сопоставления аномалий не только с уровнем фона, но и с его устойчивостью, мерой которой служит стандартный множитель. В этом случае показатель контрастности аномалии определяется отношением $\gamma = \lg 1/\varepsilon - \lg C_{\max}/C_\phi$ [5].

При принятом способе опробования природные колебания содержаний элементов не зависят от точности съёмки: они определяются степенью

гипергенного преобразования пород и руд и уменьшаются по мере увеличения времени выветривания. Величина ε характеризует соотношение между минеральной и безминеральной формами нахождения рудных элементов: она больше там, где преобладают минеральные формы. В зависимости от методики пробоподготовки и размера фракций наблюдается закономерное снижение ε при переходе от минеральных к солевым формам, что в итоге приводит к увеличению размеров и контрастности аномалий [3].

Сравнительные характеристики аномалий, полученные при анализе жидкой и твёрдой фаз почвенных проб, приведены в таблице. В качестве испытуемого объекта послужило золотополиметаллическое с молибденитом проявление в правом борту р. Кудихта (Восточное Забайкалье). Площадь расположена в горно-таёжном ландшафте и перекрыта рыхлыми отложениями мощностью до 10 м. Как следует из полученных данных, аномалии химических элементов, определяемых из азотнокислых вытяжек, имеют наибольшие размеры и показатели контрастности. Оценённые по мультипликативному показателю Pb-Zn·Cu·Mo эти параметры по результатам анализа азотнокислых вытяжек в три раза превышают значения тех же характеристик, полученные при анализе твёрдых порошковых проб.

Ионно-сорбционный метод разрабатывался в ЦНИГРИ в 2012–2016 гг., был апробирован для районов Рудного Алтая, Восточного Забайкалья и Салаирского кряжа с различными ландшафтными обстановками (горно-таёжные, степные, лесостепные и др.), а также геологическими условиями развития геохимических аномалий (площади, перекрытые чехлом молодых отложений, древние коры выветривания, современные элювио-делювиальные и солифлюкционные образования).

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРЕОЛОВ РАССЕЙНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИДКОЙ И ТВЁРДОЙ ФАЗАХ ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСР MS АНАЛИЗА

Характеристики ореолов	Pb	Zn	Cu	As	Sb	Mo	W	Pb·Zn·Cu·Mo
<i>Азотнокислые вытяжки</i>								
Ширина, м	200	160	80	60	80	160	60	150
Контрастность	3,0	2,7	3,1	1,9	2,9	3,2	2,3	9,4
<i>Порошковые пробы</i>								
Ширина, м	80	40	40	-	-	40	30	50
Контрастность	2,5	1,6	1,3	-	-	2,7	1,1	3,2

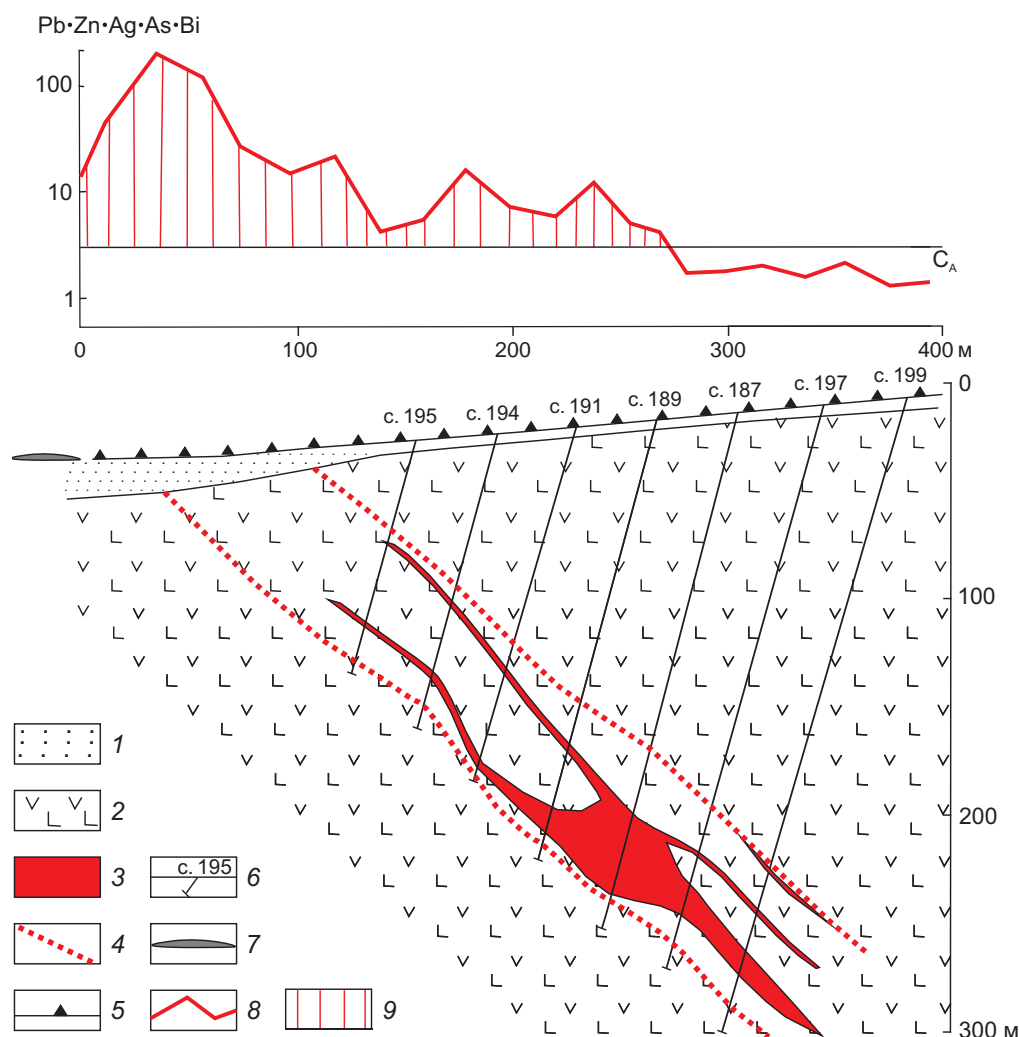


Рис. 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЁМКИ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙ:

1 – солифлюкционные образования; 2 – андезитбазальты; 3 – рудные тела; 4 – граница рудной зоны; 5 – пункты опробования; 6 – разведочные скважины, их номера; 7 – техногенные отложения; 8 – график мультипликативного показателя; 9 – область аномальных значений показателя

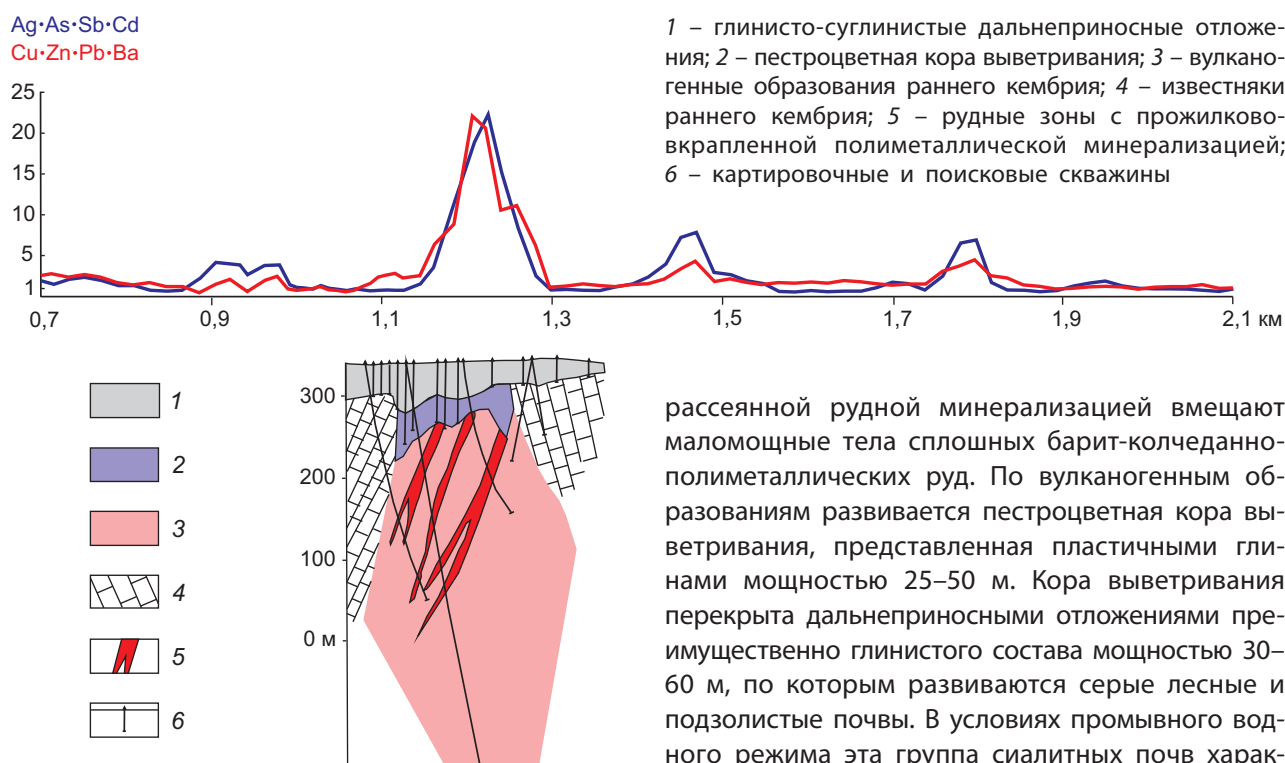
Ниже приведены результаты опытно-методических и поисковых работ на скрытых полиметаллических объектах Сибири.

Нойон-Тологойское месторождение в Восточном Забайкалье представляет собой новый и весьма перспективный для региона тип стратифицированного свинцово-цинкового оруденения. Месторождение приурочено к борту конседиментационной блок-синклинали, сложенной юрскими вулканогенно-терригенными и терригенными толщами. Основная часть свинцово-цинковых руд представлена пологопадающими залежами, находящимися в «слепом» залегании. Основные рудные минералы – галенит, сфалерит, пирит, арсе-

нопирит, второстепенные – тетраэдрит, халькопирит, молибденит, бурнонит, буланжерит, джемсонит. По природно-климатическим условиям площадь относится к среднегорным степным ландшафтам периферической части криолитозоны с ярко проявленными в пределах нижних частей относительно пологих склонов процессами солифлюкции.

На Западном участке месторождения Нойон-Тологой пройдены два профиля литохимической съёмки. Мощность солифлюкционных отложений колеблется от 5 до 20 м. Верхняя кромка рудных тел находится на глубине 50–70 м от поверхности (рис. 1).

Рис. 2. СОРБЦИОННО-СОЛЕВЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЙНИЯ НАД ПОГРЕБЁННЫМ РУДОПРОЯВЛЕНИЕМ ВЕРШИННОЕ:



1 – глинисто-суглинистые дальнеприносные отложения; 2 – пестроцветная кора выветривания; 3 – вулканогенные образования раннего кембрия; 4 – известняки раннего кембрия; 5 – рудные зоны с прожилково-вкрапленной полиметаллической минерализацией; 6 – картировочные и поисковые скважины

Комплексные сорбционно-солевые ореолы чётко фиксируют выход рудной зоны и характеризуются широким спектром элементов, отвечающим составу гипогенных руд. Максимальные значения мультипликативного показателя Pb·Zn·Ag·As·Bi на два порядка превышают их нижние аномальные величины. Эффективная ширина комплексной аномалии более 400 м (см. рис. 1). Помимо основных рудных элементов, в аномальных концентрациях присутствуют Cd, Sb, Cu, Tl, In, Sn, Hg, Ba, Mo.

Важно отметить, что процессы солифлюкции могут частично или полностью экранировать механические остаточные ореолы рассеяния, а также приводить к смещению их на расстояния, превышающие 150 м [4]. В отличие от механических, сорбционно-солевые ореолы фиксируют в своих центральных точках положение эпицентра рудных зон, что имеет значение при задании первых горных выработок и скважин.

Рудопроявление *Вершинное (Северо-Восточный Салаир)* приурочено к толще раннего кембрия, сложенной вулканогенно-осадочными образованиями. Зоны с прожилково-вкрапленной и

рассеянной рудной минерализацией вмещают маломощные тела сплошных барит-колчеданно-полиметаллических руд. По вулканогенным образованиям развивается пестроцветная кора выветривания, представленная пластичными глинами мощностью 25–50 м. Кора выветривания перекрыта дальнеприносными отложениями преимущественно глинистого состава мощностью 30–60 м, по которым развиваются серые лесные и подзолистые почвы. В условиях промывного водного режима эта группа сиалитных почв характеризуется пониженными содержаниями целого ряда химических элементов.

Анализ почвенных вытяжек позволил установить над проекцией рудных зон слабоконтрастные ореолы рассеяния Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Cd, Ba. Усиление слабых аномалий достигалось сглаживанием данных анализа методом «скользящего среднего» с числом точек в окне, равным трём, с последующей мультипликацией рудных компонентов. На рис. 2 представлены графики распределения комплексных мультипликативных показателей основных (Cu·Zn·Pb·Ba) и сопутствующих (Ag·As·Sb·Cd) химических элементов. Максимальные концентрации комплексных показателей превышают фоновые в 25 раз. Ширина выявленных аномалий 160–180 м.

Рубцовский район Рудного Алтая относится к числу полностью закрытых чехлом неоген-четвертичных отложений мощностью 70–150 м. В закрытых и полузакрытых районах с различными ландшафтно-геохимическими условиями рекомендуются глубинные литохимические поиски, основанные на выявлении погребённых вторичных остаточных ореолов. Однако широкое использование этого метода сдерживается

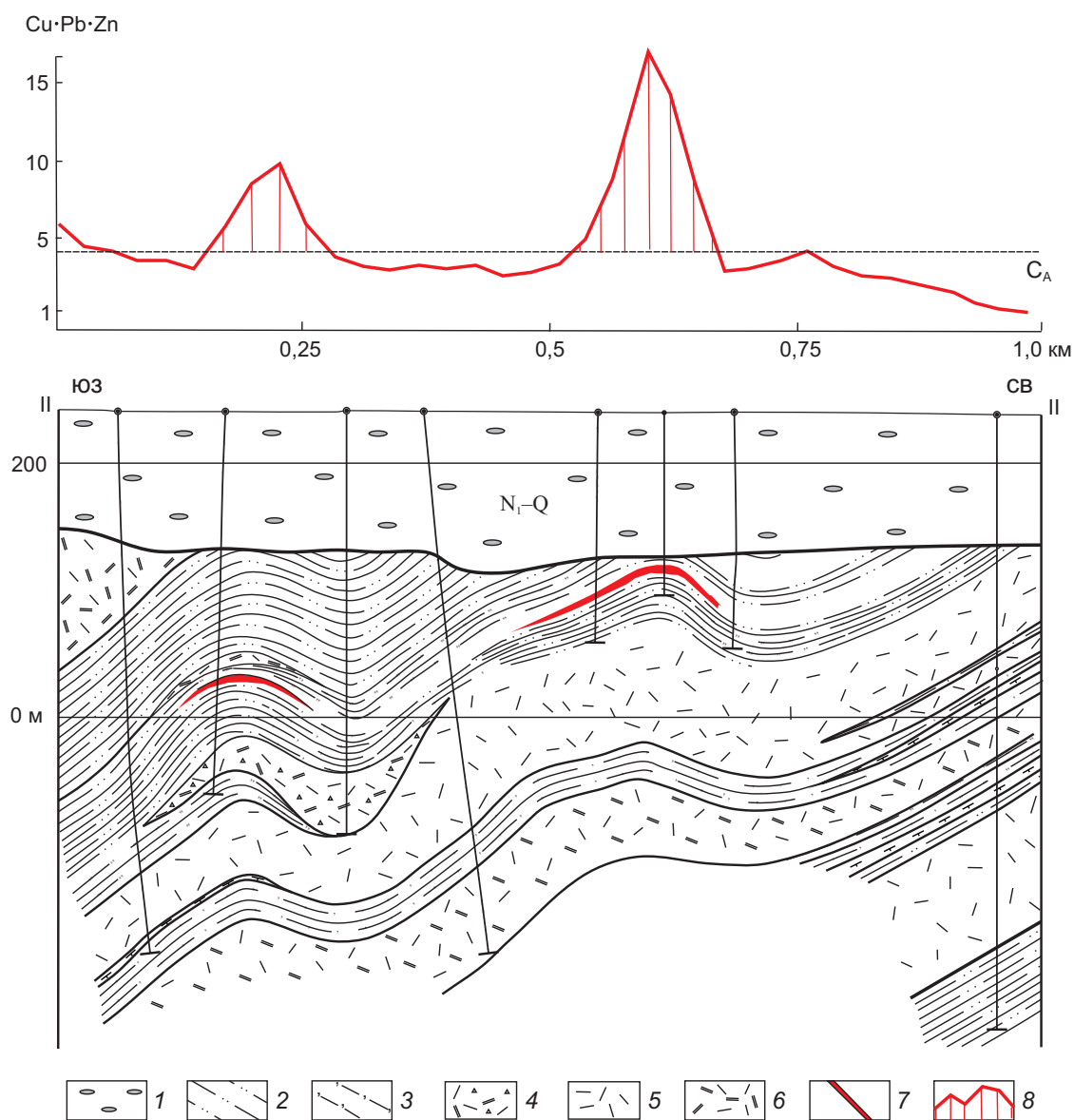


Рис. 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЁМКИ ПО ПРОФИЛЮ II-II ЗАПАДНО-ЗАХАРОВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ:

1 – неоген-четвертичные отложения; 2 – алевролиты, аргиллиты; 3 – кремнистые алевролиты; 4 – лавобрекчии риодацитового состава; 5 – риолиты; 6 – риодациты; 7 – рудные тела; 8 – область аномальных значений мультипликативного показателя

значительной себестоимостью и трудоёмкостью работ.

Опытные работы проводились на Южно-Бобковском и Западно-Захаровском проявлениях, представленных согласными пластообразными и линзовидными телами колчеданно-полиметаллических руд, приуроченных к толще раннего живета (алевролиты, аргиллиты, туффиты с прослоями лав риолитов и риодацитов). Оба участка характеризуются выровненным рельефом со

степным ландшафтом и хорошо развитым почвенным покровом, представленным чернозёмами. Отличительная особенность чернозёмов – высокая почвенная ёмкость катионного обмена (общее количество всех поглощённых катионов, которые могут быть вытеснены из почвы).

Над скрытопогребёнными рудными залежами Южно-Бобковского и Западно-Захаровского проявлений в почвах выявлены сорбционно-солевые ореолы Cu, Zn, Pb, Ba, Ag. Максимальные

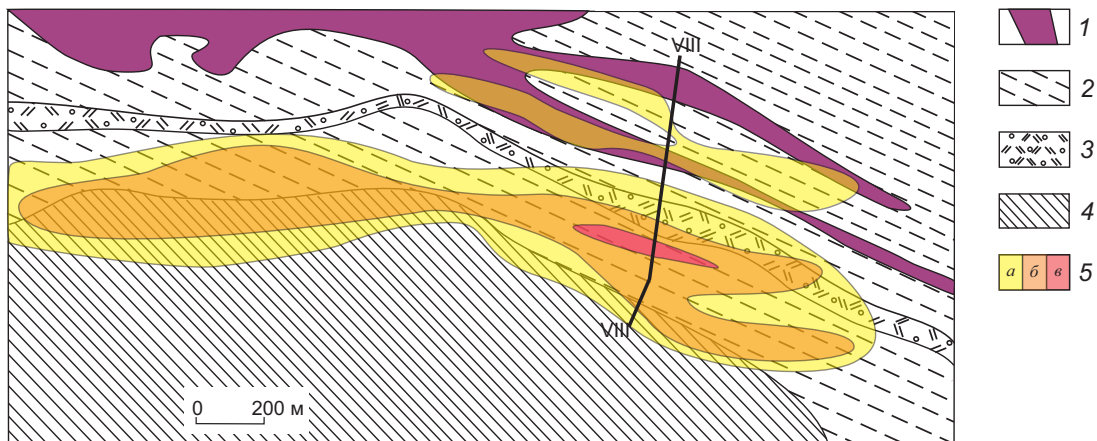


Рис. 4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЙНИЯ УЧАСТКА ПЕТРОВСКИЙ:

1 – риолиты; 2 – алевролиты; 3 – чередование туффитов кислого состава, кремнистых и туфогенных алевролитов; 4 – метаморфические сланцы раннего палеозоя; 5 – значения мультипликативного показателя Pb-Zn-Cu: 10–100 (а), >100–1000 (б), >1000 (в)

значения показателя Cu-Pb-Zn превышают фоновые в 10–30 раз. Эффективная ширина аномалий от 120 до 300 м. На рис. 3 приведён реальный пример выделения сорбционно-солевых ореолов по профилю II–II Западно-Захаровского проявления при мощности перекрывающих неоген-четвертичных отложений 100–110 м.

При поисковых работах в *Змеиногорском районе Рудного Алтая* использование ионно-сорбционного метода способствовало выявлению и вскрытию новых промышленных рудных тел. В качестве примера приведём результаты геохимических работ на участке Петровский. Участок представлен степными и лесостепными ландшафтами предгорий и пологих склонов низкогорья с чернозёмными почвами. Перспективная площадь выделена на основании всестороннего анализа геологических материалов. Детальная опоскованность участка горными выработками лёгкого типа не позволяла рассчитывать на обнаружение рудных тел, выходящих на дневную поверхность. Поисковые работы были нацелены на выявление рудных тел на глубоких горизонтах продуктивной вулканогенно-осадочной толщи раннего живета.

После проведения литохимической съёмки ионно-сорбционным методом на площади установлена обширная контрастная аномалия рудных элементов Pb, Zn Cu (рис. 4) протяжённостью >2,5 км, шириной от 200 до 600 м. Помимо основных элементов, в аномальных концентрациях присутствуют Cd, Ag, As, Sb.

На рис. 5 представлены графики распределения содержаний рудных, петрогенных и элементов семейства железа по профилю VIII–VIII Петровского участка. Для рудных элементов характерны два отчётливых пика. Первый приурочен к контакту пород раннего палеозоя – раннего живета, второй – к продуктивной толще раннего живета. В последнем случае максимальные содержания показателя Pb-Zn-Cu более чем в 1000 раз превышают его нижние аномальные значения. Ширина аномалии не менее 300 м.

Условия формирования колчеданно-полиметаллических месторождений в целом благоприятны для поисков скрытых объектов также по их петрохимическим ореолам, отвечающим зонам метасоматически изменённых пород. Колчеданно-полиметаллическое оруденение на Рудном Алтае сопровождается метасоматитами кварц-серицитовой формации. Главная особенность метасоматических преобразований заключается в последовательном разложении темноцветных минералов (с их хлоритизацией), а затем и полевых шпатов исходных пород с замещением их ассоциацией карбонат+кварц+серицит+пирит. Основные черты химизма метасоматических преобразований определяются постоянным выносом из пород Na и привнесом K, CO₂, S. Прочие из ведущих породообразующих компонентов (Mg, Fe, Ca, Si, Al) ведут себя вариативно в зависимости от состава исходных пород и PT-особенностей минерализующих растворов. При этом для

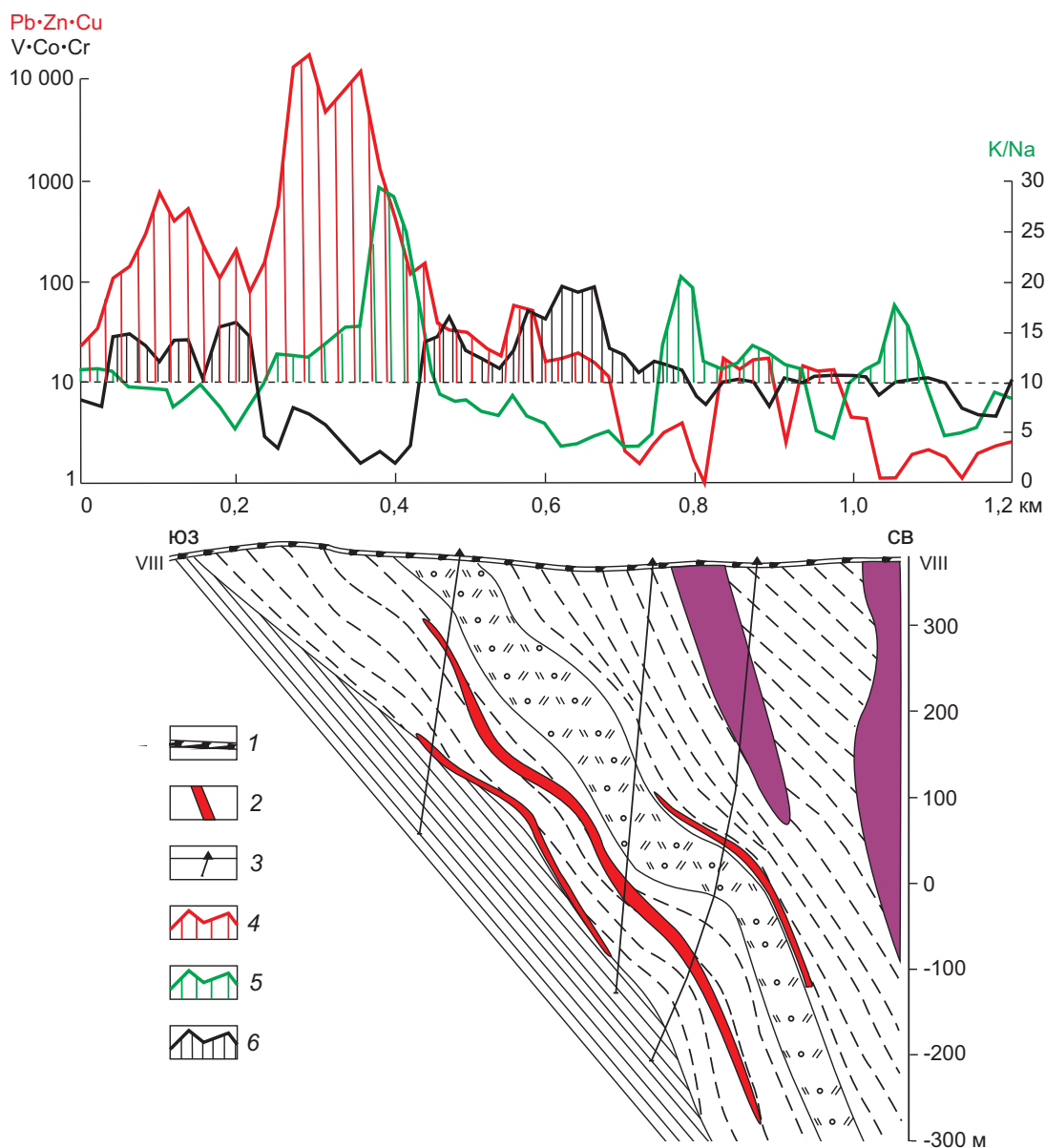


Рис. 5. ГРАФИКИ РУДНЫХ, ПЕТРОГЕННЫХ И СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОФИЛЮ VIII–VIII УЧАСТКА ПЕТРОВСКИЙ:

1 – элювио-делювий; 2 – рудные тела; 3 – поисковые скважины; положительные аномалии комплексных показателей: 4 – Pb-Zn-Cu, 5 – K/Na, 6 – V-Co-Cr.; остальные усл. обозн. см. рис. 4

Mg и Fe чаще проявляется тенденция к выносу из центральных зон метасоматитов. В этом случае показатель отношения K/Na будет образовывать положительную аномалию над выходом метасоматически изменённых пород. На профиле VIII–VIII Петровского участка аномальное значение отношения K/Na отчётливо тяготеет к выходу на поверхность продуктивных интенсивно серицитизированных толщ раннего живета (см. рис. 5). Ширина аномалии 220 м. В северо-вос-

точной части аномалии K/Na фиксируют выходы кислых вулканитов калиевого профиля.

Полезную информацию о наличии колчеданно-полиметаллического оруденения несут элементы семейства железа. По сравнению с рудными элементами аномалии элементов семейства железа менее контрастные, что обусловлено их относительно невысокими коэффициентами концентраций в рудах и околорудном пространстве. На основном рудоносном уровне месторожде-

ний доминирует их вынос с переотложением на границах зон максимальных метасоматических изменений по латерали. На профиле VIII–VIII мультипликативный показатель V-Cr-Co образует область пониженных по сравнению с фоном содержаний элементов над выходом продуктивной толщи на поверхность. Ширина зоны выноса 200 м (см. рис. 5). Выщелоченные элементы частично переотлагаются в висячем и лежачем блоках, образуя положительные аномалии.

При прогнозной оценке перспектив Петровского участка учитывался весь комплекс геохимических поисковых признаков, представленный ассоциацией рудных (Pb, Zn, Cu), верхнерудных (Ag, As, Sb), петрогенных (K, Na) элементов-индикаторов, определяющих химизм метасоматических преобразований, элементов семейства железа (Co, V, Cr), продуктов гипогенного выщелачивания – осаднения в предрудную стадию гидротермальной деятельности. Пробуренные с учётом геохимических данных поисковые скважины вскрыли три «слепых» рудных тела, расположенных на глубинах 80, 200 и 250 м от поверхности.

В заключение сделаем некоторые выводы практического характера.

Скрытые полиметаллические объекты фиксируются с поверхности устойчивыми сорбционно-солевыми ореолами рудных, сопутствующих и петрогенных элементов.

В благоприятных геологических условиях с поверхности рыхлого чехла могут быть выявля-

ны сорбционно-солевые ореолы над полиметаллическими рудными телами, залегающими на глубине 200–250 м, а также перекрытыми чехлом неоген-четвертичных отложений мощностью 100–110 м.

Привлечение к решению поисковых и оценочных задач всего комплекса элементов-индикаторов полиметаллического оруденения существенно повышает достоверность получаемых прогнозных оценок.

Целесообразный масштаб поисковых литохимических съёмки ионно-сорбционным методом – 1:50 000 (сеть 500×80 м) с доведением детальности съёмки на выявленных аномалиях до м-ба 1:25 000 (сеть 250×40 м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С.А. Информатика. Математическая обработка геолого-геохимических данных. Учебное пособие. – Барнаул: Новый формат, 2016.
2. Матвеев А.А., Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник. – М.: КДУ, 2011.
3. Милыев С.А. Литохимические поиски полиметаллических месторождений. – М.: Недра, 1988.
4. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. – М.: Недра, 1985.
5. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др. – М.: Недра, 1990.

ION-SORPTION METHOD OF LITHOCHEMICAL PROSPECTING FOR HIDDEN POLYMETALLIC DEPOSITS: GENERAL PRINCIPLES, EXPERIENCE OF USE

S.A.Milyaev, S.G.Kryazhev, Yu.V.Vilenkina

The technique and equipment of lithochemical search of the hidden polymetallic deposits; principles of quantitative interpretation of the detected ion-sorption method anomalies are presented. Specific examples of the work practice are given.

Keywords: method of lithochemical prospecting, polymetallic deposits.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПЕРЕРАБОТКЕ КОСМИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Развитие космической горно-перерабатывающей отрасли подразумевает добычу полезных ископаемых и их переработку непосредственно на природных космических объектах. Это приведёт к сокращению затрат по выводу на околоземную орбиту ресурсов, необходимых для обеспечения функционирования космической группировки и освоения дальнего космоса. Основной мировой тренд связан с ростом способов добычи воды на природных космических объектах в целях получения дешёвого водородного топлива и криогенных компонентов. В работе рассматривается проблема синтезирования земных аналогов горных пород, обладающих свойствами, близкими к горным породам природных космических объектов. Отмечена перспективность направления развития «сухих» методов переработки космического минерального сырья.

Ключевые слова: топливо, космос, переработка, обогащение, технология, вода, образцы-аналоги.

Формирование космической горно-перерабатывающей отрасли (КГПО) подразумевает создание системы производств, ориентированных на добычу полезных ископаемых на природных космических объектах с последующей их переработкой и использованием в космосе. Целесообразность доставки полезных ископаемых на Землю при добыче их на природных космических объектах сомнительна, за исключением весьма специфических веществ, таких как гелий-3, металлы платиновой группы и др.

Перспективы развития КГПО будут определяться объективной потребностью космической отрасли, в том числе частных компаний, в продукции, полученной из сырья природных космических объектов. Рационально развивать технологии по добыче и переработке сырья для получения строительных материалов и топлива непосредственно в космосе. В первую очередь, это имеет отношение к добыче воды и получению водородного топлива. Далее потребуются материалы для обеспечения орбитальных сервисных станций и строительства орбитальных и напланетных станций.

На реализацию проекта КГПО, начиная от формирования концепции и заканчивая созданием образцов техники, может потребоваться от пяти до 15 лет. Техническая проблематика КГПО заключается не только в сложности создания технологической части космической техники, но и отсутствии чётких критериев, касающихся технических требований к технологии и оборудованию КГПО. В связи со сложностью использования типовых схем обогащения на основе традиционного принципа «руда–вода» исключаются основные технологические операции из перечня рассматриваемых применительно к горному космическому делу. Вода является стратегическим и труд-



Ананьев Павел Петрович

кандидат технических наук
генеральный директор
cigt@mail.ru

НП «Научно-образовательный центр
«Инновационные горные технологии»,
г. Москва

Мещеряков Роман Валерьевич

доктор технических наук
профессор, проректор
по научной работе и инновациям
trv@tusur.ru

ФГБОУ ВО «Томский государственный
университет систем управления
и радиоэлектроники»,
г. Томск

Ларионов Павел Вениаминович

старший научный сотрудник
LarionovPV@inbox.ru

ООО «ГАН»,
г. Москва

Плотникова Анна Валериевна

старший преподаватель
МГИ Национального исследовательского
технологического университета МИСиС,
директор ООО «ГАН»,
plotnikovaav@inbox.ru

г. Москва

Беляков Константин Олегович

вице-президент
по стратегическому развитию
Konstantin.Belyakov@elecard.ru

Группа компаний «Элекард»,
г. Москва



но извлекаемым ресурсом. Использование её в технологических процессах переработки и обогащения полезных ископаемых нецелесообразно. Для решения задач по обогащению необходимо использовать «сухие» технологии или разрабатывать принципиально новые способы добычи и обогащения. Западные государственные и частные компании активно ведут фундаментальные и прикладные исследования в этом направлении. Приведём несколько цифр и фактов, отражающих общие тенденции.

В настоящий момент объём мирового рынка космических работ и услуг составляет более 300 млрд долл. США, из них >70% приходится на частные компании. Объём рынка к 2030 г. оценивается в 1,5 трлн долл. США. Большая часть рынка космической отрасли будет приходиться на обслуживание космических аппаратов за счёт развитой орбитальной группировки, при этом доля услуг по доставке груза на орбиту составит не более 2% [12].

В рамках деятельности NASA в 2011 и 2014 гг. уже проводились тренировочные миссии по дозаправке спутников [1]. В программе NASA «Asteroid Redirect Mission» планируется отколоть от астероида большой кусок вещества для его изучения и добычи полезных материалов. При поддержке NASA разработан и проходит испытания робот-погрузчик RASSOR Excavator'у, предназначенный для экскавации лунного грунта в целях дальнейшего извлечения из него воды. Компания Shackleton Energy Company (SEC) рассматривает варианты по созданию первой оперативной базы для добычи льда на Луне в целях производства из него топлива. Список компаний, занимающихся проблематикой освоения сырьевых космических ресурсов, можно продолжить, но это не входит в задачи данной работы.

При решении технологических задач добычи и переработки минерального сырья в земных условиях сложился традиционный алгоритм, оправдавший себя за многие десятилетия. Он включает следующий необходимый набор действий: геологоразведочные работы на рудопроявлениях и месторождениях, отбор технологических проб для изучения вещественного состава, структурных особенностей, физико-механических и технологических свойств руд и определения технологии и показателей их переработки.

Применительно к изучению космического минерального сырья целесообразно изменить последовательность действий, уделив главное внимание разработке технологии синтеза образцов-аналогов космических горных пород с широким диапазоном физико-механических и технологических свойств. Это позволит ускорить решение задачи разработки и апробации новых технологий и оборудования для добычи и переработки космического минерального сырья.

При разработке технологии синтеза всего многообразия видов-аналогов космических горных пород необходимо использовать известные неполные данные о вещественном и минеральном составе, наличии значительного поверхностного электрического заряда на минеральных частицах.

Поверхность Луны покрыта реголитом – рыхлым обломочным материалом, который сформировался в основном под действием метеоритной бомбардировки. Он состоит из угловатых частиц магматических пород типа базальтов и оплавленных, похожих на стеклянные и металлические капли. По данным [1, 2, 4, 14, 15, 17, 18, 21], были составлены таблицы химического состава лунного грунта (табл. 1), физико-механических свойств реголита Луны и Марса и их земных аналогов (табл. 2). В лунном реголите обнаружены редкоземельные металлы, в том числе в самородной форме. Кроме того, в нём содержатся уникальные металлические соединения, не характерные для земных естественных условий, и редкий изотоп гелий-3, имеющий важное значение для развития ядерной энергетики будущего [22].

Первостепенное значение имеет наличие воды. Вода на поверхности Луны находится как в молекулярном состоянии (H_2O), так и в виде гидроксильных соединений (ОН). В лунном грунте в основном присутствует физически и химически связанная вода, что накладывает дополнительные требования к временным и энергетическим параметрам при создании технологии извлечения воды нагревом. Следует учесть, что свойства и структура космического льда могут существенно отличаться от земного аналога (табл. 3) [8]. Модификации льда образуются в условиях низких температур и высоких давлений, за исключением льда первой модификации (земные условия). Такие условия напомина-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАЗЦОВ ЛУННОГО ГРУНТА

Оксиды	Лунные породы				Земные породы			
	«Морские» районы		«Материковые» районы		Базальт	Габбро-диабаз	Дунит	Гранит
	Луна-16	Аполлон-15	Луна-20	Аполлон-17				
SiO ₂	42,9	45,0	44,2	48,5	47,0	45,0	40,5	72,2
TiO	5,5	2,5	0,3	0,9	1,8	2,5	-	0,2
Al ₂ O ₃	13,9	8,9	19,1	17,2	14,5	11,8	0,8	13,4
FeO	20,2	22,2	6,9	14,4	7,3	1,8	5,5	0,6
MgO	6,0	9,1	13,4	8,9	7,7	0,2	0,2	0,6
CaO	10,8	10,3	13,3	11,6	10,0	4,5	0,7	2,2
Na ₂ O	0,2	0,3	0,5	0,4	1,6	2,0	0,1	3,0
K ₂ O	0,2	-	0,5	0,3	1,1	1,3	-	4,5

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕГОЛИТА ЛУНЫ, МАРСА И ЗЕМНЫХ АНАЛОГОВ

Параметры	Луна	Земные аналоги	Марс		Земные аналоги
	Реголит	Пирокластические образования Толбачинского Дола	Реголит	Реголит мёрзлый	Пирокластические образования вулкана Безымянный
Размер зёрен, мм	0,06–2	0,125–1	0,1–5	-	0,125–2
Плотность, г/см ³	0,9–1,2	0,87–1,2	1,0–1,6	-	1,38–1,88
Пористость, %	40–50	41–53	35–65	-	33–67
Теплопроводность, Вт/м·К	1,2–1,7	0,13–0,23	0,1–0,12	2,2–3,2	-
Теплоёмкость, Дж/(м ³ ·К)	0,188	0,87	1,05	0,8–1,1	0,85
Угол внутреннего трения, град.	10–20	20–38	18–41	-	25–45
Сцепление, МПа	0,013–0,03	0–0,03	0–0,0005	0,004	0–0,064
Удельное сопротивление, Ом·м	3,2	10 ⁵ –10 ⁸	-	10 ³ –10 ⁶	10 ⁵ –10 ⁸
Диэлектрическая проницаемость, Ф/м	3,36	-	2,2–2,8	3,25–4	2,2–2,8
Мощность	<20 м	-	<2 км	-	-

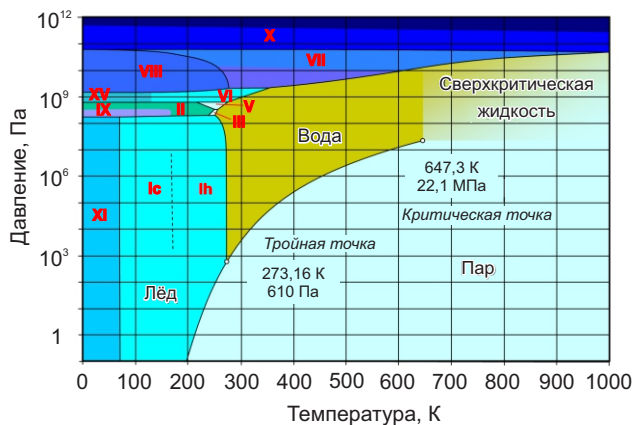
3. ТЕМПЕРАТУРА, ДАВЛЕНИЕ, ПЛОТНОСТЬ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ЛЬДОВ

Модификации	Температура, °С	Давление, МПа	Плотность, г/см ²	Диэлектрическая проницаемость
I – гексагональная	0	0,1	0,92	94
Ic – кубическая	-130	0,1	0,93	-
II – тригональная	-35	210	1,18	3,7
III – тетрагональная	-22	200	1,15	117
V – моноклинная	-20	530	1,26	144
VI – тетрагональная	15	1100	1,34	193
VII – кубическая	25	2500	1,65	~150
VIII – кубическая	-50	2500	1,66	~3
IX – тетрагональная	-110	230	1,16	~4

ют космические и не встречаются на Земле. На рисунке представлена фазовая диаграмма состояния воды [20].

Сведения о модификации лунного льда и его свойствах недостаточны, что затрудняет форми-

рование правильных требований к технологии извлечения воды из лунного грунта. Ещё недавно считалось, что Луна – одно из самых сухих мест во всей Солнечной системе. Но затем «попились» сообщения о наличии воды на Луне.



ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ВОДЫ

Сначала о небольшом её количестве на поверхности Луны, потом о десятках литров в одном кратере, а сейчас о 600 млн т в 40 кратерах вблизи лунного северного полюса [9].

В настоящее время на Луне установлены три типа воды. Радар Mini-SAR обнаружил практически чистый лёд, автоматизированный космический корабль LCROSS (Lunar CRater Observation and Sensing Satellite) – смесь грязи и льда, прибор M3 (Moon Mineralogy Mapper) на борту индийского зонда «Чандраян-1» – тонкий слой льда, который то появляется, то исчезает по всей поверхности Луны. Луна находится под постоянной бомбёжкой из космоса, что увеличивает количество воды на Луне. Так, астероиды содержат гидротизированные минералы, а ядра комет состоят из практически чистого льда [9].

Лунный реголит имеет ещё ряд специфических свойств. Например, вероятно возникновение дополнительных технологических сложностей при экскавации, а именно налипание частиц грунта на рабочие поверхности оборудования. Солнечный ультрафиолет выбивает из них электроны, и они приобретают положительный заряд. Ночью лунная пыль приобретает отрицательный заряд за счёт воздействия свободных электронов из состава лунного ветра [14].

Заряженные частицы в условиях Луны обладают повышенными адгезионными способностями, что ограничивает использование космических систем на её поверхности [7]. В ночное время адгезия лунной пыли снижается. В процессе образования новых поверхностей в результате разрушения реголита в условиях отсутствия атмосферы оксидные плёнки на поверх-

ности материалов не возникают, что также способствует повышению их адгезионных свойств. Электростатическая адгезия лунной пыли является серьёзной технологической и экологической проблемой для будущих лунных экспедиций [10]. Электрический потенциал поверхности равен ~100 В. При нахождении Луны в магнитном хвосте Земли он увеличивается и составляет от –200 до –1 кВ. Максимальный зафиксированный потенциал ночной стороны лунной поверхности –4 кВ, а освещённой – 5–10 В [7].

Породы Венеры и Марса менее изучены по сравнению с лунными. Но экспедиции на Марс в 2002, 2006, 2008, 2012 гг. позволили получить больше сведений о процессах, протекающих на её поверхности. По химическому составу отложения планеты не похожи на современные изверженные образования Земли. Известные породы Марса менее кислые, чем продукты вулкана Безымянный [13]. С некоторыми оговорками, наиболее подходящими земными аналогами грунтов Луны, Венеры и Марса могут быть вулканогенные породы, не подвергшиеся глубоким экзогенным преобразованиям [18, 19].

Однако схожесть грунтов относительна. Особенно это очевидно при постановке технологических задач при изучении лунного грунта. Создание образца-аналога последнего, имеющего соответствующий заряд, достаточно затруднено. Способы передачи на частицы заряда описаны в работе [5], но использование подобных образцов для технологических испытаний требует разработки дополнительных технических решений по сохранению заряда при контакте образца с рабочим инструментом испытываемого оборудования.

Авторами настоящей статьи сделана попытка найти подходы к созданию высокопроизводительного технологического оборудования, способного обеспечить значительный электрический заряд на поверхности минеральных частиц. Совместное воздействие на сырьё мощных импульсных электромагнитных полей и барьерного плазменного разряда стало основой технологии получения аналогов лунного грунта с изменёнными адгезионными и абразивными свойствами. Использование такого материала представляет интерес при испытаниях напланетных космических аппаратов в земных условиях, а также отработке новых технологий обогащения.

Очевидно, что минимизация массогабаритных характеристик космического технологического оборудования – одна из первостепенных задач. Как установлено экспертной оценкой удельных показателей типового горно-металлургического оборудования, используемого в земных условиях [3], для обеспечения переработки 1 т/ч горной массы на Луне потребуется доставка основного технологического оборудования массой 15–30 т (без учёта материалоёмкости сооружений и вспомогательного оборудования), что эквивалентно затратам на транспортировку в 300–600 млн долл. США.

Необходимы принципиально новые подходы в поиске новых физических принципов при разработке технологий и оборудования. Особый интерес представляют «сухие» технологии, исключающие использование воды. Учитывая незначительную удельную материалоёмкость технологического оборудования [11], может оказаться целесообразным использование энергетических воздействий за счёт электромагнитных полей в целях управления технологическими свойствами минерального сырья [6]. В горном деле уже применяются высокоэнергетические и импульсные электромагнитные технологии [16], которые повышают удельную производительность оборудования рудоподготовки.

При участии авторов статьи проведены постановочные эксперименты по использованию электромагнитных полей в прототипах горных технологий будущего, таких как извлечение воды и бурение. Экспериментально подтверждено, что при воздействии на аналог лунного грунта импульсного электромагнитного поля часть физически связанной воды (до 45%) переходит в свободное состояние [6]. Анализ результатов экспериментов позволяет предполагать, что с применением новой электромагнитной технологии снизится температура выпаривания воды из лунного грунта в 1,5–2,5 раза и увеличится производительность технологического оборудования более чем в два раза по сравнению с американским аналогом роботом-погрузчиком RASSOR Excavator^у.

Экспериментальные тесты нового способа бурения, основанного на ударно-вращательном действии бурового инструмента и действии импульсов магнитного поля, позволили значительно повысить скорость проходки и снизить нагрев

бура за счёт снижения трения в зоне контакта бурового инструмента. Это даст возможность повысить качество разведочного бурения «на воду» на природных космических объектах и снизить удельные показатели материалоёмкости.

Рассмотренная выше проблематика не исчерпывает круг вопросов, требующих решения нестандартными методами. Традиционно при создании более совершенного горно-технологического оборудования конструктор руководствуется известными физико-технологическими процессами и экономически обоснованными критериями оптимизации. При создании космического горно-перерабатывающего оборудования методология может коренным образом поменяться. Во главу угла будут поставлены возможные технические решения в области космической робототехники высокого уровня автономии. Очевидно, что требования к космическим робототехническим комплексам горнодобывающего назначения будут расширены за счёт повышения автономности обслуживания рабочих инструментов комплекса. С другой стороны, размещение робототехнического комплекса на космическом объекте и его деятельность сопряжены с решением ряда практических проблем, связанных с обеспечением энергетикой, обслуживанием, навигацией, развитием искусственного интеллекта, а также созданием условий для непрерывного цикла производства материалов из породы. К сожалению, существующие достижения в области робототехники не позволяют обеспечить полный цикл производства. Таким образом, развитие космической горнодобывающей промышленности может служить драйвером развития космической робототехнической отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ализар А. NASA готово к постройке орбитальной станции для ремонта и заправки спутников. 2015. [Электронный ресурс] URL: <https://geektimes.ru/post/252282/>.
2. Гирина О.А. Пирокластические отложения современных извержений андезитовых вулканов Камчатки и их инженерно-геологические особенности. – Владивосток: Дальнаука, 1998.
3. Городниченко В.И., Дмитриев А.П. Основы горного дела. Учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2008.

4. Демидов Н.Э., Базилевский А.Т., Кузьмин Р.О. Грунт Марса: разновидности, структура, состав, физические свойства, буримость и опасности для посадочных аппаратов // *Астрономический вестник*. 2015. Т. 49. № 4. С. 243–261.
5. Инжектор заряженных пылевых частиц / Н.Д.Семкин, А.В.Пияков, К.Е.Воронов и др. // *Приборы и техника эксперимента*. 2006. № 3. С. 154–159.
6. Интенсификация измельчения руд с использованием энергетических воздействий / П.П.Ананьев, Е.Л.Чантурия, Е.С.Томская и др. // *Горный журнал*. 2014. № 12. С. 63–69.
7. *Ксанфомалити* Л.В. Планета Венера. – М.: Наука. 1985.
8. Мосин О.В. Свойства льда и его модификаций. 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://www.o8ode.ru/article/krie/ice.htm>.
9. Новые данные о воде на Луне. 2010. [Электронный ресурс] URL: <http://globalscience.ru/article/read/17335/>.
10. *Передвижение* по грунтам Луны и планет / Под ред. А.Л.Кемурджиана. – М.: Машиностроение, 1986.
11. *Перспективы* развития космической горно-перерабатывающей отрасли / Р.В.Мещеряков, П.П.Ананьев, К.О.Беляков и др. // *Инновации*. 2016. № 4. С. 3–8.
12. РАН и Роскосмос вместе будут исследовать космос и осваивать Луну. Российская Академия Наук. 2015. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=98b4812e-0a53-49ff-8130-8dbdd5529a7f>.
13. Сапежинский В.С., Певгов В.Г., Ряховский В.М. О перспективах использования плазменных технологий при переработке техногенного сырья // *Обогащение руд*. 2015. № 6. С. 41–45.
14. Сёмкин Н.Д., Видманов А.С. Модели динамики движения лунной пыли и методы получения потоков заряженных частиц пыли в лабораторных условиях // *Вестн. Самарского гос. аэрокосмического ун-та*. 2013. С. 164–176.
15. Слюта Е.Н. Физико-механические свойства лунного грунта // *Астрономический вестник*. 2014. Т. 48. № 5. С. 358–382.
16. *Технико-экономические* требования к горным процессам и оборудованию при добыче воды из лунного грунта / П.П.Ананьев, К.О.Беляков, А.В.Плотникова и др. // *Инновации*. 2016. № 9. С. 7–10.
17. *Фундаментальные* космические исследования. Кн. 2. Солнечная система / Под ред. Г.Г.Райкунова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014.
18. Черкасов И.И., Шварев В.В. Грунтоведение Луны. – М.: Наука, 1979.
19. Черкасов И.И., Шварев В.В., Штейнберг Г.С. Рыхлые вулканические отложения – возможные земные аналоги грунтов Луны // *Космические исследования*. 1969. Вып. 5. № 7. С. 760.
20. *AdmiralHood*. Диаграмма фазового состояния воды. 2010. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/w/index.php?curid=2234206>.
21. Scott A.N., Oze C., Tang Y., O'Loughlin A. Development of a Martian regolith simulant for in-situ resource utilization testing // *Acta Astronautica*. February 2017. Vol. 131. P. 45–49. [Электронный ресурс] URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.11.024>.
22. Weiblen P.W., Murawa M.J., Reid K.J. Preparation of stimulants for lunar surface materials / *Engineering, Construction and operation in Space*. 1990. II. P. 428–435.

METHODICAL APPROACHES TO COSMIC MINERAL MATERIAL PROCESSING

P.P.Ananyev, R.V.Meshcheryakov, P.V.Larionov, A.V.Plotnikova, K.O.Belyakov

Development of cosmic processing industry implies mineral mining and processing directly at natural space objects. This will reduce costs on launching of resources needed to ensure operation of a space grouping and development of outer space into near-Earth orbit. The main global trend is related to the increase of water extraction methods at natural space objects in order to obtain low-cost hydrogen fuel and cryogenic components. The paper reviews the problem of synthesizing terrestrial analogs of rocks with properties similar to those of rocks from natural space objects. Prospectiveness of developing «dry» methods to process cosmic minerals is shown.

Keywords: fuel, space, processing, treatment, technology, water, analog samples.

Поздравляем с юбилеем

19 апреля 2017 г. исполнилось 60 лет ведущему научному сотруднику отдела анализа состояния и развития минерально-сырьевой базы и апробации прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов, доктору геолого-минералогических наук **Владимиру Борисовичу Голеневу**.

По окончании в 1979 г. Московского геологоразведочного института им. С.Орджоникидзе трудился старшим техником-геологом, инженером-геологом в Майской геологоразведочной экспедиции Северо-Восточного территориального геологического управления на разведке Майского золоторудного месторождения, с 1981 г. – в ЦНИГРИ в должностях инженера и младшего научного сотрудника. В 1987 г. защитил кандидатскую диссертацию, посвящённую разработке методики разведки и оценки прожилково-вкрапленных золоторудных месторождений. С 1988 г. – старший научный сотрудник. Занимался вопросами геологии, совершенствования методики разведки и подсчёта запасов золоторудных месторождений Северо-Востока, Сибири, Урала. Принимал участие в разработке рациональной методики разведки, в оценке и подсчёте запасов известных месторождений Олимпиадинское, Светлинское, Воронцовское, Майское, Школьное и др., которые успешно прошли государственную экспертизу и разрабатываются в настоящее время. Результаты его исследований положены в основу научных материалов для атласов многофакторных моделей золоторудных месторождений различных морфологических типов, изданных ЦНИГРИ в 1993–1994 гг.

Особый вклад В.Б.Голенев внёс в исследования по созданию геолого-методических основ разведки месторождений золота в глинистых корах выветривания. Всесторонний анализ многолетней практики геологоразведочных работ на месторождениях этого геолого-промышленного типа позволил ему установить основные факторы, определяющие требования к опробованию, плотности разведочной сети, способам оценки достоверности данных разведки, а также обосновать рекомендации по совершенствованию методики разведки, выбору способа разработки и экспрессной оценке экономической значимости объектов на ранних стадиях их подготовки к промышленному освоению. Эти проблемные вопросы В.Б.Голеневым рассмотрены в монографиях по разведке и оценке месторождений золота в глинистых корах выветривания, изданных в ЦНИГРИ в 2001 и 2006 гг. и отражены в его докторской диссертации, защищённой в 2008 г.

Владимир Борисович является ведущим экспертом ГКЗ «Роснедра» и рабочей группы ЦНИГРИ по методическому обеспечению при оценке ресурсов и запасов коренных месторождений благородных и цветных металлов России.

В.Б.Голенев – автор более 40 научных работ, в том числе 23 опубликованных, двух монографий и 15 научно-исследовательских и производственных отчётов. За многолетнюю и плодотворную деятельность он награждён знаком «Отличник разведки недр», почётными грамотами ЦНИГРИ.

Владимир Борисович – скромный, доброжелательный, отзывчивый человек.

Поздравляем Владимира Борисовича Голенева с юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья, дальнейших творческих достижений.

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

XXIX МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ОБОГАЩЕНИЮ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 15–21 сентября 2018 г., г. Москва



Цель конгресса – продвижение научно-технических знаний в области обогащения полезных ископаемых и добывающей металлургии во всем мире, обмен знаниями и опытом, презентация результатов научных исследований и обсуждение инноваций в горнодобывающей промышленности. В работе конгресса примут участие специалисты и учёные со всего мира, лучшие университеты, специализирующиеся на переработке минерального сырья, крупнейшие горнодобывающие компании, ведущие поставщики услуг и технологий.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ

- Технологическая минералогия
- Измельчение и классификация
- Физические методы обогащения – гравитационное обогащение, магнитная и электрическая сепарация
- Химия поверхности. Фундаментальные основы флотации. Флотационные реагенты. Технология флотации
- Переработка тонкодисперсных продуктов и шламов
- Гидрометаллургия и технологии бактериального выщелачивания
- Экологические проблемы и утилизация минеральных отходов
- Моделирование технологических процессов
- Окомкование, агломерация и спекание
- Обезвоживание
- Средства инструментального контроля и передовые модели интеллектуального управления
- Технологические достижения в конкретных производственных процессах



15 сентября 2016 г. в г. Квебек (Канада) Россия приняла эстафету на проведение IMPC 2018

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

- Начало онлайн регистрации 01.01.2017
- Начало подачи тезисов 01.03.2017
- Окончание приёма тезисов 01.09.2017
- Экспертиза тезисов 01.12.2017
- Окончание приёма статей 01.03.2018
- Экспертиза статей 01.05.2018

Российская академия наук,
Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»



Редакция: *Г.В.Вавилова, В.С.Жаркова*
Вёрстка и оригинал-макет: *А.С.Рязанцева*
Фото на обложке (флюорит): *Didier Descouens*

Подписано в печать 01.06.17 г. Формат 30×42 1/2. Бумага листовая. Печать цифровая
Отпечатано в ФГУП ЦНИГРИ: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1

Адрес редакции:
117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ФГУП ЦНИГРИ
Телефон: 8 (495) 315-28-47
Факс: 8 (495) 315-43-47
E-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru
Сайт: www.tsnigri.ru/rudy_metally

Подписной индекс 47218

© «Руды и металлы», 2017