

и РУДЫ МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

2

2018

и РУДЫ и МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

№ 2 апрель – июнь 2018

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 2018

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Иванов Анатолий Иннокентьевич

главный редактор
доктор геолого-минералогических наук,
генеральный директор ЦНИГРИ

Черных Александр Иванович

зам. главного редактора
кандидат геолого-минералогических наук,
первый заместитель генерального директора ЦНИГРИ

Жаркова Вера Сергеевна

зам. главного редактора
заведующая редакционно-издательской группой ЦНИГРИ

Вартанян Сергей Серопович

кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора по научной работе ЦНИГРИ

Волчков Алексей Гордеевич

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом научно-методического
сопровождения ГРР ЦНИГРИ

Голубев Юрий Конкордьевич

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом алмазов ЦНИГРИ

Горячев Николай Анатольевич

доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН,
главный научный сотрудник Северо-Восточного Комплексного
научно-исследовательского института (СВКНИИ) ДВО РАН

Звездов Вадим Станиславович

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом благородных металлов ЦНИГРИ

Кременецкий Александр Александрович

доктор геолого-минералогических наук,
научный руководитель Института минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)

Кряжев Сергей Гаврилович

доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом минералогии, изотопной геохимии
месторождений благородных и цветных металлов ЦНИГРИ

Кузнецов Владимир Вениаминович

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом цветных металлов ЦНИГРИ

Похиленко Николай Петрович

доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института геологии и минералогии
им. В.С.Соболева (ИГМ) СО РАН

Проскурнин Василий Фёдорович

доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом Всероссийского научно-исследовательского
геологического института им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ)

Седельникова Галина Васильевна

доктор технических наук,
заместитель генерального директора
по аналитическим и технологическим исследованиям ЦНИГРИ

Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук,
директор Научно-исследовательского
геологоразведочного предприятия (НИГП) АК «АЛРОСА»

Фридовский Валерий Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
директор Института геологии алмаза
и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН



СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

Итоги VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Горошко М.В., Гильманова Г.З.

Ураноносность зон структурно-стратиграфических несогласий между платформенными и метаморфическими образованиями Идюмо-Хайканского купола Алданского щита

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Голуб В.Н., Каримов Э.В.

Прогнозная оценка Бургагылканского золото-серебряного рудопроявления с применением методики блочного моделирования

Несис В.Н., Мотов А.П.

Способ экспертной оценки не выявленных ресурсов золото-полиметаллической минерализации медно-порфириновых рудных узлов

04

14

25

35

NEWS, INFORMATION

Results of VIII International scientific and practical conference «Scientific and methodical basics of diamond, precious and base metal deposit forecasting, prospecting and evaluation»

APPLIED METALLOGENY

Goroshko M.V., Gilmanova G.Z.

Uranium potential of structural-stratigraphic disconformity zones between platform and metamorphic units of Aldan shield Idyum-Khaikan dome

PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

Golub V.N., Karimov E.V.

Burgagylkanskoye Au-Ag ore occurrence forecast estimate using block modeling method

Nesis V.N., Motov A.P.

Expert estimation of undiscovered resources for porphyry copper ore cluster gold-polymetallic mineralization

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Баранов Л.Н., Толстов А.В.,
Округин А.В., Слепцов А.П.**

Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, Северо-Восток Сибирской платформы

42

**Глухов А.Н., Савва Н.Е., Буляков Г.Х.,
Фомина М.И., Бирюков А.А.**

Самородное золото в рудах и россыпях Глухаринского узла, Магаданская область

55

Инякин А.В.

Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж

66

**Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В.,
Сидоров В.А., Лямин С.М.**

Строение и состав золоторудных залежей месторождения Павлик

77

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Наталья Александровна Фогельман – 60 лет в ЦНИГРИ (к 105-летию со дня рождения)

86

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

И.Ф.Мигачёва

89

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Baranov L.N., Tolstov A.V.,
Okругin A.V., Sleptsov A.P.**

New data on mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores of the Tomtor massif, Northeast of the Siberian platform

**Glukhov A.N., Savva N.E., Bulyakov G.H.,
Fomina M.I., Biryukov A.A.**

Native gold from lodes and placers of Glukhariny mining camp, Magadan region

Inyakin A.V.

Geological-structural setting and localization environments of pyrite-polymetallic ores within Salair-Kamenushinskoye ore field, Salair ridge

**Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Aristov V.V.,
Sidorov V.A., Lyamin S.M.**

Structure and composition of Pavlik gold deposit

PAGES OF HISTORY

N.A.Fogelman – 60 years in TsNIGRI (105th anniversary)

OUR CONGRATULATIONS

I.F.Migachev



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

16–18 апреля 2018 г. при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук и Российского геологического общества в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов (г. Москва) прошла VIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».

Тематика конференции:

- *приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы (АБЦМ);*
- *перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ за счёт средств федерального бюджета по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ;*
- *опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределённого и нераспределённого фондов недр;*
- *научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ;*
- *использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ;*
- *разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий геологоразведочных работ на АБЦМ.*

По шести тематическим направлениям было представлено 163 доклада (из них 68 устных сообщений, 65 стендовых, 30 заочных) из 62 учреждений и предприятий Роснедра, РАН, вузов, производственных организаций.

В рамках конференции проведены:

Пленарное заседание «Приоритетные направления прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы».

Секция 1 – «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений и результаты ГРП на благородные и цветные металлы».

Секция 2 – «Состояние и перспективы прогнозирования и поисков алмазных месторождений».



Пленарное заседание конференции открыл С.А.Аксёнов (Роснедра). В своём сообщении он рассмотрел основные направления реализации стратегических задач недропользования на современном этапе, включая задачи по развитию минерально-сырьевой базы (МСБ) твёрдых полезных ископаемых, в том числе благородных металлов, прежде всего за счёт ГРП на объектах Крайнего Севера Российской Федерации.

В докладе А.И.Иванова с соавторами (ФГБУ ЦНИГРИ) проанализированы состояние и качество МСБ АБЦМ Российской Федерации, проведено её сравнение с мировой МСБ, рассмотрено распределение запасов и прогнозных ресурсов по округам и субъектам РФ между распределённым и нераспределённым фондами недр, проанализирована роль в запасах и добыче золота и серебра собственно золоторудных, комплексных и россыпных месторождений. Отмечены основные проблемы воспроизводства МСБ. К ним относятся: недостаточное финансирование ГРП для выполнения выбывающего поискового задела; дефицит участков с прогнозными ресурсами категорий P_1 и P_2 ; значительная доля наименее достоверных прогнозных ресурсов категории P_3 в структуре прогнозных ресурсов; несовершенство методик поисков, в первую очередь, скрытых и перекрытых месторождений в сложных горно-таёжных условиях; расположение большинства новых месторождений и перспективных рудопроявлений преимущественно в труднодоступных районах с неразвитой инфраструктурой.

Обсуждение данных проблем продолжили специалисты ЦНИГРИ – Ю.К.Голубев, рассмотревший направления развития МСБ алмазов, и В.В.Кузнецов, оценивший перспективы МСБ цветных металлов России. Выступление А.Г.Волчкова касалось подготовки надёжно обоснованных поисковых площадей для повышения результативности ГРП

на твёрдые полезные ископаемые в условиях истощения поискового задела.

Ю.Г.Сафоновым (ФГБУН ИГЕМ РАН) отмечена ограниченность имеющихся знаний по глубинному строению крупнейших золоторудных месторождений, таких как Мурунтау и Сухой Лог, по вещественным, энергетическим, тектонофизическим и другим аспектам металлогенически значимых процессов в целом. Предложено более широкое использование количественных характеристик при описании рудогенеза.

Коллективом авторов из МГУ им. М.В.Ломоносова оценены перспективы основных металлогенических зон Западной Чукотки на благородные металлы. Приведены геохимические критерии выявления, типизации и параметры наиболее распространённых типов оруденения, которые могут иметь промышленное значение. В качестве наиболее перспективных выделены золото-медно-молибден-порфиновые объекты, которые рассматриваются как источники для попутного извлечения благородных металлов, и золото-кварцевые (березитовые) проявления Южно-Ануйской зоны и северо-западной части Алярмаутского поднятия Ануйской зоны.

И.Г.Спирidonовым (ФГБУ «ИМГРЭ») в докладе «Прогнозно-поисковые геохимические работы. Состояние, проблемы, пути решения» рассмотрены вопросы научно-методического сопровождения организации и постановки геохимических поисков на перспективных территориях с учётом их природных условий; создания эталонных геолого-геохимических моделей разноранговых рудных объектов и совершенствования на их основе аномальных геохимических полей; разработки, апробации и внедрения новых методов ведения геохимических поисков с применением дифференцированного опробования природных сред и прецизионных аналитических методов изучения их

состава; разработки технологии интерпретации и оценки аномальных геохимических полей на базе комплексного анализа геологической, геохимической, геофизической информации; изучения структуры аномальных геохимических полей с использованием современных компьютерных технологий (ГЕОСКАН) при оценке перспектив новых территорий.

На следующий день обсуждение этих и других вопросов было продолжено в рамках Секции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений и результаты ГРР на благородные и цветные металлы».

Лейтмотивом большинства докладов и выступлений, в том числе А.Г.Волчкова (ФГБУ ЦНИГРИ), О.В.Мурзина (АО «СНИИГГиМС»), А.В.Волкова (ФГБУН ИГЕМ РАН), стал тезис об исчерпании советского поискового задела и, как следствие, снижение обоснованности и качества площадей, предлагаемых для проведения поисковых работ. Одной из главных причин дефицита таких площадей называется «выпадение» работ среднемасштабного уровня (ГС-50 с общими поисками, ГДП-50, ГК-50) из существующей стадийности ГРР, в результате которых выделялись перспективные участки (рудопроявления), осуществлялись их предварительная оценка и разбраковка. За прошедшие 25 лет поисковыми работами большинство выявленных поисковых площадей было изучено, т.е. они или переведены в разряд месторождений, или признаны непромышленными. Мелкомасштабные геолого-съёмочные работы (ГДП-200, составление ГК-1000/3) и прогнозно-металлогенические исследования не решают задачи выделения локальных участков под поисковые работы в силу ограниченности по времени, финансированию и видам работ.

В выступлениях отмечена необходимость переоценки территорий на новые формационные типы оруденения, так как известные типы, являющиеся основой добычи в регионах, как правило, уже исчерпали свой потенциал. Другой резерв для развития поисковых работ – районы со сложными ландшафтно-геоморфологическими условиями, которые требуют новых методик обнаружения скрытых и перекрытых месторождений.

Для реализации этих приоритетных направлений во многих докладах, прежде всего сотрудников ЦНИГРИ, рекомендовано проведение тематических и прогнозно-минерагенических исследований, показан опыт разработки новых методик



С.А.Аксёнов



А.И.Иванов

в ходе опытно-методических работ по обнаружению скрытых и перекрытых месторождений, по составлению прогнозно-поисковых моделей известных и перспективных типов оруденения, по рудно-формационному анализу и прогнозу в различных минерагенических провинциях.

Сделан вывод о необходимости прогнозно-минерагенических исследований как эффективного инструмента для восполнения фонда перспективных участков и площадей. Эти работы должны производиться в рудных районах, узлах, по которым имеются данные об их перспективности, но информации для выделения локальных участков ранга потенциальных рудных полей для выполнения поисковых работ недостаточно. Прогнозно-минерагенические исследования должны сочетать как тематически-прогностическую составляющую для выработки эффективного комплекса поисковых критериев и признаков на известные и новые типы оруденения, так и достаточный объём полевых работ для их заверки. Такой подход позволит понять закономерности распространения и локализации оруденения в пределах перспективных узлов, обосновать границы перспективных участков с ресурсами категорий P_2 и P_3 для постановки поисковых работ.

Несколько сообщений были посвящены актуальной теме развития МСБ слабо изученной Арктической зоны РФ как наиболее перспективной для прироста ресурсов и запасов высоколиквидных и остродефицитных видов полезных ископаемых в условиях опережающего развития транспортной инфраструктуры. Так, в докладе специалистов ИГЕМ РАН подняты вопросы освоения россыпного потенциала золота, платиноидов, олова, алмазов Арктической зоны России. Многие рос-

сыпные месторождения за 50 и более лет эксплуатации к настоящему времени в значительной части выработаны, однако оставшиеся ресурсы представлены объектами крупных и средних размеров. Выделены направления дальнейшего развития МСБ россыпных месторождений: исследование потенциала освоенных районов на нетрадиционные типы россыпей (техногенные с низкими содержаниями полезных компонентов, попутные компоненты традиционных россыпей); использование новых методов обработки россыпей, относящихся к забалансовым по горнотехническим условиям эксплуатации; поиск традиционных типов россыпей в малоисследованных районах. Предлагаемые меры в комплексе с современными технологиями добычи и обогащения, а также проведением поисковых работ на шельфе и прибрежных равнинах позволят нарастить запасы полезных ископаемых Арктики за счёт россыпных объектов.

В рамках тематики «Опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределённого и нераспределённого фондов недр» прозвучали доклады, в которых отражены принципы планирования и итоги реализации федеральных ГРР.

В докладах сотрудников ВСЕГЕИ представлены результаты ГДП-200 по листам О-52-XXVII, О-52-XXVI, О-51-XIX. Приведены материалы, подтверждающие перспективы Ломамского потенциального золоторудного района, в пределах которого выделены три потенциальных рудных узла: Билибинский, перспективный на золото-медно-молибден-порфиновые руды морозкинского типа, Ардайский и Бурпалинский – на золотоносные малосульфидные руды лебединского типа. Суммарные прогнозные ресурсы золота категории P_3 составили 347 т. В пределах Угуйской грабен-синклинали впервые установлена Кондинская потенциальная золоторудная зона, пространственно совпадающая с одноимённой зоной долгоживущих разломов, вмещающей на соседнем с О-51-XIX листе крупные по запасам месторождения золота Таборное и Гросс. Прогнозные ресурсы золота категории P_3 – 100 т.

Группа авторов из ЦНИГРИ на примере проявления Биллях, расположенного в одноимённом рудном районе Верхояно-Колымской металлогенической провинции, показала влияние тектонических факторов на формирование жильных золоторудных объектов, а также на текстурно-струк-

турные особенности руд, типоморфные признаки аксессуарных минералов и состав золота. Наиболее благоприятны для локализации малых интрузий и связанных с ними рудоносных гидротермалитов – тектонически ослабленные зоны и участки, возникшие в результате деформаций в Билляхской зоне смятия.

В ряде докладов приведены материалы, отражающие позицию, геологическое строение, условия локализации и вещественный состав руд изученных в последние годы месторождений и перспективных рудопроявлений благородных и цветных металлов в различных регионах России: Вилуйское (Au, Свердловская область), Давыдовское (Pb-Zn, Рудный Алтай), Кундыздинское (Cu-колчеданное, Республика Казахстан), Черемшан-



ское (Pb-Zn-Ag, Хабаровский край), группа VMS и Sedex Pb-Zn месторождений (Забайкальский край), комплексные месторождения медно-порфиrowого типа (Алжир), золоторудные месторождения Новогодненского рудного поля – Новогоднее-Монто, Петропавловское (ЯНАО). Доклады указанной тематики содержат также рекомендации по дальнейшему изучению и оценке перспектив охарактеризованных объектов.

В этой группе интересный доклад *В.В.Александрова* (ОАО УГСЭ) был посвящён характеристике нового нетрадиционного для региона Среднего Урала золоторудного объекта, выявленного по итогам ГРП 2015–2017 гг.; суммарная оценка его прогнозных ресурсов категории P_1+P_2 отвечает крупному золоторудному объекту. Золоторудные тела на объекте тяготеют к системе сближенных линейных порфиrowых и порфиrowидных тел (тоналитов, плагиогранит-порфиrowов, гранодиорит-порфиrowов C_1Zn), которые прорывают мраморизованные известняки, реже вулканиты и сланцы (D_1p). Золотое оруденение можно отнести к порфиrowовому типу. Золото в рудах представлено самородной свободной формой, пробность его 770–950‰.

Значительная часть докладов посвящалась использованию разных методов и методик при прогнозе, поисках, оценке и разведке месторождений АБЦМ. Была представлена информация по различным аспектам применения геофизических, геохимических, изотопно-геохимических, петрологических, космогеологических методов для решения прогнозных и поисковых задач, предложены новые методические приёмы.

Так, в работе *Н.А.Бакшеева* (АО «СНИИГГиМС») описано массовое определение составов россыпных золотин с разделением полученной совокупности методами кластерного анализа и сравнением полученных групп с золотом эталонных объектов Южного Урала. Этот подход позволяет более качественно оконтуривать погребённые рудные объекты и выбирать рациональный комплекс поисковых методов и критериев с учётом предсказанного рудно-формационного типа источников золота.

В отдельных докладах уделялось внимание геофизическим методам поисков россыпных месторождений. По мнению *В.Ю.Абрамова* (ФГБУ ЦНИГРИ), магниторазведка, электроразведка, малоглубинная сейсморазведка, высокоточная гравиразведка, радиометрия позволят решать ряд за-



дач: установление характера рельефа плотика, прослеживание древних террас и тальвегов, определение мощности рыхлых отложений, расчленение разреза рыхлых отложений и др. Обязательным условием успешной работы является комплексирование методов в целях разбраковки различных аномалий.

В докладах специалистов ИМГРЭ рассмотрены современная практика прогнозно-поисковых геохимических работ, инновационные методы и рациональные технологии получения, обработки и интерпретации геохимических данных. Например, *С.А.Григорьевым* представлена методика геохимического прогноза и поисков на основе фундаментальных законов самоорганизации диссипирующей среды с выявлением структурных признаков эволюции рудо- и ореолообразования на всех уровнях формирования геохимического поля.

На стадии разведки и эксплуатационной разведки месторождений при сложном геологическом строении, несмотря на высокую плотность разведочной сети, часто возникает вопрос о поиске и геометризации скрытых тел. Решению данной проблемы посвящена работа коллектива авторов из ИГЕМ РАН по Северо-Восточному Забайкалью. Ими разработана методика, включающая комплекс методов (структурно-парагенетический анализ, тектонофизическое, стереогеометрическое и компьютерное 3D моделирование), позволяющая моделировать механизм деформаций и его результаты и при сравнении с установленной кар-



тиной распределения жильных тел – прогнозировать новые тела.

В докладе коллектива авторов из ИГМ СО РАН на основе комплекса изотопно-геохронологических исследований в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса обосновано выделение пяти этапов формирования золотого оруденения. Наиболее продуктивный на золото-сульфидное оруденение этап имел место в позднем палеозое (310–275 млн лет назад). Проведено пространственное и временное сопоставление ареалов оруденения с известными магматическими ареалами, позволяющее глубже понимать некоторые аспекты геологического развития и металлогенической эволюции региона.

В докладе *Н.Н.Крука* с соавторами (ФГБУН ИГМ СО РАН, ФГБУН ИГЕМ РАН) приведён обзор новейших активно развивающихся направлений в металлогенических и прогнозных исследованиях с примерами их применения на различных объектах и стадиях работ. Авторами выделены три основных направления: использование современных геохимических, изотопно-геохимических и изотопно-геохронологических методов изучения геологических объектов; использование современных методов обработки и визуализации информации, позволяющих систематизировать большие объёмы разноплановой информации; построение генетических моделей наиболее перспективных типов рудных месторождений с использованием новых современных парадигм и достижений в

области геодинамики, петрологии, термодинамики и других направлений геологии и смежных областей. Показано, что комплексное применение данных методик позволяет решать широчайший спектр задач, встающих перед геологами XXI века.

В докладе *Р.Х.Мансурова* (ФГБУ ЦНИГРИ) подробно рассмотрены Олимпиадинский, Попутнинский и Чиримбинский типы оруденения, для каждого из которых были определены минералогенетические типы руд, условия их локализации, отмечена взаимосвязь с поясами ультрабазитов и базитов. Приведены факторы, влияющие на перспективы выявления крупнообъёмных золото-сульфидных месторождений в углеродисто-карбонатно-терригенных комплексах Енисейского кряжа.

В сообщении *В.Д.Конкина* и др. (ФГБУ ЦНИГРИ) по золоторудным полям фрагмента Байкало-Патомской золоторудной провинции приведены разработанные авторами современные критерии прогнозирования таких рудных полей, сложенных различными структурно-вещественными комплексами. В качестве ведущих критериев прогноза рассматриваются структурные, гидротермально-метасоматические, геохимические, рудно-минералогические. Их использование в разных сочетаниях позволяет уверенно прогнозировать золоторудные поля и рекомендовать их для последующих поисковых работ.

В докладе *В.В.Столяренко* с соавторами (ФГБУ ЦНИГРИ) на основе большого фактического материала показана возможность использования шлихоминералогического метода на ранних стадиях ГРП для надёжной оценки соотношения различных классов золота в изучаемых золоторудных объектах, а при наличии крупного золота рекомендована предварительная обработка проб с выделением крупного металла. Это, по мнению авторов, позволит устранить фактор неоднородности распределения металла и снизить его влияние на достоверность опробования руд.

Н.В.Пачерским (ФГБУ ЦНИГРИ) обоснована возможность корректировки параметров и ориентировки сетей опробования по ВОР в зависимости от степени геологической изученности объекта.

Отдельно следует отметить доклады учёных из КНР, направленных для ознакомления российской общественности с рядом задач, решаемых в настоящее время китайскими геологами. Доклад профессора *Chen Jianguo* (China University of Geosciences) посвящён оценке погрешностей при геологи-

ческом и геофизическом моделировании и прогнозе глубокозалегающих месторождений. В докладе обсуждены основные источники ошибок: погрешности измерений, неточности при обработке результатов, использование различных физико-математических моделей при расчётах и т. д. Даны рекомендации по наиболее точной оценке возникающих погрешностей и выбору оптимального набора геофизических методов в зависимости от параметров объектов и поставленных задач.

Тема математического моделирования продолжена в докладе *Jia Yule* (China University of Geosciences) с соавторами, которые предложили новый подход к обработке геологических материалов – использование современных методов работы с данными большого объёма, например автоматической компьютерной обработки и обучаемых алгоритмов.

Результаты масштабного геохимического картирования территории Южного Китая представлены в докладе профессора *Cheng Zhizhong* (Development and Research Center of China Geological Survey). Он подробно остановился на пространственной приуроченности некоторых геохимических аномалий к определённым типам пород, которые могут служить источником рудного вещества месторождений, локализованных на значительных глубинах.

Заочный доклад профессора *Shouyu Chen* (China University of Geosciences) посвящён металлогеническим характеристикам крупного полиметаллического месторождения Гэцзю с запасами олова ~300 тыс. т. Месторождение, ранее известное как скарновое, доразведано в 2007 г., что позволило открыть новые рудные тела и интенсивно изменённые зоны с высокими концентрациями Sn, Cu, W, Mo, Bi, Pb, Zn, Ag.

Группа авторов из КНР привела результаты палеорекопструкций и геодинамического анализа коллизии на территории современного Китая с выводами по прогнозу оруденения карлинского типа в пределах провинции Гуйчжоу.

В трёх докладах представителей делегации из КНР даны результаты работ на объектах с полиметаллическим оруденением на юге и северо-востоке Китая. Для этих объектов характерно наличие комплексных руд, в которых, кроме свинца и цинка, содержатся медь, вольфрам, марганец, серебро, олово, молибден, бериллий и др.

Во многих докладах, посвящённых применению комплексных моделей месторождений в целях прогноза, поисков и оценки АБЦМ, подчёркивается необходимость создания моделей рудных объектов на геолого-генетической основе для совершенствования технологии прогноза, поисков и оценки месторождений. Одной из главных задач моделирования разноранговых объектов поисков – рудных районов, узлов, полей, поисковых участков (потенциальных месторождений) – является установление факторов рудолокализации. Развитие методов дистанционного зондирования, разработка новых методов и методик исследования вещественного состава, а также эволюция представлений о геологических, тектонических и магматических процессах, в том числе их связь с оруденением, предоставляют возможность создания комплексных моделей объектов с учётом материалов ранее проведённых ГРР. Использование прогнозно-поисковых моделей рудных полей и





месторождений для определения комплекса эффективных методов при поисках и оценке предполагает решение (в числе других) вопроса типизации оруденения, особенно в случае крупных и уникальных объектов, где часто пространственно совмещены разные продуктивные минеральные ассоциации.

В докладе *В.И.Леонтьева* (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет») показано, что именно создание моделей золоторудных объектов на геолого-генетической основе позволило установить эпitherмальную генетическую принадлежность известных Джекондинской и Бирской рудных зон, ранее относимых к эльконскому типу оруденения. Сделан вывод о том, что выявление новых типов оруденения способствует увеличению золоторудного потенциала Южной Якутии.

В докладе *В.Н.Хасанова* (ФГБУ ЦНИГРИ) приведены основные поисковые критерии локализации золотого оруденения, определённые по результатам ГРП на Благодатском рудном поле Мамон-Петропавловского рудного узла Южно-Енисейского района. По мнению автора, эти критерии возможно использовать для выделения участков, перспективных на выявление золоторудной минерализации в пределах остальной части названного рудного узла.

Представляют интерес сообщения, иллюстрирующие опыт и перспективы применения новейших разработок в области поиска, оценки и раз-

ведки месторождений на различных стадиях ГРП. В докладе *Б.И.Беневольского* с соавторами (ФГБУ ЦНИГРИ) предложена упрощённая оценка техногенной россыпи золота в контуре современной лицензии для обеспечения возможности классификации запасов на изученном фрагменте лицензионного участка по категории C_2 .

С.Г.Кряжевым и др. (ФГБУ ЦНИГРИ) представлен комплекс поисковых термобарогеохимических методов, разработанных в результате многолетних исследований эталонных золоторудных месторождений. В его основу положена закономерная связь между уровнем продуктивности (золотоносности) жильно-прожилковых зон и параметрами включений в жильном кварце. Комплекс может применяться на ранних стадиях ГРП для разбраковки геохимических аномалий и оперативной корректировки направления поисков. Поскольку кварц – главный минерал золотых руд и в отличие от большинства других минералов-индикаторов оруденения сохраняет свои типоморфные характеристики в зоне гипергенеза и в россыпях, термобарогеохимические данные могут использоваться для изучения связей между россыпями и их коренными источниками.

Типоморфные свойства минералов служат основой для шлихоминералогического метода поисков коренных месторождений золота и алмазов. Доклад *Г.К.Хачатрян* (ФГБУ ЦНИГРИ) посвящён внедрению метода ИК-Фурье спектроскопии – экс-

пресс-метода идентификации минералов и их типоморфных характеристик, позволяющего повысить результативность поисковых работ. По мнению автора, некоторые типоморфные свойства минералов могут использоваться для выявления скрытой минералогической зональности рудных полей и месторождений, а также служить критериями при шлихоминералогических поисках коренных проявлений золота.

Особую роль при проведении всех стадий ГРП играют методы дистанционного зондирования. В докладе *Е.М.Шемякиной* (ФГБОУ ВО МГУ им. М.В.Ломоносова) приведены результаты обработки многозональной космической съёмки, гравиметрических и магнитометрических данных по Мончегорскому району Мурманской области. На основании изучения геолого-структурной позиции эталонных платино-медно-никелевых месторождений и характеристик их отображения на космоснимках и в физических полях на территории Фёдорово-Панских и Сальных тундр выделены четыре перспективных участка для поисков месторождений платиновой группы.

Большой интерес участников конференции вызвал доклад *В.Ф.Рогизного* и др. (ФГБУ ЦНИГРИ), в котором сопоставлены два варианта разведки жильного сереборудного объекта в Республике Саха (Якутия) с использованием поверхностных (буровых) и подземных (горно-буровых со штольнями) выработок. Оба варианта направлены на достижение степени изученности объекта до запасов категории В+С₁. Для каждого варианта охарактеризованы объёмы и сроки работ, необходимые оборудование, материалы и персонал. Выполнены расчёты технико-экономических показателей с определением стоимостей геологоразведочных работ, необходимого оборудования и разведки 1 т запасов. Сделан вывод о более высокой эффективности горно-бурового (со штольнями) варианта разведки.

В докладах *В.В.Перегудова* (ТОО «КРИЦ-НТК») и *М.Р.Шаутинова* (НАО КазНТУ им. К.И.Сатпаева) охарактеризована современная технология отбора, обработки и минералогического анализа проб – Carla-технология, используемая при поисках и разведке месторождений золота. Технология при исследовании шлиховых проб, протолочек и видов проб обеспечивает высокое извлечение золота и рудных минералов-спутников в гравииоконцентрат и позволяет рассчитывать технологические

параметры. Практическое применение Carla-технологии позволяет существенно повысить эффективность поисковых и разведочных работ на золоте.

Группа докладов посвящена результатам опытно-методических работ, выполненных специалистами ЦНИГРИ в различных регионах РФ с применением шлихоминералогического и ионно-сорбционного методов для выделения перспективных рудоносных зон с золоторудной, медно-порфировой и свинцово-цинковой минерализацией, перекрытых более молодыми образованиями (в том числе элювиально-делювиальными мощностью >1,0 м). Раскрывается технология применения ме-



А.И.Иванов, Н.П.Похиленко



А.В.Толстов



Ю.К.Голубев

тодов и положительно оценивается возможность их использования для решения поисковых задач.

В докладе Ю.С.Савчук с соавторами (ФГБУН ИГЕМ РАН) на примере каледонско-герцинского Южно-Тянь-Шаньского и киммерийского Верхояно-Колымского складчатых поясов рассмотрены этапы их развития (субдукционный и коллизионно-трансгрессивный) и на основании изучения контролирующего золотое оруденение структур проведена геодинамическая типизация месторождений золота поясов. Авторами выделены месторождения субдукционной стадии (синшарьяжные) и контролируемые коллизионными структурами. Кратко охарактеризованы золоторудные месторождения обеих упомянутых стадий и сделан вывод о том, что геодинамические условия формирования месторождений существенно влияют на морфологию и основные параметрические характеристики рудных залежей.

В ряде докладов на конкретных примерах охарактеризовано сегодняшнее состояние работ по оценке и апробации прогнозных ресурсов АБЦМ, перспективам выполнения Программы ВИПР МСБ алмазов, благородных и цветных металлов, оценке перспектив оруденения благородных и цветных металлов некоторых развивающихся регионов России, а также зарубежных стран.

На конференции представлено большое количество докладов, посвящённых колчеданно-полиметаллическим месторождениям. В докладах сотрудников ЦНИГРИ изложены прогнозно-минерогенические построения в пределах основных минерогенических зон, перспективных по развитию минерально-сырьевой базы свинца и цинка, основанные на усовершенствованных прогнозно-поисковых моделях месторождений, комплексном

анализе и интерпретации имеющейся геологической, геофизической, геохимической информации, в целях выделения и обоснования площадей проведения прогнозно-минерогенических и поисковых работ. В двух докладах приведены результаты изучения вещественного состава Рудно-Алтайской минерогенической зоны. В ряде докладов освещены геохимические (ионно-сорбционный метод литохимических поисков) и геофизические (магнитные аномалии) методы исследования при поисках колчеданно-полиметаллических месторождений.

На Секции «Состояние и перспективы прогнозирования и поисков алмазных месторождений» представлено 35 докладов, в той или иной степени затрагивающих проблемы воспроизводства МСБ алмазов в двух алмазодобывающих регионах России – Якутии и Архангельской области. Рассматривались перспективы отдельных площадей на обнаружение месторождений алмазов, методики поисков и прогнозирования месторождений алмазов, особенности временной локализации проявлений алмазоносного магматизма в истории развития Земли. Отмечалось, что к настоящему времени упала эффективность ГРП на алмазы. Данное положение объясняется, с одной стороны, резким сокращением площадей под постановку поисковых работ, с другой – осуществлением поисков в районах со сложным геологическим строением, где традиционные подходы к ведению поисков не показывают должной отдачи.

По итогам заслушанных докладов, а также последующей дискуссии были констатированы пути решения основной задачи алмазопроисковых работ – воспроизводства МСБ алмазов:

- необходимость переоценки прогнозных ресурсов категории P_3 на основании создания прогнозных карт с учётом современных представлений о локализации алмазоперспективных площадей;
- проведение опережающих геолого-геофизических исследований в рамках прогнозно-минерогенических работ, нацеленных на локализацию прогнозируемых кимберлитовых полей, для дальнейшей постановки поисковых работ;
- разработка новых поисковых методов, а также прогнозно-поисковых комплексов с учётом геолого-ландшафтных обстановок для повышения эффективности ГРП на алмазы.



УРАНОНОСНОСТЬ ЗОН СТРУКТУРНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ НЕСОГЛАСИЙ МЕЖДУ ПЛАТФОРМЕННЫМИ И МЕТАМОРФИЧЕСКИМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ ИДЮМО-ХАЙКАНСКОГО КУПОЛА АЛДАНСКОГО ЩИТА

Рассмотрены основные критерии локализации урановых проявлений по периферии Идюмо-Хайканского купола палеопротерозойских метаморфических пород Алдано-Станового щита Сибирской платформы в сопоставлении с урановыми месторождениями провинции Атабаска Канады. Как и в Канаде, они локализуются в зонах структурно-стратиграфического несогласия в мезопротерозойских осадочных образованиях и графитосодержащих гнейсах фундамента. Рудообразованию предшествовал интенсивный процесс калиевого метасоматоза в зоне структурно-стратиграфического несогласия, затрагивающего породы осадочного чехла и метаморфического фундамента, развитого по периферии Идюмо-Хайканского купола. Рудные зоны сопровождаются аргиллизацией, хлоритизацией и карбонатизацией вмещающих пород и интенсивными геохимическими ореолами Mo, Ag, As, Ni, Co, V, Pb, Zn. По этим признакам они сходны с месторождениями несогласия провинции Атабаска. Выделены Толукская, Беглянская и Аимо-Токинская рудоцентрирующие зоны, контролирующие все известные урановые проявления. Возраст урановой минерализации (1341 ± 17) – (1142 ± 28) млн лет.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Идюмо-Хайканский купол, палеопротерозой, мезопротерозой, зоны структурно-стратиграфического несогласия, калиевый метасоматоз, ураноносность, аргиллизация, хлоритизация, карбонатизация, космическая радиолокационная съёмка.

В конце XX столетия в Саскачеванской провинции Канады были открыты урановые месторождения несогласия, содержащие подавляющую часть мировых запасов высококачественных урановых руд. Известные месторождения этого типа размещаются в мезопротерозойских внутрикратонных бассейнах Атабаска и Телон площадью более 100 000 км² [9–11]. Обычно месторождения представляют собой урановые концентрации в мезопротерозойских песчаниках в зоне их несогласного контакта с породами палеопротерозойского метаморфического фундамента – пелитовыми, графитовыми и безграфитовыми глинозёмистыми гнейсами с прослоями гранат-кордиерит-силлиманитовых гнейсов, кальцифиров, магнетитовых сланцев. Магматические образования представлены преимущественно телами гранитов и жилами пегматитов. По породам фундамента, как правило, развивается кора выветривания мощностью до 40 м.

Несогласие, пересекающие его разломы и зоны трещиноватости – основной структурный контроль оруденения в региональном и локальном масштабах. Разрывные и трещинные системы

Горошко Михаил Васильевич

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
mikhail.goroshko@yandex.ru

Гильманова Гульшат Забировна

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

ФГБУН Институт Тектоники и Геофизики
им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН,
г. Хабаровск

преимущественно проходят вдоль простирания слоёв гнейсов и ориентированы в северо-восточном или широтном направлении. Крупные месторождения несогласия окружены ореолом гидротермальных изменений [4], распространяющихся до 200 м вверх по песчаникам и на 100 м вниз в породы фундамента. Ореол изменений в песчаниках характеризуется слабым повышением фоновых содержаний урана и изменением состава глинистого цемента от иллит-каолинового на полностью иллитовый. По породам фундамента развиваются гидрослюдизация и хлоритизация (магнезиальный хлорит). Месторождения несогласия располагаются в обширных минимумах магнитного поля по геофизическим данным, зонах пониженных сопротивлений по электроразведочным данным и в минимумах гравитационного поля.

Наиболее перспективна на поиски месторождений типа несогласия на Дальнем Востоке России по предварительному анализу – внутрикратонная Учуро-Майская впадина в юго-восточной части Сибирской платформы, площадь которой составляет ~200 000 км².

Целью статьи является обоснование перспектив территории на поиски богатых, высокорентабельных урановых месторождений типа несогласия, аналогичных канадским. Приведены преимущественно результаты исследований, выполненных авторами в южной части Учуро-Майской впадины, при работе по данной проблеме в Таёжном производственном объединении «Урангеологоразведка» и в ИТиГ ДВО РАН.

В региональном аномальном магнитном поле Идюмо-Хайканский купол расположен в пределах северо-западной части Батомга-Майского минимума. В региональном аномальном поле силы тяжести территория купола тяготеет к северной части Тырканского минимума [14]. При более детальных среднemasштабных исследованиях купол и прилегающие к нему территории осадочного чехла характеризуются знакопеременным магнитным полем, что обусловлено различным составом пород купола как выходящего на земную поверхность, так и прослеживаемого под осадками. В аномальном гравитационном поле проявляются более детальные элементы – локальные отрицательные аномалии и зоны линейных градиентов.

Купол сложен метаморфическими породами фёдоровского и тимптоно-желтулинского струк-

турно-вещественных комплексов. Он со всех сторон окружён породами мезопротерозойского осадочного чехла и только на юго-востоке по субширотному разлому граничит с раннеархейскими метаморфитами Тырканского блока (рис. 1). В состав фёдоровского вещественно-структурного комплекса входят двупироксен-роговообманковые, ди-

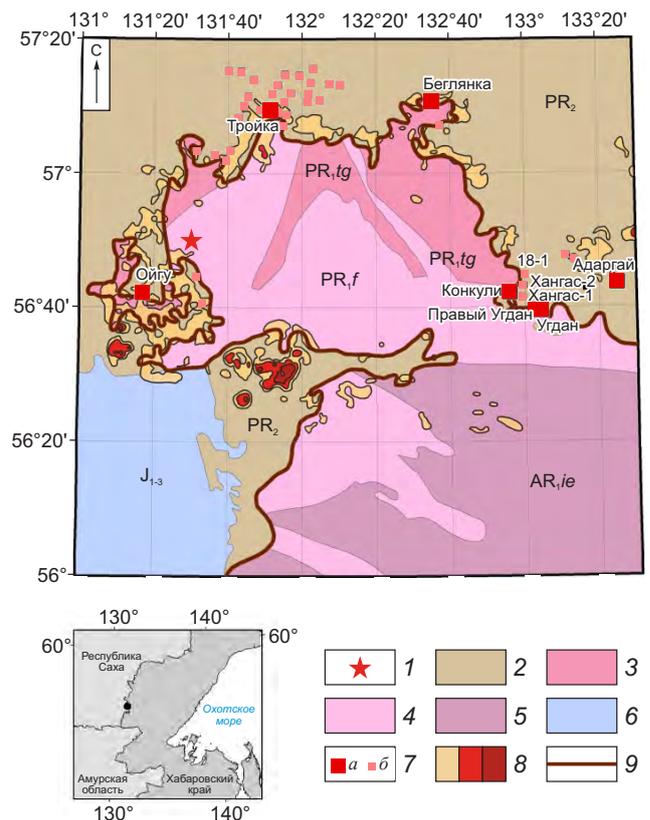


Рис. 1. ПОЛОЖЕНИЕ УРАНОВОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В ЗОНЕ СТРУКТУРНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО НЕСОГЛАСИЯ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ И НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ ИДЮМО-ХАЙКАНСКОГО КУПОЛА:

1 – Арбарастахская интрузия ультраосновных щелочных пород; 2 – мезопротерозойский платформенный чехол; палеопротерозойские метаморфические образования: 3 – тимптоно-желтулинский структурно-вещественный комплекс, 4 – фёдоровский структурно-вещественный комплекс; 5 – раннеархейский иенгский структурно-вещественный комплекс; 6 – юрские песчаники, алевролиты с пластами каменного угля; 7 – рудопроявления (а) и радиоактивные аномалии (б) урана в зонах структурно-стратиграфического несогласия; 8 – аномальные ореолы привноса калия по данным аэрогеофизических исследований; 9 – граница зоны структурно-стратиграфического несогласия

опсидовые, биотит-роговообманковые, кварц-диопсид-плагноклазовые, биотит-гранатовые гнейсы с прослоями кальцифиров, мраморов, графитовых и биотит-графит-гранатовых гнейсов. Тимптоно-желтулинский структурно-вещественный комплекс представлен биотит-гиперстеновыми, двупироксеновыми, гранатовыми, силлиманитовыми гнейсами с прослоями мраморов, графитовых гнейсов и сланцев.

По данным А.П.Смелова с соавторами [13], возраст пироксеновых, двупироксеновых, роговообманково-пироксеновых гнейсов и сланцев, гранатовых и силлиманитовых гнейсов, амфиболитов, пириболитов и мраморов, нередко графитосодержащих, Суннагинского и Идюмо-Хайканского блоков (террейнов) раннепротерозойский, а степень их метаморфизма отвечает условиям, переходным от биотит-силлиманит-ортоклазовой к гранат-кордиерит-ортоклазовой субфации гранулитовой фации повышенных давлений ($T=780-820^{\circ}$, $P=7$ Кбар). Sm-Nd датировки плагногнейсов фёдоровской серии 2254–2229 млн лет, гнейсов холболохской свиты этой же серии 2637–2137 млн лет [13].

Метаморфиты Идюмо-Хайканского купола прорваны мелкими телами аляскитовых лейкократовых гранитов нимнырского комплекса и гнейсовидных гранитов (см. рис. 1). Между породами фундамента и платформенным чехлом наблюдается красноцветная кора выветривания мощностью от первых до первых десятков метров [2, 3, 5, 7, 12]. Разрез мезопротерозойского платформенного чехла на описываемой площади представлен породами конкулинской, адаргайской, гонамской, омахтинской и эннинской свит.

Непосредственно на корях выветривания гнейсов фундамента залегают породы конкулинской свиты – темно-красные, сиреневые, розовые грубослоистые полевошпат-кварцевые и аркозовые песчаники, содержащие «плавающие» гальки и прослои гравелитов, алевролитов, аргиллитов, кварцевых песчаников. В основании свиты залегают базальные конгломераты, реже гравелиты и песчаники. Мощность свиты колеблется от 80–100, максимально до 500 м [8]. Породы свиты геохимически специализированы ($K_n=2,5-5,0$) на К, As и Be.

Адаргайская свита объединяет толщу сероцветных карбонатно-терригенных пород, которая согласно залегает на красноцветных конкулинских песчаниках и с размывом или азимутальным не-

согласием перекрывается конгломератами и песчаниками гонамской свиты. В её составе преобладают переслаивающиеся алевропесчаники, алевролиты, известковистые песчаники, строматолитовые и оолитовые песчаные доломиты. Реже встречаются известняки, литокристаллокластические туфы и косослоистые песчаники. Отмечаются мелкие линзовидные включения фосфатоносных и битуминозных пород, превращённых последующим метаморфизмом в породы карбонат-графит-калишпатового состава с гидрослюдами, каолином, длинночешуйчатым мусковитом. Мощность свиты 20–180 м. Карбонатно-терригенные породы свиты геохимически специализированы на As, K, Ag, Ba, Nb, Mo, Cr и слабо ($K_n=1,5-2,5$) – на Sc, Zr, Pb, V, Y, Co.

Гонамская свита расчленена на три пачки. Нижняя пачка (до 200 м) сложена красноцветными полевошпат-кварцевыми песчаниками с маломощными линзами конгломератов. Разрез средней пачки (до 300 м) начинается тонко переслаивающимися алевролитами, алевропесчаниками и мелкозернистыми песчаниками. Выше по разрезу они сменяются известковистыми песчаниками, мергелями, строматолитовыми доломитами с прослоями мелкозернистых песчаников и алевролитов. Завершается разрез пачкой песчаников, переслаивающимися с алевропесчаниками и известковистыми кварц-полевошпатовыми песчаниками с прослоями с линзами доломитов (50–200 м). Общая мощность свиты 360–700 м [8]. Породы свиты геохимически специализированы на As и Co и слабо – на La, Ba, Be, V, Cr, Y.

Омахтинская свита согласно залегает на породах гонамской. Её нижняя граница проводится по подошве горизонта доломитов и известковистых песчаников. Сложена кварцевыми, реже кварц-полевошпатовыми и известковистыми песчаниками, переслаивающимися со строматолитовыми, оолитовыми и массивными доломитами. Мощность свиты 250–400 м. Породы свиты геохимически интенсивно специализированы на Co и La, специализированы на Ba, Mn, Mo, Cu и слабо – на Ga, Sc, Ag, Yb, V, Cr.

Эннинская свита распространена незначительно. Она согласно, иногда с признаками размыва, залегает на отложениях омахтинской свиты и сложена серыми, красными, зеленовато-серыми кварцевыми песчаниками. В низах и верхах разреза постоянно присутствуют слои доломитов. Мощность

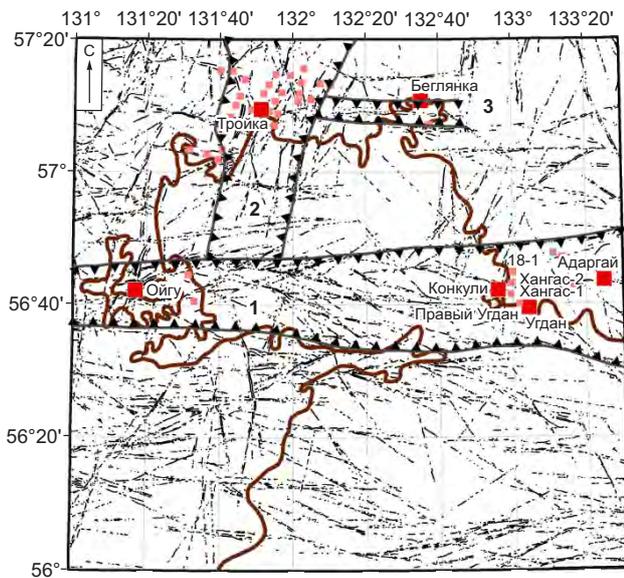


Рис. 2. ПОЛОЖЕНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПОЛЕ ЛИНЕАМЕНТНЫХ СТРУКТУР ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ВЫЧИСЛЕННЫХ ПО ПРОГРАММЕ WINLESSA [15]:

зоны интенсивного развития линейных линеаментов: 1 – Толукская, 2 – Аимо-Токинская, 3 – Беглянская; остальные усл. обозн. см. рис. 1

свиты до 160 м. Свита интенсивно специализирована на Mo, специализирована на La и слабо – на As, Co, Yb, Zn.

В южной части Учуро-Майской впадины установлены мезопротерозойские дайки долеритов, трахибазальтов, щелочных базальтоидов, интрузирующие карбонатно-терригенные и осадочные толщи учурской и уянской серий. Их возраст 1166 и 1486 млн лет [1].

Из сопоставления стратиграфических разрезов впадин Атабаска и Учуро-Майской можно сделать вывод о высокой степени сходства их вещественных и возрастных характеристик, что является предпосылкой для формирования на рассматриваемой территории подобного типа месторождений урана (таблица).

Роль разломной тектоники в контроле урановых руд типа несогласия. Анализ развития линеаментных структур (разноранговых разломов) (рис. 2), полученных из цифровых моделей рельефа на основе космических радиолокационных снимков по программе Winlessa [15], показывает, что в Идюмо-Хайканском районе разви-

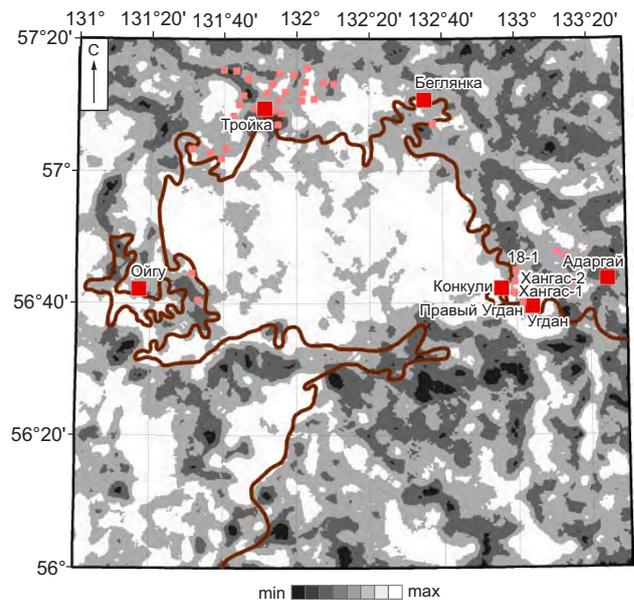


Рис. 3. ПОЛОЖЕНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПОЛЕ ПЛОТНОСТИ ВЫЧИСЛЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛИНЕАМЕНТОВ (степень деструкции приповерхностной части земной коры), ПО ПРОГРАММЕ WINLESSA [15]:

усл. обозн. см. рис. 1

ты разрывные структуры: субширотные, северо-западные, северо-восточные и субмеридиональные (рис. 3; см. рис. 2). Урановая минерализация развита не равномерно по площади, а концентрируется в зонах сгущения линеаментов определённого направления: Толукской и Беглянской субширотных и Аимо-Токинской субмеридиональной. Крупнейшая из них – Толукская субширотная зона разломов шириной 20–30 км, протягивающаяся через всю площадь бассейна р. Толук в бассейн р. Уян. Эта система разломов носит сбросо-сдвиговый характер, причём движение по зоне происходило с запада на восток. Зоны разломов северо-западного простирания вблизи зоны Толукских разломов постепенно подворачиваются в юго-восточном направлении, плавно меняя своё простирание на субширотное и широтное, что говорит о важной роли субширотных разломов в тектонике района. Толукской зоной контролируется подавляющее большинство урановых рудопоявлений района.

Аимо-Токинская система разломов выделена нами впервые. Зона шириной ~20 км прослежи-

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАЗРЕЗОВ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКОГО ПЛАТФОРМЕННОГО ЧЕХЛА УЧУРО-МАЙСКОЙ ВПАДИНЫ И ВПАДИНЫ АТАБАСКА

Впадина Атабаска		Учуро-Майская впадина					
Формации	Мощность, м	Основные типы пород	Возраст, млн лет	Стратиграфические подразделения	Мощность, м	Основные типы пород	Возраст, млн лет
Дуглас, Карвел	100	Пелитовые песчаники, оолитовые доломиты и известняки, алевролиты, аргиллиты	1220–1292 К-Аг	Омахтинская свита	340–400	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, доломиты	1360 К-Аг
Тума-Лейк	100	Грубозернистые песчаники				Песчаники, гравелиты, конгломераты, редкие прослой алевролитов, толеитовых базальтов, доломитов и туфов кислого состава	1450 К-Аг
Оверсайнд	90–200	Песчаники с прослоями алевролитов		Гонамская свита	360–700		
Локер-Лейк	75–270	Галечные песчаники					
Вульверин-Пойнт	200–500	Туфогенные тонкозернистые песчаники, алевролиты, фосфатонаосные породы	1513–1450 К-Аг	Уаянская серия Адаргайская свита	80–180	Песчаники, алевролиты, доломиты, редко туфогенные среднезернистые песчаники и фосфатонаосные породы	
Маниту-Фоллас	140–1000	Конгломераты, гравелиты, крупно- и среднезернистые песчаники, верху прослой алевролитов				Базальные конгломераты, гравелиты, крупно- и среднезернистые кварцевые и олигомиктовые песчаники, верху прослой алевролитов	Коры выветривания по породам фундамента 1670±40 К-Аг
Файр-Пойнт	100–150	Базальные конгломераты, гравелиты, грубо- и крупнозернистые песчаники		Конкулинская свита	30–950		

вадается от Толукской системы разломов в бассейн р. Аим на 60–80 км. Представлена сближенными зонами катаклаза, трещиноватости и брекчирования, которые часто контролируют по несколько урановых проявлений и ореолов.

Беглянская система разломов субширотного простирания шириной 4–5 км прослеживается на 30–35 км от Аимо-Токинской системы разломов в бассейн р. Беглянка. С востока она ограничена северо-западным разломом, в узле сочленения с которым локализуется урановое рудопроявление Беглянка.

На рис. 3 показана связь ураноносности района с ореолами макротрещиноватости по данным обработки цифровых моделей рельефа по программе Winlessa [15]. Палеопротерозойский фундамент Идюмо-Хайканского купола обладает максимальной трещиноватостью, что может свидетельствовать о его высокой проницаемости для глубинных рудоносных растворов и их транспортировке в верхние горизонты земной коры. Рудные поля урановых проявлений тяготеют к периферическим частям центрального ореола максимальной трещиноватости и в большинстве случаев им свойственны локальные ореолы максимальной или повышенной трещиноватости.

Метасоматиты и урановое оруденение. По результатам комплексных крупномасштабных аэрогеофизических съёмок, проведённых сотрудниками ПГО «Таёжгеология» под руководством М.В. Горюшко [6] в обрамлении Идюмо-Хайканского купола метаморфических образований с мезопротерозойским платформенным чехлом, выявлена уникальная по интенсивности и площади распространения калиевая аномалия (см. рис. 1) протяжённостью >220 км при средней ширине 10–14 км и до 40 км в раздувах. Протягиваясь по периферии Идюмо-Хайканского купола, аномалия накладывается как на нижние горизонты платформенного чехла, так и на прилегающий фундамент. Максимальное содержание К в калишпатизированных песчаниках 12%, в калишпатизированных гнейсах 6%, в калишпатизированных корах выветривания 16% на фоне 1–2,5% в неизменённых породах [6]. Возраст калишпатизации протерозойский. Возраст по иллиту наложенных на калишпатиты кварц-гидрослюдистых и кварц-каолин-гидрослюдистых метасоматитов составляет $(1324 \pm 52) - (1185 \pm 35)$ млн лет [6]. В ореоле калиевого метасоматоза локализуются практически все проявления урана, золота, вана-

дия, бария и других химических элементов, выявленные в районе в зонах структурно-стратиграфических несогласий (СНН).

На калишпатизированные породы накладываются более поздние гидротермально-метасоматические преобразования, сопровождающие урановую минерализацию: аргиллизация, карбонатизация, хлоритизация. Характер метасоматитов и рудная минерализация в фундаменте и осадочном чехле в некоторых чертах различаются. Выделяются три обстановки локализации уранового оруденения: в породах кристаллического фундамента в зоне СНН; в песчаниках платформенного чехла в зоне СНН; в породах платформенного чехла на значительном удалении от зоны СНН.

В кристаллическом фундаменте наиболее интенсивно аргиллизация проявлена вдоль зоны субширотного Толукского разлома в районе *рудопроявления Конкули*, локализованного в непосредственной близости от основания эрозионного останца пород конкулинской свиты. В полосе шириной до нескольких десятков метров на рудопроявлении исходные породы почти полностью замещены глинисто-гидрослюдистым агрегатом. Аргиллизация сопровождалась привнесением U, Ni, Co, V, Mo, Pb, Zn, Ag, As, Sc, Ba.

Карбонатизация и хлоритизация проявлены непосредственно в рудной зоне. За её пределами в кальцитовых мраморах во внешней зоне аргиллизитов отмечена доломитизация (привнос магния до 14% на фоне 0,65% в неизменённых породах) [5].

Урановая и сульфидная минерализация максимально развилась в брекчиях центральной части зоны аргиллизитовых изменений. Брекчии интенсивно гематитизированы. В них установлены кварц, хром- и ванадийсодержащие слюды (роскоэлит, фуксит), смешанослойные силикаты (монтмориллонит-гидрослюды с 85% гидрослюдистых слоёв) и комплекс первичных и вторичных рудных минералов – гидроксиды урана, карнотит, метаторбернит, цейнерит, метацейнерит, сфалерит, халькопирит, пирит, герсдорфит, вульфенит, халькозин, ковеллин, бассанит. Среднее содержание U составляет 0,186% на мощность 1,7 м, в том числе 0,78% на мощность 0,5 м. Содержание V 3,09% на мощность 1,7 м.

В дресвяниках и конгломератах платформенного чехла, перекрывающих рудоносный интервал Толукского разлома, интенсивность оруденения падает. Содержание U в гидрослюдизирован-

ных гравелитах не превышает 0,01%, V 0,6%, Au 0,05 г/т на мощность 0,5 м.

Рудопроявление Угдан приурочено к зоне северо-западного разлома, к контакту графитосодержащих гранат-биотитовых гнейсов с песчаниками конкулинской свиты. Горизонтальный контакт песчаников с гнейсами осложнён малоамплитудными сбросами. Максимальное развитие оруденения наблюдалось в зоне интенсивной трещиноватости, катаклаза и брекчирования гнейсов. Мощность рудоносной зоны ~36 м. Гнейсы в рудной зоне интенсивно гидрослюдизированы и гематитизированы. Содержание U до 0,056% на мощность 2,4 м, в том числе 0,1% на мощность 0,5 м. Урановая минерализация представлена сабугалитом. Факторным анализом определена тесная связь U с V, Mo, Pb, As, Zn.

Проявление минерализации Хангас-2 локализовано в интенсивно аргиллизированных и превращённых в глины корях выветривания фундамента. Содержание U 0,012% на мощность 6 м. В минералогических пробах из глин присутствуют гидроксиды железа, горсейксит, пирит, барит, анатаз, малахит. Акцессорные минералы: оливин, гранат, циркон, рутил, турмалин, монацит. Аномальные (0,01–0,05%) концентрации U отмечаются в агрегатах тонкозернистого анатаза и глинистой фракции породы.

В песчаниках зоны ССН обнаружены урановые проявления Правоугданское, Хангас-1, Беглянка, Ойгу. Петрографическими исследованиями установлена следующая последовательность метасоматических изменений пород рудных интервалов: альбитизация, окварцевание, калишпатизация (адуляризация), гидрослюдизация, карбонатизация, хлоритизация.

Правоугданское проявление урана (см. рис. 2) расположено в 1,25 км западнее рудопроявления Угдан. Приурочено к базальным гравелитам конкулинской свиты, залегающим на графит-биотитовых гнейсах. Здесь вскрыта тектоническая зона северо-восточного простирания, сопровождаемая интенсивной аргиллизацией пород платформенного чехла с образованием пластичных глин мощностью 25 м. Рудный интервал находится в центральной части интенсивно гематитизированных пород. Содержание U в зоне до 0,025%, As до 0,05%, Zr 0,1–0,5%, Ag 0,2–0,3 г/т, Au 0,04–0,3 г/т. В целом набор элементов характерен для месторождений типа несогласия.

Проявление Хангас-1 приурочено к узлу сочленения субширотного разлома с разрывным нарушением северо-западного простирания. Гравелиты и песчаники конкулинской свиты в зоне северо-западного дизъюнктива интенсивно аргиллизированы, вплоть до полного замещения глинистыми минералами цемента породы и обломочных зёрен полевых шпатов. По многочисленным трещинам они пронизаны гидроксидами железа. Содержание U в зоне достигает 0,0122%. Минералогическим анализом выявлены горсейксит, гидромусковит, пирит, халькопирит, гидроксиды железа, барит. Акцессорные минералы: турмалин, циркон, анатаз, монацит, рутил. Аномальные содержания U отмечены в горсейксите и анатазе, Th – в рутиле. Кроме U, в аргиллизитах с горсейкситом присутствуют (%) Zr (1), Cu (0,2), Pb (0,1), Bi (0,01), Zn (0,15), Be (0,01), Cs (0,05), Y (0,02), P (30), Sr (0,3), Ba (20), B (0,4), Ag (1 г/т). Повышенные содержания (%) Mn (0,3), Ni (0,007), Co (0,001), W (0,002), Cu (0,07), Pb (0,03), Ag (0,0004) определены в гидроксидах железа.

В бассейнах нижних течений рек Гивун и Беглянка на правом берегу р. Учур выявлен литогеохимический ореол урана с содержаниями до 0,014% (рудопроявление Беглянка). Ореол вытягивается вдоль северо-западного разлома, выполненного тектоническими брекчиями, которые на протяжении 1200 м окварцованы и сульфидизированы. В породах фундамента и платформенного чехла вдоль разлома проявлены многостадийные интенсивные гидротермально-метасоматические изменения: хлоритизация, карбонатизация, аргиллизация. Завершающая стадия гидротермальных изменений выразилась в образовании хлоритовых, хлорит-карбонатных, адуляровых, кварцевых, кварц-адуляровых, карбонат-кварц-адуляровых, гидросерицит-кварц-карбонатных, серицит-кварцевых, хлорит-серицитовых, кварц-адуляр-пиритовых и карбонатных жил и прожилков. Широко развита баритизация, захватывающая породы фундамента, коры выветривания и базальные слои мезопротерозойского чехла. Из рудных минералов в зоне нарушения, помимо тонкодисперсного настурана, зафиксированы вульфенит и халькопирит. K-Ar возраст гидротермально изменённых пород по иллиту 1324 ± 52 млн лет.

Рудопроявление Ойгу (см. рис. 1) расположено на водоразделе ручьёв Улахан-Комкуй и Правый Перевальный, правых притоков р. Алгома. Площадь участка рудопроявления сложена гонамскими по-

левошпат-кварцевыми и кварцевыми песчаниками с маломощными горизонтами известковистых песчаников. В подошве гонамской свиты залегают обнажающиеся в эрозионных врезках палеопротерозойские графитсодержащие гнейсы. Между кристаллическим фундаментом и платформенным чехлом наблюдаются красноцветные коры выветривания незначительной мощности. Рудопроявление локализуется в узле пересечения субширотных и субмеридиональных разломов, контролирующем ореол интенсивной аргиллизаци, баритизации, гематитизации, лимонитизации, прожилковой карбонатизации и литогеохимический ореол рассеяния урана размером 320×280 м. В карбонатных прожилках установлены включения почковидных агрегатов атраксолита, редкие кристаллы сфалерита. Урановое оруденение локализуется в зоне интенсивной трещиноватости и прожилковой карбонатизации. Содержание U 0,012% на мощность 6,95 м. Оруденение сопровождается привнесом Ni, Co, V, Mo, Cu, As, Pb, Zn. В породах платформенного чехла выше зоны ССН отмечены рудопроявления урана Адаргайское, Угдан, Тройка, аэроаномалия 18-1, ряд проявлений минерализации и радиоактивные аномалии в поле распространения пород учурской серии на правом берегу р. Учур, в нижнем течении рек Онне, Алгома, Идюм [5, 12].

На *Адаргайском рудопроявлении* в зоне контакта конкулинской и адаргайской свит в полосе шириной 100–180 м прослеживаются мощные швы интенсивно метасоматически изменённых дезинтегрированных, рассланцованных и брекчированных пород с гётитовыми, вернадитовыми, баритовыми, сульфидно-кварцевыми жилами и прожилками. Зона главного, изученного бурением, тектонического нарушения в подошве адаргайской свиты имеет северо-западное простирание и падение в северо-восточном направлении под углом 3–7°. Вмещающие алевропесчаники и олигомиктовые песчаники со стороны лежащего бока нарушения интенсивно аргиллизированы и сульфидизированы [5, 12]. В аргиллизированных породах присутствуют иллит, монтмориллонит, альбит, парагонит, бариевый ортоклаз, галлуазит, графит, турмалин, углеродистое вещество. Висячем боку вдоль зон трещиноватости северо-восточного и субширотного простирания наблюдаются структуры растворения и обрушения пород с формированием грубых брекчий, сцементированных баритом, кварцем, карбонатами. В лежащем боку тек-

тонического нарушения в верхней части конкулинской свиты на мощность 33–45 м в самом тектоническом нарушении и его висячем боку установлены аномальные содержания (%) U (0,034), Pb (0,15), Cu (0,2), Zn (0,2), Mo (0,07), Ni (0,03), Co (0,3), Ag (0,004), As (0,25), Mn (>1), P (>1), Au (0,3 г/т). Рудная минерализация представлена настураном, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, халькозином, галенином, блёклой рудой, герсдорфитом, литиофоритом, атакамитом, малахитом, брошантитом, азурином, хризокolloй, отенитом, карнотитом. Марганцевые минералы: вернадит, псиломелан, браунит. Минералы фосфора: апатит, фторапатит, шренгит. Молибден в аномальных концентрациях установлен в гётите, гидрогётите, лимоните, иногда в пирите. Самостоятельные минералы Ag и Mo не обнаружены. По результатам минералогических анализов повышенные содержания Ag отмечаются в блёклых рудах, псиломелане, вернадите, гётите, лимоните, пирите, галлуазите. Самородное Au установлено в пробах из керна скважин, отобранных из зоны пологого тектонического нарушения на глубине 12–14 м.

Литогеохимическим опробованием коренных и элювиально-делювиальных отложений выявлен обширный комплексный геохимический ореол площадью до 32 км² [5], основную роль в котором играют U, Ag, Mo, Ni. Ореолы охватывают узлы пересечения крутых и пологих тектонических нарушений субмеридионального, субширотного и северо-восточного простираний в бассейнах рек Муналы и Уян [5]. Размер ореолов до 19×6 км. Масштабы привноса рудных элементов в ореолы Адаргайского рудного узла огромны. Даже по самым скромным подсчётам в них привнесено не менее 110 тыс. т U, 120 тыс. т Mo, 8 тыс. т Ag. Основная часть геохимических ореолов приурочена к тектонически нарушенному контакту конкулинской и адаргайской свит и контролируется полями интенсивных метасоматических изменений пород. При ярко выраженных процессах калишпатизации в породах на порядок возрастают концентрации Pb, Zn, Ag, Cu. В ореолах аргиллизаци (гидрослюдизации), карбонатизации и хлоритизации песчаников наблюдается чёткий привнос U, Ag, Au, Pb, Mo, As, Mn, Co, Ni.

Аэроаномалия 18-1 находится в междуречье верхнего течения р. Верхний Конкули – руч. Одинокий в тектоническом контакте пород адаргайской и конкулинской свит мезопротерозоя, в узле

сочленения разломов северо-западного и субмеридионального простираний. На участке аномалии выявлены ореол аномальной радиоактивности интенсивностью >30 мкР/ч на фоне 12–15 мкР/ч изометрической формы размером 450×300 м и ореол рассеяния урана, вытянутый в меридиональном направлении на 800 м при ширине до 300 м. Аномальная радиоактивность сопровождается ореолом интенсивной аргиллизации вмещающих пород, в общих чертах совпадающим с ореолом рассеяния урана. Кроме того, отмечается зона прожилковой баритизации, протягивающаяся в субмеридиональном направлении на 2 км при ширине 200 м, ведущая себя несколько обособленно от остальных ореолов рудных элементов.

В нижних течениях рек Онне, Алгома, Идюм и Кусачан-Юрях бассейна среднего течения р. Учур расположены рудопроявление Тройка, ряд проявлений минерализации и аномалий радиоактивности, тяготеющих к средней пачке гонамской свиты [5]. Все проявления локализуются в узле сочленения субмеридиональной Аимо-Токинской зоны разломов с разломами субширотного и северо-западного простираний. В платформенном чехле нарушения представлены зонами брекчирования, дробления и трещиноватости сбросового характера, а также пологими швами расщепления, реже милонитизации, сопряжёнными с крутопадающими разломами.

Проявления минерализации и аномалии контролируются зонами субпослойной трещиноватости и пологими швами милонитизации. Гидротермально-метасоматические изменения протекали в несколько этапов: окварцевание и флюоритизация, калишпатизация (адуляризация), глинисто-гидрослюдистая аргиллизация, карбонатизация, хлоритизация. Карбонаты (кальцит, доломит) развиваются по цементу песчаников. Иногда в них совместно присутствуют барит, апатит, углеродистое вещество. Более поздний по отношению к кальциту доломит преобладает. В метасоматитах наблюдается вкрапленность никель- и кобальтсодержащего пирита, арсенопирита, халькопирита, сфалерита, тонкодисперсного настурана. Содержание (%) U до 0,08, Pb и Cu в рудных зонах до 0,015, Mo до 0,002, Co 0,001, Ba до 0,2, F до 1, Ag до 7 г/т при фоновых содержаниях в безрудных зонах. Ореолы рассеяния U несколько уже мультипликативных ореолов остальных элементов. Общим для всех

рудопоявлений и аномалий является тесная корреляционная связь урана с Ni, Co, Ag, As, Pb, V, Mo.

Глубинное строение Идюмо-Хайканского купола. На изученной территории выполнен комплекс крупномасштабных геолого-геофизических работ, включая небольшой объём горно-буровых. Оценка мощности платформенного чехла основана на данных вертикального электрического зондирования, сейсмических исследований методом отражённых волн, определения глубин до верхних кромок для отдельных магнитоактивных тел. Выделенные зоны интенсивного развития линейных структур (см. рис. 3) согласуются с глубинными плотностными неоднородностями верхней части земной коры. В частности, Толукская зона линейных структур приурочена к северному обрамлению Тьркканского регионального минимума поля силы тяжести, имеющего в пределах территории исследований субширотное простирание. Об осложнении в строении верхней части земной коры свидетельствует наличие интенсивных отрицательных аномалий поля силы тяжести в пределах купола и вне его. Палеопротерозойские метаморфические образования по структуре и знаку аномального магнитного поля прослеживаются под отложениями платформенного чехла, что расширяет площади для дальнейших исследований. По структурным признакам области пересечения глубинных разломов и оптимальные мощности платформенного чехла выделены как наиболее предпочтительные.

В заключение отметим следующее. По особенностям геологического строения и металлогении Учуро-Майская впадина сопоставляется с впадиной Атабаска Северо-Американской платформы. Как и впадина Атабаска, Учуро-Майская впадина сформировалась на архей-палеопротерозойском основании, вмещающем прослойки и пачки графитсодержащих гнейсов, вдоль которых часто развиваются зоны милонитизации и катаклаза. Мезопротерозойские отложения этих впадин по составу и возрасту сопоставимы друг с другом (см. таблицу). Рудная минерализация каждой из впадин носит комплексный характер и сопровождается интенсивными многостадийными гидротермально-метасоматическими изменениями пород при главенствующей роли каолин-гидрослюдистых аргиллизитов. Для руд обеих впадин характерен близкий набор рудных элементов (Pb, Zn, Mo, Ni, Co, As, Cu, V). В них постоянно содержатся турмалин, апатит и другие фосфорсодержащие минералы. Воз-

раст рудной минерализации Учуро-Майской впадины близок возрасту урановых руд впадины Атабаска (1341±17)–(1142±28 млн лет). В отличие от впадины Атабаска в Учуро-Майской впадине выявлены самостоятельные концентрации золота, меди, бария.

В зоне структурно-стратиграфического несогласия палеопротерозойских метаморфических образований и мезопротерозойских осадочных толщ в обрамлении Идюмо-Хайканского купола Алдано-Станового щита установлены прямые признаки ураноносности территории.

1. Между складчатым фундаментом и осадочным чехлом развиваются красноцветные коры выветривания и продукты их разрушения в доконкулинскую эпоху.

2. В основании мезопротерозойских толщ (конкулинская, гонамская и омахтинская свиты) залегают красноцветные отложения, по возрасту и составу близкие к таковым бассейна Атабаска.

3. Особенно важным контролем оруденения служит выявленная нами широкая зона интенсивной предрудной калишпатизации, развитой на границе кристаллического фундамента с породами мезопротерозойского платформенного чехла практически по всему периметру Идюмо-Хайканского купола. Масштабы привноса калия огромны и оцениваются от 15 до 30 млрд т. В ореоле калишпатизации локализуются все известные в настоящее время урановые проявления.

4. Урановое оруденение контролируется зонами интенсивной гидрослюдистой аргиллизации, хлоритизации (хлорит магнезиальный), карбонатизации, турмалинизации и сопровождается привносом в изменённые породы U, Mo, Ag, As, Ni, Co, V, Pb, Zn.

5. Возраст урановых руд Идюмо-Хайканского купола (1341±17)–(1142±28 млн лет) близок возрасту руд бассейна Атабаска (1270–1250 млн лет).

Зоны структурно-стратиграфического несогласия мезопротерозойских осадочных толщ Учуро-Майской впадины по периферии палеопротерозойского Идюмо-Хайканского купола метаморфических пород обладают значительными перспективами на обнаружение высокорентабельных урановых месторождений несогласия канадского типа.

С учётом выше перечисленных признаков, свидетельствующих о развитии рудного процесса в зоне структурно-стратиграфического несогласия, на территории Идюмо-Хайканского купола следует ожидать выявление месторождений, аналогичных месторождениям бассейна Атабаска.

Авторы благодарят коллег, принимавших участие в полевых исследованиях, и геологов фирмы «Кожема» за предоставленную возможность ознакомления с месторождениями Канады. Исследования выполнены в рамках государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геологическая карта СССР. М-б 1:1 000 000 (нов. сер.). Лист О-52, (53) – Томмот. Объяснительная записка. – Л.: ВСЕГЕИ, 1986.*
2. *Горошко М.В. Проблемы поисков высокорентабельных урановых месторождений в Хабаровском крае // Геология и полезные ископаемые Приамурья. Хабаровск, 1999. С. 133–138.*
3. *Горошко М.В. Рифейские депрессионные структуры древних платформ и массивов юго-востока России и их ураноносность: Автореф. дисс... д-ра геол.-минер. наук. – Хабаровск, Издательство ИТИГ, 2001.*
4. *Горошко М.В., Гильманова Г.З. Основные черты металлогении мезо-неопротерозойских впадин и прогибов докембрийских платформ мира // Литосфера. 2014. № 5. С. 71–88.*
5. *Горошко М.В., Гурьянов В.А. Рудная минерализация зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и нижнерифейского платформенного чехла Учуро-Майской впадины (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 6. С. 93–110.*
6. *Горошко М.В., Малышев Ю.Ф. Региональный калиевый метасоматоз и металлогения зон докембрийских структурно-стратиграфических несогласий (юго-восток Сибирской платформы) // ДАН. 2008. Т. 423. № 5. С. 663–666.*
7. *Гурьянов В.А., Карсаков Л.П., Горошко М.В., Осипов А.Л. Золотоносность докембрийских комплексов Учуро-Уянского района и его перспективы (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 1999. № 5. С. 98–105.*
8. *Карсаков Л.П., Гурьянов В.А., Горошко М.В. Стратиграфия нижних горизонтов Сибирского гипостратотипа рифея (юго-восток Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. № 1. С. 47–61.*

9. Лаверов Н.П., Смилкстын А.О., Шумилин М.В. Зарубежные месторождения урана. – М.: Недра, 1983.
10. Основы прогноза урановорудных провинций и районов / Под ред. Н.П.Лаверова. – М.: Недра, 1983.
11. Пакульнис Г.В., Шумилин М.В. Месторождения типа «несогласия» района Атабаска (Канада) // Минеральное сырье. 2005. № 17. С. 11–16.
12. Предпосылки выявления новых видов полезных ископаемых в юго-восточной части Алданского щита / М.В.Горошко, А.Л.Осипов, В.Е.Кириллов и др. // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 14. № 6. С. 111–118.
13. Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Березкин В.И., Шкодзинский В.С. Вклад лаборатории петрологии литосферы ИГАБМ в изучение Алданского щита // Вестн. Госкомгеологии РС (Я). 2001. № 1. С. 31–36.
14. Стогний Г.А., Стогний В.В. Геофизические поля восточной части Северо-Азиатского кратона. – Якутск: Сахаполиграфиздат, 2005.
15. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // Computers&Geosciences. 1997. Vol. 23. № 1. P. 45–62.

URANIUM POTENTIAL OF STRUCTURAL-STRATIGRAPHIC DISCONFORMITY ZONES BETWEEN PLATFORM AND METAMORPHIC UNITS OF ALDAN SHIELD IDYUM-KHAIKAN DOME

M.V.Goroshko, G.Z.Gilmanova
(Yu.A.Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Khabarovsk)

Major criteria of uranium occurrence localization on the periphery of the Idyum-Khaikan dome of Paleoproterozoic metamorphic rocks within the Siberian platform Aldan-Stanovoy shield in comparison with Athabasca province (Canada) uranium deposits are discussed. Like in Canada, they are hosted by structural-stratigraphic disconformity zones in Mesoproterozoic sediments and graphitic basement gneiss. Ore formation was preceded by intense potassic metasomatism in the structural-stratigraphic disconformity zone covering rocks of sedimentary cover and metamorphic basement developed on the Idyum-Khaikan dome periphery. Ore zones are accompanied by host rock argillization, chloritization and carbonatization and strong geochemical Mo, Ag, As, Ni, Co, V, Pb and Zn haloes. This evidence makes them similar to Athabasca unconformable deposits. Tolukskaya, Beglyanskaya and Aim-Tokinskaya ore concentration zones controlling all the known uranium occurrences are identified. Uranium mineralization age is (1341 ± 17) – (1142 ± 28) Ma.

Keywords: Siberian platform, Idyum-Khaikan dome, Paleoproterozoic, Mesoproterozoic, structural-stratigraphic disconformity zones, potassic metasomatism, uranium potential, argillization, chloritization, carbonatization, satellite radiolocation survey.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА БУРГАГЫЛКАНСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Приведена краткая геологическая характеристика объекта исследований, а также результаты блочного моделирования в программной среде «Micromine» собственно самого объекта – Бургагылканского эпитермального золото-серебряного рудопроявления. Представлены методика и последовательность работ по созданию трёхмерной модели рудопроявления, блочных моделей рудных тел. Произведён расчёт ресурсов объекта на основании имеющихся данных и проанализированы статистические показатели по выборке проб с результатами анализов на золото и серебро применительно к геологическим образованиям. Получены положительные данные о наличии околожильной минерализации и подсчитаны её ресурсы в абсолютном и относительном значениях. Ресурсы объекта увеличены почти в два раза. Проведена положительная укрупнённая экономическая оценка рудопроявления для открытой добычи и кучного выщелачивания при помощи оптимизации карьеров в программной среде «Micromine». Обозначены проблемные моменты, выявленные при геологоразведочных работах, и предоставлена информация о текущей ситуации по рассматриваемому объекту. Кратко указаны направления дальнейших исследований с оценкой перспективности возобновления геологоразведочных работ.

Ключевые слова: рудопроявление, блочное моделирование, трёхмерная модель, ресурсы, статистические показатели, оптимизация карьеров, перспективность.

Цель работы – привлечение внимания специалистов к Бургагылканскому золото-серебряному рудопроявлению, явно недооценённому объекту, разведка которого завершилась в 1976 г. и которое, на наш взгляд, содержит гораздо больше ресурсов, чем 3,7 т золота и 168 т серебра категории P₁, по данным предшественников.

Бургагылканское рудное поле административно находится в Ольском городском округе г. Магадана (рис. 1). Опорные географические координаты объекта следующие: 60°42'06" северной широты и 146°46'37" восточной долготы. Ближайшим населённым пунктом является пос. Транспортный Тенькинского городского округа недалеко от действующих горно-обогатительных комбинатов на месторождениях Наталка и Павлик. От упомянутого посёлка до рассматриваемого рудопроявления во время геологоразведочных работ прокладывался автозимник протяжённостью 190 км в бассейне рек Тенька, Хинеке, Хурен и собственно Бургагылкан, огибающей рудное поле с юга и запада. Площадь рудопроявления составляет ~16 км². На относительно небольшом расстоянии расположены опоскованные участки Ребус, Угольный (Широкий), признанные предшественниками неперспектив-



**Голуб
Владимир Николаевич**

ведущий геолог отдела геологоразведки
АО «Павлик»,
г. Магадан
golubvn@yandex.ru

**Каримов
Эдуард Валерьевич**

руководитель группы Micromine
ОАО «Рудник Каральвеем»,
г. Магадан
edkarimov@mail.ru

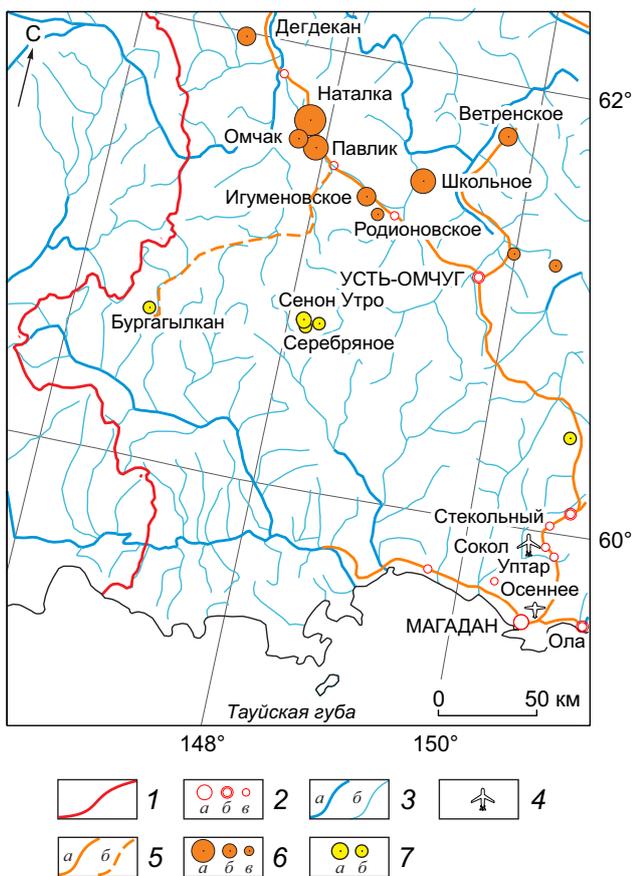


Рис. 1. ФРАГМЕНТ ОБЗОРНОЙ КАРТЫ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ:

1 – административная граница Магаданской области; 2 – населённые пункты: областной центр (а), районные центры (б), посёлки (в); 3 – речная сеть: а – реки, б – ручьи; 4 – аэропорт; 5 – автодороги круглогодичные (а), автотрассы (б); 6 – месторождения золота крупные и уникальные (а), мелкие и средние (б), рудопроявления (в); 7 – месторождения золото-серебряные мелкие и средние (а), рудопроявления (б)

ными. Ниже приводится краткая геологическая характеристика изучаемого объекта по материалам И.А.Павлова (1974 г.) и В.К.Канищева (1976 г.), положенным в основу данной работы по переоценке.

Бургагылканское рудное поле локализовано на сочленении Инского прогиба Охотского массива и Приохотской вулканической зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. В структурном отношении оно приурочено к Тас-Бургагылканской вулcano-тектонической депрессии, включающей в том числе и Бургагылканский палеовулкан. Вмещающие породы позднемелового возраста пред-

ставлены туфами риолитов и дацитов и покровами андезитов, слагающими хольчанский и улынский комплексы, прорванные субвулканическими телами кислого и среднего составов. Породы улынского вулканического комплекса, по мнению предшественников, оказывали экранирующее воздействие на формирование оруденения. В породах широко проявлены гидротермальные изменения. Разрывные нарушения многочисленны. По времени образования предшественниками выделены разломы, заложенные до начала позднеюрской эпохи и в позднем мелу и палеогене. К первой группе отнесены два субмеридиональных разлома, ко второй – многочисленные разрывные нарушения субширотного, северо-восточного и северо-западного простирания. Характер нарушений сбросо-сдвиговой с амплитудами в десятки метров. Генезис Бургагылканского рудопроявления эпитеpmальный, близповерхностный.

В процессе геологоразведочных работ на рудопроявлении выявлены около 300 эпитеpmальных жил, множество прожилковых зон и полей прожилкования. Площадь рудопроявления предшественниками разделена на Северный, Центральный и Западный участки, в пределах которых обнаружены и оконтурены рудные тела, главным образом представленные жилами. Основные рудные тела рудопроявления разведаны с поверхности канавами через 20–60 м, тремя штольнями с системой рассечек через 20–40 м и скважинами колонкового и пневмоударного бурения на глубину до 270 м. Характеристика и основные параметры выделенных предшественниками рудных тел приведены в табл. 1, 2.

Следует отметить, что жилы прерывисты и неоднородны по падению и простиранию, сопровождаются раздувами, пережимами, апофизами, часто переходят в зоны прожилкования, разветвляются на несколько (2–10) жил. В жилах нередко отмечаются смещения по разрывным нарушениям с амплитудами 5–30 м. Жильные тела разведаны по вертикали на глубину от 50 до 420 м. Установленный вертикальный размах оруденения 30–270 м. Рудные тела удалены друг от друга на расстояние от нескольких сотен метров до первых километров. По данным, имеющимся по подземным горным выработкам и буровым скважинам, с глубиной содержание золота и серебра в жилах уменьшается. Уровень эрозионного среза рудопроявления, по данным предшественников, рудный – верхнерудный.

1. ДЛИНА И ЭЛЕМЕНТЫ ЗАЛЕГАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Участки	Рудные тела	Протяжённость, м		Элементы залегания		
		Всего	Обогащённая часть	Азимут простирания, град.	Направление падения	Угол падения, град.
Центральный	Ника	460	460	30–50	ЮВ–СЗ	80–90
Центральный	Ударная	1700	330	5–30	ЮВ	60–80
Центральный	Ника I	350	130	350–30	ЮВ	70–90
Центральный	Жила б	240	180	30–50	СЗ	60–85
Западный	Инна	1200	175	270–300	З–ЮЗ	50–80
Западный	Золотая II	760	200	280–310	ЮЗ–СВ	70–90
Западный	Золотая I	1050	315	280–330	ЮЗ–СВ	65–90

2. МОЩНОСТЬ РУДНЫХ ТЕЛ И СОДЕРЖАНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Рудные тела	Мощность			Содержание Au, г/т			Содержание Ag, г/т		
	от	до	средняя	от	до	среднее	от	до	среднее
Ника	0,4	11,5	8,9	0,2	8	2,5	23,6	375	118,1
Ударная	0,8	22	6,6	0,1	4,4	1,44	4,4	260,9	42,9
Ника I	0,25	4,9	2,5	0,1	17,4	8	34	3000	427,8
Жила б	0,2	2	1,2	1,3	23,2	8,7	274,4	577,8	538,7
Инна	1,5	15,4	9,3	0,1	13	2,4	5,4	825,7	139,5
Золотая II	0,7	5	1,3	Следы	15,8	4,9	Следы	345,5	127,4
Золотая I	1,6	7	4	Следы	10,4	4	1,7	403,8	140

Примечание. По жиле Ударная параметры приведены с учётом результатов исследования авторов.

Рудопроявление является типичным представителем золото-серебряной формации. Минеральный тип руд – аргентитовый. Отношение золота к серебру в жилах изменяется от 1:26 до 1:62, в среднем 1:48. Состав рудных жил преимущественно адуляр-карбонат-кварцевый и карбонат-кварцевый, реже адуляр-кварцевый. Рудные минералы по объёму составляют от 1 до 3%. Это главным образом электрум, определяющий ценность рудопроявления, пираргирит, полибазит, акантит (аргентит), пирит, халькопирит. Реже встречаются арсенопирит, сфалерит, галенит, миаргирит, стефанит, арамайит, самородное серебро, штрмейерит, тетрадимит, гессит?, петцит?, тетраэдрит, теннантин, фрейбергит, бурнонит, буланжерит. Форма главного промышленного минерала – электрума – губчатая, комковатая, пластинчатая. Размеры до 0,1 редко до 1 мм. Цвет жёлтый и желтовато-белый, пробность 364,4‰. Удельный вес руды 2,5 т/м³. Кроме золота и серебра, в рудах присутствуют, %: As до

0,1–1, Li до 0,01–0,1, Sb до 0,1–1, Be до 0,01, Zn, Pb до 1, Bi до 0,5, Te до 0,2, Co, Cd, Mo до 0,002.

Нами сделана попытка изменить подход к оценке рудопроявления в целях повышения его перспективности и возобновления работ на нём. Посчитанные в отчётах предшественников геолого-промышленные параметры рудных тел по рудопроявлению (мощность, содержание металла, сравнительно небольшой размах оруденения) позволяют обрабатывать большую часть потенциальных запасов открытым способом, т. е. карьерами. При анализе документации по горным выработкам и буровым скважинам стало очевидным присутствие в околожильном пространстве значительных концентраций золота и серебра. Это и заинтересовало – могут ли последние значительно повлиять на ресурсы рудопроявления? Причём предшественниками неоднократно фиксировались повышенные концентрации серебра при отсутствии значимых концентраций золота, что ука-

3. ВЫДАЮЩИЕСЯ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОТА ПО РУДНЫМ ТЕЛАМ БУРГАГЫЛКАНСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Рудные тела	«Ураганное» содержание Au _{усл.} , г/т
Золотая I	11,87
Золотая II-1	5,81
Золотая II-2	8,8
Инна 1	17,49
Инна 2	2,83
Ника	12,39
Ударная 1	11,05
Ударная 2	3,24
Ударная 3	1,04

зывает на развитие двух типов руд – серебряных и золото-серебряных. В связи с этим для полноты оценки ресурсов использовалось понятие «условное золото». Серебро переводилось в золото соотношением 75:1, согласно соотношению их ценового диапазона на момент расчётов. Создание базы данных, оконтуривание рудных тел, построение каркасов и блочной модели проводилось с применением программной среды «Micromine» версии 11.0 и электронных таблиц «Microsoft Excel». Оцифровано 6657 проб с аналитическими результатами и присвоением кодеров геологических образований. Оконтуривание рудных тел велось в геологических границах жильных тел с включением околосильных образований по бортовому содержанию условного золота 1 г/т с перспективой отработки рудных тел карьерами. В анализ вовлечены, как известные рудные тела, так и выделенные в процессе моделирования. Далее по контурам строились каркасы и блочные модели рудных тел (www.micromine.ru). Каркасы рудных зон отстраивались по геологическим контурам жильных зон и их зальбандовой части. Таким образом, рудная выборка проб подземных горных выработок и скважин сформирована по пробам, попавшим внутрь выделенных жильных зон.

Для равного веса проб, участвующих в интерполяции, всё опробование было приведено к медиане длины опробования, составляющей 1 м. «Ураганные» пробы, определялись квантильным анализом (Ю.Е.Капутин, 2007). Для этого вся выборка проб (определённого домена) делится на десять одинаковых по числу проб классов в

порядке возрастания содержания. Последний класс может на несколько проб отличаться от других, так как не бывает 20,5 проб и т. п. Среднее по классу умножается на число проб в классе и получается содержание металла по классу. Соответственно, суммарное содержание металла, в нашем случае условного золота, равно 100%, и на каждый класс приходится своя доля. Если количество металла в классе >40%, то в нём есть «ураганные» или выдающиеся содержания. Затем этот класс делится ещё на десять равных по числу проб классов и также выявляется класс с количеством металла >40%, а минимальное содержание в этом классе называется «ураганным» или выдающимся. Для этого использовался специальный модуль в среде электронных таблиц. В табл. 3 приведены данные только по рудным телам с «ураганными» или выдающимися содержаниями условного золота.

Прототип блочной модели создавался с учётом средних параметров разведочной сети и мощности жил. Размеры блоков измеряются в метрах: 5, 12,5 и 5 по осям X, Y, Z соответственно с максимальным субблокированием (дроблением блоков) по осям X, Y в 10 раз и по оси Z в 5 раз для оптимального повторения прототипом модели границы каркаса.

Ввиду того, что коэффициенты вариации параметров внутри каждого жильного тела чрезвычайно высоки, было решено осуществлять оценку ресурсов методом обратных расстояний со степенью 2 без проведения геостатистики. Конечно, можно провести индикаторный кригинг, который решил бы все вопросы, но проб в классах в большинстве случаев недостаточно для получения адекватных вариограмм, как, впрочем, и нельзя использовать медианное значение в классе, так как это часто искажает истинные данные.

При этом эллипсы поиска были ориентированы согласно элементам залегания жил. Всего выделено три структурных домена по элементам залегания (не по пространственному сближению!). Расстояния по первой, второй и третьей осям 17, 27 и 17 м соответственно (чуть больше среднего расстояния по разведочной сети). Категория ресурсов считалась освоенной (indicated) в случае попадания в эллипс поиска из одного сектора не менее трёх выработок при коэффициенте к радиусу эллипса поиска, равном 1. Все остальные ресурсы квалифицировались как inferred. Так или иначе,

общая оценка носит больше прогнозный характер, поскольку необходимо провести заверку горных выработок, и ни в коем случае не освоенных ресурсов, подлежащих переводу в proven и probable.

До оценки ресурсов длина проб каждой жильной зоны усреднялась на медиану длины и с помощью квантильного анализа урезалась по «ураганному» содержанию золота. Затем объединялась в соответствующие структурные домены по ориентировке жил и оценивалась методом обратных расстояний. Далее три модели объединялись в одну. Внутри модель прокодирована жильными зонами в поле «Zone» и принадлежностью к структурному домену в поле «Domain».

Структурные домены по ориентировке жил следующие:

- домен SE – азимут простирания 296, падение -77, склонение 0;
- домен E – азимут простирания 95, падение -75, склонение 0;
- домен NE – азимут простирания 12, падение -71, склонение 0.

По результатам моделирования выделены 12 рудных тел с ресурсами по расчётам >50 кг условного золота (рис. 2–5). По результатам блочного моделирования по категориям C_2+P_1 (indicated+inferred) ресурсы Бургагылканского рудопроявления составили ~12 т условного золота, что почти в два

раза превышает апробированные ресурсы объекта в 5,94 т условного золота (табл. 4). Данные значения получены путём экстраполяции на глубину, как правило, порядка 50 м, и в процессе работ, конечно же, требуются дополнительные пересечения скважинами колонкового бурения как наиболее предпочтительного технического средства разведки по достоверности, стоимости и срокам выполнения. Далее на основании блочной модели и необходимых экономических параметров проведена оптимизация карьеров с получением 19 оболочек в программе «Micromine». Исходные параметры и результаты оптимизации приведены ниже.

Расчёт, приведённый в табл. 4, указывает на достаточное наличие как богатых, так и бедных руд и требует дополнительных исследований технологических свойств каждого из сортов руд. Предварительно возможно использование обогащения руд с применением кучного выщелачивания.

По результатам обработки статистических показателей (табл. 5, рис. 6) основное потенциально промышленное оруденение связано с жильным типом (продуктивность 72%). На долю жильного типа приходится 3%, минерализованных зон дробления 9,2%, вмещающих пород, содержащих главным образом околожильную (вкрапленную?) минерализацию 15,8%. Получается, что за преде-

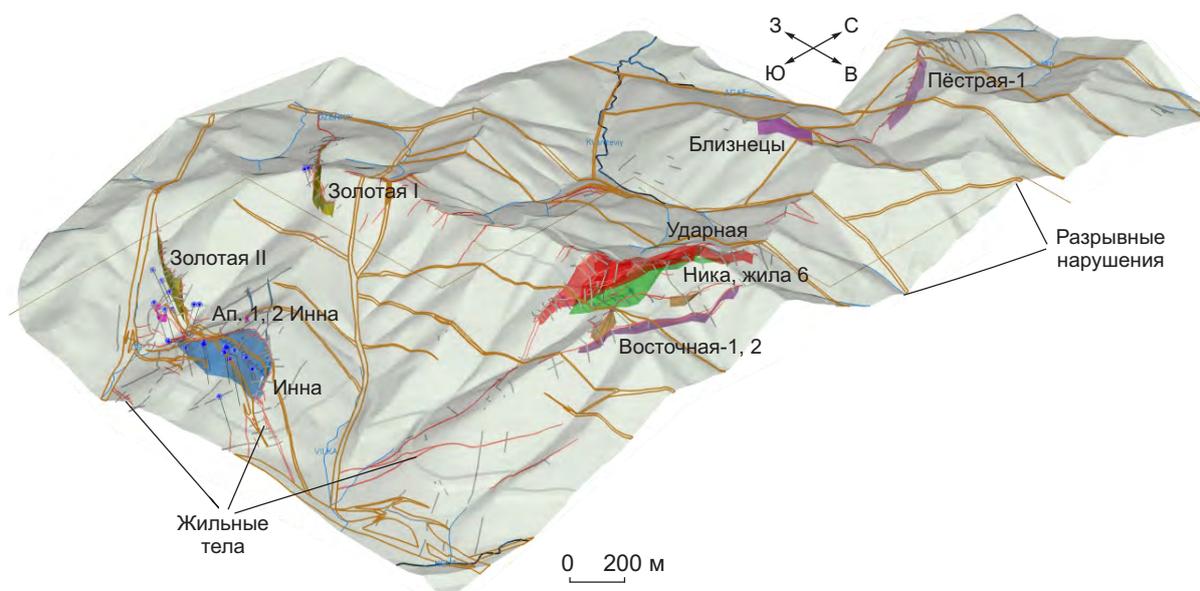


Рис. 2. ФРАГМЕНТ ТРЁХМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ БУРГАГЫЛКАНСКОГО РУДОПРЯВЛЕНИЯ С ТОПООСНОВОЙ, КАРКАСАМИ РУДНЫХ ТЕЛ, ТЕКТНИЧЕСКИМИ НАРУШЕНИЯМИ И ЖИЛЬНЫМИ ТЕЛАМИ

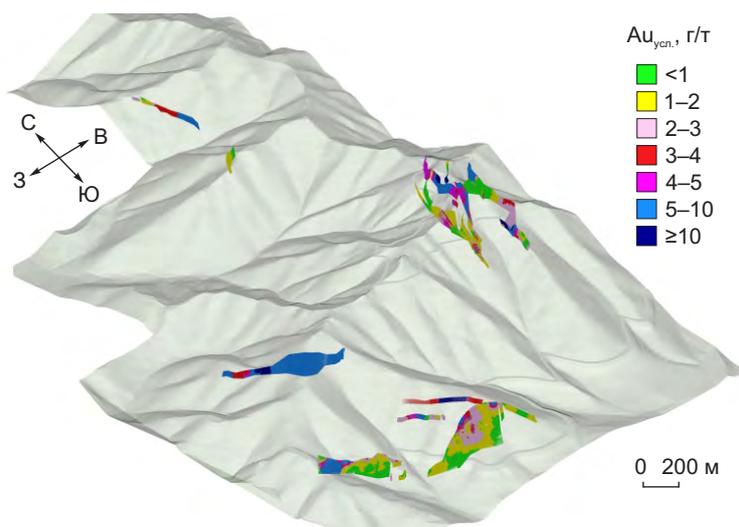


Рис. 3. ТРЁХМЕРНЫЕ БЛОЧНЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ ТЕЛ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО КАЧЕСТВУ РУД

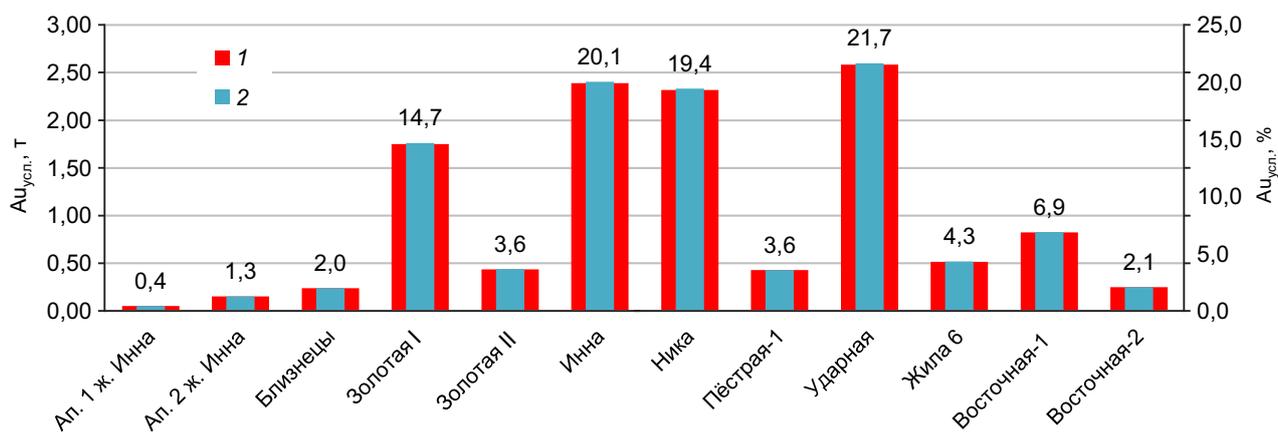


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ УСЛОВНОГО ЗОЛОТА ПО РУДНЫМ ТЕЛАМ (красный – в тоннах, синий – в процентах)

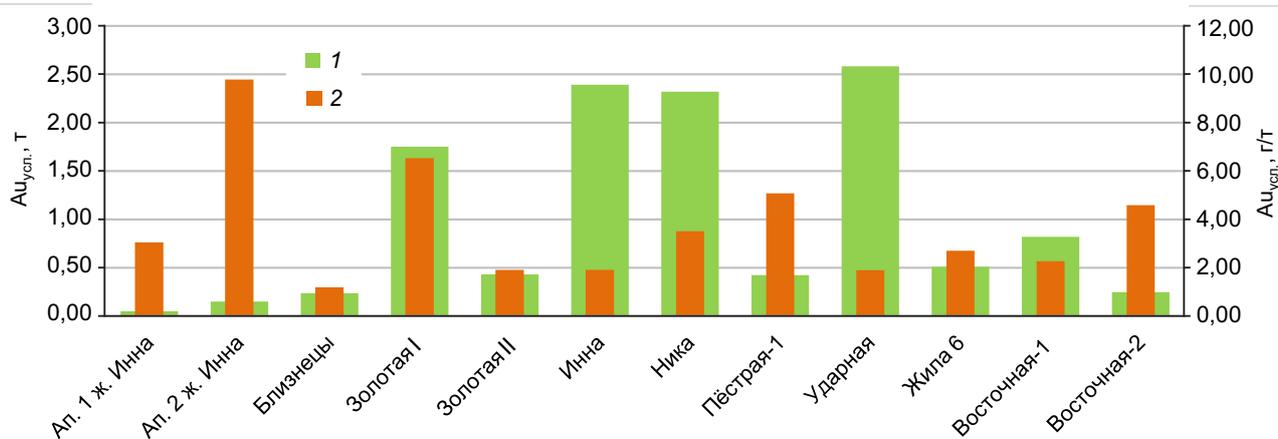


Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ И СОДЕРЖАНИЙ УСЛОВНОГО ЗОЛОТА ПО РУДНЫМ ТЕЛАМ (зелёный – в тоннах, оранжевый – в граммах на тонну)

4. РАСЧЁТ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА ПО КАЧЕСТВУ РУД ПО ДАННЫМ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БУРГАГЫЛКАНСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Интервалы содержаний, г/т		Объём руды, м ³	Объёмный вес, т/м ³	Запасы руды, т	Содержание Au _{усл.} г/т	Запасы Au _{усл.}	
от	до					кг	%
0	1	291 033	2,5	727 583	0,59	426,5	3,6
1	2	736 383	2,5	1 840 958	1,51	2777,3	23,2
2	3	377 670	2,5	944 176	2,39	2256,4	18,8
3	5	248 459	2,5	621 147	3,99	2475,9	20,7
5	10	205 850	2,5	514 625	6,51	3347,7	27,9
10		23 108	2,5	57 770	12,01	693,7	5,8
Всего				4 706 258	2,55	11 977,5	100,0
Из них	>3			1 193 542	5,46	6517,3	
	1–3			2 785 134	1,81	5033,7	

5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ ОПРОБОВАНИЯ ПО РАЗНОВИДНОСТЯМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ БУРГАГЫЛКАНСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

Код	Количество значений	Описание кода пород		
<i>v</i>	3499	Вмещающие породы (вулканиты и их производные)		
<i>d</i>	940	Зоны дробления, в том числе минерализованные		
<i>q</i>	1811	Адуляр-карбонат-кварцевые образования		
3 <i>q</i>	407	Зоны адуляр-карбонат-кварцевого прожилкования		
Сумма	6657			
	Сумма Au, г/т	Сумма Au, %	Сумма Ag, г/т	
<i>v</i>	769,24	15,6	41 819,46	
<i>d</i>	460,42	9,3	27 016,90	
<i>q</i>	3558,92	72,0	213 096,85	
3 <i>q</i>	151,33	3,1	8168,04	
Сумма	4939,91	100,0	290 101,25	
	Сумма Ag, %	Au, г/т среднее	Ag, г/т среднее	
<i>v</i>	14,42	0,22	11,95	
<i>d</i>	9,31	0,49	28,74	
<i>q</i>	73,46	1,97	117,67	
3 <i>q</i>	2,82	0,37	20,07	
Сумма	100,0			
	Дисперсия Au, г/т	Дисперсия Ag, г/т	Сумма МС Au _{усл.} г-м/т	
<i>v</i>	0,80	3620,81	1312,56	
<i>d</i>	32,45	110 216,55	765,84	
<i>q</i>	64,28	206 884,30	5986,71	
3 <i>q</i>	1,70	7291,85	250,71	
Сумма			8315,82	
	МС Au _{усл.} г-м/т среднее	Сумма МС Au _{усл.} %		
<i>v</i>	0,38	15,8		
<i>d</i>	0,81	9,2		
<i>q</i>	3,31	72,0		
3 <i>q</i>	0,62	3,0		
Сумма		100,0		

Примечание. МС – метрограмм.

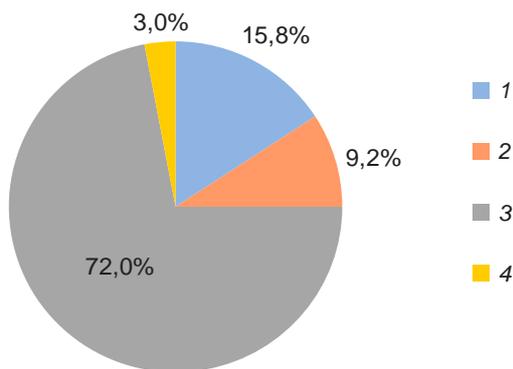


Рис. 6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ ПО ТИПАМ:

1 – вкрапленный; 2 – минерализованные зоны; 3 – жильный; 4 – прожилковый

лами жил локализуется ~28% потенциальной промышленной золото-серебряной минерализации, что в абсолютном значении составляет >3300 кг условного золота в ресурсном потенциале объекта.

Продуктивность минерализации, возможно, и больше, так как горные выработки и буровые скважины практически не подвергались сплошному опробованию, а в расчётах участвуют лишь только опробованные участки выработок и скважин. Что касается скважин колонкового и пневмоударного бурения, то, по данным предшественников, выход керна и шлама был на порядок ниже требуемого. Соответственно, достоверность аналитических данных может быть достаточно спорной, что отчасти подтверждено геологическим контролем лаборатории Тенькинской комплексной геологоразведочной экспедиции за 1974–1975 гг. Поэтому есть вероятность увеличения запасов при возобновлении буровых работ на рудопроявлении. К слову, проблема низкого выхода керна при буровых работах в советское время, из-за отсутствия современных технологий и оборудования, актуальна не только применительно к рассматриваемому объекту, но и к аналогичным рудопроявлениям, известным в Бургагылканском и в других районах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса Северо-Востока России.

Без укрупнённой экономической оценки полученных ресурсов называть Бургагылканское рудопроявление перспективным было бы голословным. С учётом рекомендаций проведена оптими-

зация карьеров в программе «Micromine» (табл. 6) (www.micromine.ru). Как известно, наиболее затратна переработка руды. В нашем случае, авторы попытались использовать кучное выщелачивание, которое успешно применяется в Забайкалье, Якутии и Магаданской области. В качестве месторождения-аналога взят один из объектов Магаданской области примерно с таким же ресурсным потенциалом, но с меньшими содержаниями металла, чем изучаемый объект. Расположен он значительно дальше от областного центра и в нескольких десятках километров от районного, имеет круглогодичную дорогу и центральное энергообеспечение. В целом использование параметров этого объекта авторы считают вполне обоснованным.

При оптимизации использовалась рудная модель, а также следующие параметры: предельный угол бортов карьеров 60°, высота уступа 5 м, разубоживание 9,59%, потери 3%, извлечение условного золота из руд 70%. Стоимость приведена в долларах США в связи с значительным изменением курса в последние годы по сравнению с периодом технико-экономических расчётов месторождения-аналога.

По результатам оптимизации получены 19 обочек карьеров. Глубина карьеров варьирует от первых метров до 195 м, в среднем составляя 110 м. Значительная глубина вследствие расположения карьеров на крутых склонах не обуславливает большой коэффициент вскрыши, что является плюсом при разработке рудопроявления. Рассчитанные суммарные укрупнённые показатели из отчёта об оптимизации приведены в табл. 7.

По результатам исследований, проведённых нами, ресурсы условного золота объекта увеличены почти в два раза и составили 11,978 т. Ресурсы, оценённые предшественниками, – 5,94 т. Прирост обеспечен включением в суммарную оценку ресурсов практически всех возможных рудных тел, удовлетворяющих используемому бортовому содержанию условного золота, а также интервалов за пределами жильных тел. Глубина оценки сопоставима с данными предшественников. Основные ресурсы условного золота локализируются в жилах, но больше четверти заключены в околожильном пространстве. Это в совокупности изменяет категорию объекта с мелкого на средний, что немало важно при рассмотрении вопроса о возобновлении работ на нём. Перевод ресурсов в запасы требует дополнительных объёмов колонкового буре-

6. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Параметры	Единицы измерения	Значения показателей
Условно-постоянные показатели		
Объёмный вес породы	т/м ³	2,5
Объёмный вес руды	т/м ³	2,5
Затраты на добычу руды (франко борт)	\$/т	2,5
Затраты на вскрышу	\$/м ³	6
Стоимость переработки	\$/т	12
Цена золота	\$/г	41,8
Затраты на продажу+аффинаж	\$/т	0,1
Условно-переменные		
Содержание условного золота в геологических запасах	г/т	2,55
Извлечение	%	70
Административные и общехозяйственные расходы	\$/т	15
Налоги (7% от цены за товарный металл)	\$/т	0,5
Полная себестоимость (добыча+переработка)	\$/т	31,1

ния, при том, что, по нашим расчётам, на глубину оконтурено лишь 17% от суммарной длины жил. Необходимо также проведение минералого-технологических исследований, в том числе и на попутные компоненты, так как в ходе поисково-оценочных работ неоднократно фиксировались высокие до 1% содержания цветных металлов. При этом нужно учитывать, что существуют как минимум два технологических типа руд – золото-серебряный и серебряный.

Экономическая оценка рудопроявления свидетельствует о высокой прибыльности объекта, что подтверждает прогнозируемую авторами перспективность объекта при открытой добыче и переработке руд методом кучного выщелачивания. Так, при производительности предприятия по добыче и переработке руд в 360 тыс. т в год и извлечении условного золота 592,2 кг срок службы предприятия составит более 10 лет, что немало.

Обращает на себя внимание минимальное переработанное среднее содержание золота 0,46 г/т,

7. УКРУПНЁННЫЕ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО БУРГАГЫЛКАНСКОМУ РУДОПРОЯВЛЕНИЮ

Параметры	Единицы измерения	Значения показателей
Геологические ресурсы руд	тыс. т	4706,3
Геологические ресурсы условного золота	кг	11 977,5
Среднее содержание условного золота в ресурсах	г/т	2,55
Вес товарной руды	тыс. т	3701,7
Вес вскрышных пород	тыс. т	23 277
Коэффициент вскрыши	т/т	6,3
Количество условного золота в контурах карьеров	кг	8690,2
Среднее содержание условного золота в товарной руде	г/т	2,35
Доход от условного золота	тыс. \$	363 251
Затраты на добычу	тыс. \$	65 119
Стоимость переработки	тыс. \$	47 220
Расходы на продажу	тыс. \$	869
Общая прибыль от карьера	тыс. \$	250 043,1
Минимальное переработанное содержание условного золота методом кучного выщелачивания	г/т	0,46

учитывая, что для оконтуривания использовалось значение 1 г/т и получены неплохие экономические показатели разработки. Соответственно, возможно уменьшение бортового содержания в целях увеличения ресурсного потенциала объекта.

В заключение отметим, что к настоящему времени Бургагылканское рудопроявление не лицензировано, хотя в 2015 г. оно выставлялось на аукцион, но в силу разных причин не нашло недоропользователя, что, возможно, объясняется труднодоступностью объекта, а также сложной инвестиционной ситуацией (<http://nedradv.ru/mineral/places>). На объекте проведён значительный комплекс горно-подготовительных и горно-проходческих работ, имеющих наибольшую стоимость при геологоразведочных работах.

По нашим экономическим расчётам, дальнейшие геологоразведочные работы на рудопроявлении перспективны и необходимы.

Следует отметить, что недалеко от Бургагылканского золото-серебряного рудопроявления ведутся работы по освоению месторождений Сенон,

Утро, Серебряное, что указывает на перспективность района работ в целом и создания кластера с полноценными условиями для геологоразведки и последующей промышленной добычи драгоценных металлов.

Авторы выражают огромную благодарность непосредственным руководителям на производстве, рецензентам СВНЦ ДВО РАН и ФГБУ ЦНИГРИ за содействие, ценные советы, замечания и рекомендации при подготовке статьи.

BURGAGYLKANSKOYE Au-Ag ORE OCCURRENCE FORECAST ESTIMATE USING BLOCK MODELING METHOD

V.N.Golub¹, E.V.Karimov²
(¹JSC Pavlik, ²OJSC Karalveem mine, Magadan)

A brief geological characterization for Burgagylkanskoje epithermal Au-Ag ore occurrence is given, its block modeling («Micromine» software) results are also presented. Method and work sequence to construct 3D ore occurrence model, and orebody block models, are described. Based on the data available, the deposit resources are estimated, statistical indicators of sample selection, and gold and silver analysis results in relation to geological formations are analyzed. Positive data on vein mineralization was obtained, its resources were estimated in absolute and relative terms. The deposit resources were increased nearly twofold. Positive aggregate economic assessment was made for the ore occurrence open-pit mining and heap leaching using pit optimization through «Micromine» software. Problems revealed in geological prospecting are shown, and information on the deposit's current status is given. Further study directions are briefly stated including prospects for prospecting resumption.

Keywords: ore occurrence, block modeling, 3D model, resources, statistical indicators, pit optimization, prospects.

АВТОРАМ

1. Статьи направляются на e-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru. К тексту прилагаются сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
2. Плата с авторов за публикацию не взимается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
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. 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.
6. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

СПОСОБ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ НЕ ВЫЯВЛЕННЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУДНЫХ УЗЛОВ

На примере медно-порфировых рудных узлов, сформированных в эоцен-миоценовую и юрско-меловую эпохи геологического развития Малого Кавказа и западного сектора Тэпис-структуры, обращается внимание на существование прямой корреляции между ресурсами медно-порфировой и золото-полиметаллической минерализации, а также площадью выхода «материнского» гранитоидного массива. Намечающаяся закономерность не противоречит принятым схемам формирования медно-порфировых рудных узлов, отмечающих их центробежную зональность относительно «материнского» гранитоидного массива и эволюционную смену медно-молибденовой минерализации золото-полиметаллической. На основе этой закономерности может быть предложен способ экспертной оценки ещё не выявленных ресурсов золото-полиметаллической минерализации для медно-порфировых рудных узлов, слабо изученных на золото-полиметаллическую минерализацию.

Ключевые слова: медно-порфировые рудные узлы, зональность, оценка не выявленных ресурсов золото-полиметаллической минерализации, Малый Кавказ, Тэпис-структура.

Строение медно-порфировой рудной системы рассмотрено в ряде работ [3, 5, 13]. Характерная её особенность – устойчивая центробежная рудная зональность. Центром зональной структуры служат апикальные части сложно построенного гомодромного гранитоидного плутона. Медно-порфировые рудные узлы (РУ), сформированные в меловую коллизионную эпоху связаны с гранитоидами тоналитового ряда [1]. В пределах Малого Кавказа наиболее изученным гранитоидным массивом, составленным гранитоидами данного ряда (тоналиты, кварцевые диориты, плагиограниты), является Кохб-Шнохоский. К диорит-порфирам и тоналит-порфирам, слагающим западный фланг этого массива, приурочено Техутское медно-молибденовое месторождение.

Медно-порфировые РУ, образованные в эоцен-миоценовую коллизионную эпоху, ассоциируют с гранитоидами монцонит-гранодиоритового ряда [1, 2]. Ярким представителем гранитоидного массива, в состав которого входят гранитоиды монцонит-диоритового ряда, является Мегринский. С ним связаны известные медно-молибденовые месторождения Каджаран, Айгедзор, Агарак, Личк.

Гранитоидные плутоны расположены в центральных частях медно-порфировых РУ. К апикальным частям плутонов, нередко с порфировой структурой, приурочена высокотемпературная



**Несис
Виталий Натанович**
генеральный директор

**Мотов
Андрей Павлович**
кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист управления
перспективного планирования
motovAP@polymetal.ru

АО «Полиметалл УК»,
г. Санкт-Петербург

(600–300°C) медно-молибденовая жильно-штоковерковая рудная минерализация в калишпатовых метасоматитах и мусковитовых березитах. В направлении удаления от центра медно-порфировой системы медно-молибденовая минерализация сменяется её эволюционной ветвью – более низкотемпературной (300–150°C) жильно-прожилковой золото-полиметаллической минерализацией в ореолах березитизации и аргиллизации, заполняющей тектонические трещины, которые образуются вокруг плутона в период его становления. Ширина полосы распространения золото-полиметаллической минерализации в экзоконтактовом пространстве гранитоидного массива составляет 1–2 км. Один из примеров проявления подобной зональности – рудная зональность Мегринского рудного узла, расположенного на юге Малого Кавказа [4].

При изучении отдельных медно-порфировых рудных узлов Малого Кавказа авторы обратили внимание на проявляющиеся признаки прямо пропорциональной корреляционной зависимости между ресурсами золото-полиметаллической и молибден-медной минерализации, а также площадь выхода гранитоидных интрузий, расположенных в центральных частях медно-порфировых РУ. Намечающаяся корреляция этих параметров медно-порфировых РУ не противоречит представлению об их образовании в ходе развития медно-порфировой системы, рудоформирующий потенциал которой отражается и в размерах «материнского» гранитного плутона, и в количестве ресурсов молибден-медной и золото-полиметаллической минерализации. Хотя авторы прекрасно отдают себе отчет в том, что процесс рудоконцентрирования обусловлен многими факторами. На этот процесс, несомненно, влияют состав гранитоидной интрузии, с которой ассоциирует медно-молибденовая и золото-полиметаллическая минерализация, тектоническая подготовленность территории внедрения гранитоидной интрузии, степень последующего эрозионного среза медно-порфирового рудного узла и др. Тем не менее, для проверки просматривающихся тенденций прямой корреляции между площадью выходящих на дневную поверхность гранитоидных плутонов, ресурсами молибден-медной и золото-полиметаллической минерализации нами выбраны несколько относительно неплохо изученных медно-порфировых РУ в глобальной Тэтис-структуре, для

которых описаны и оценены как молибден-медные, так и золото-полиметаллические месторождения. Были выбраны три РУ, сформированные в эоцен-миоценовую эпоху, и три – в меловую (рис. 1). Данные о ресурсах рассмотренных месторождений взяты из опубликованных работ [6, 8–11].

Медно-порфировые РУ эоцен-миоценовой эпохи. *Мегринский РУ* находится в юго-западном сегменте Армении, вблизи границы с Ираном. В центре РУ расположен Мегри-Ордубатский гранитоидный плутон (габбро, монзониты, биотитовые граниты, гранодиориты), прорывающий вулканогенно-осадочные породы палеозоя, позднего мела и палеогена. Площадь выхода гранитоидного плутона на дневную поверхность составляет 345 км². Основной вклад в ресурсы медно-молибденовых руд вносит уникальное по запасам Каджаранское месторождение – 1700 млн т руды с содержанием Cu 0,27%, Mo 0,055% [11]. Месторождение приурочено к северной, краевой части Мегринского плутона, к телам калишпатизированных и аргиллизированных монцодиоритов. Медно-молибденовая минерализация имеет вкрапленный, прожилковый и жильный типы рудной концентрации. Помимо Каджаранского месторождения, в ресурсы медно-молибденовых руд Мегринского РУ вносят вклад мелкие месторождения, млн т руды: Айгедзор 52 (содержание Cu 0,17, Mo 0,42%), Агарак 45 (Cu 0,5, Mo 0,03%), Личк 34 (Cu 0,63, Mo 0,03%), Парагачай 0,05 (Cu 2, Mo 1%), Капуджух 1 (Cu 1,14, Mo 0,17%), Масдаг 350 (Cu 0,43%), Диакаша 14 (Cu 0,44, Mo 0,015%). Ресурсы жильной золото-полиметаллической минерализации в крутопадающих зонах березитизации и аргиллизации Мегринского РУ составляют месторождения, млн т руды: Личквас 4 (Au 5,93, Ag 35,12 г/т, Cu 0,44%), Ваз 0,1 (Au 12,02, Ag 29,38 г/т, Cu 0,76, Zn 0,84, Pb 0,55%), Тертерасар 0,5 (11, Ag 74,8 г/т, Cu 0,45%), Варданидзор 5 (Au 3,13, Ag 56,92 г/т, Cu 0,76, Zn 2,1, Pb 1,13%), Агиурт 1 (Au 6,39, Ag 23,4 г/т, Cu 0,02%), Тагамир 0,6 (Au 1,5 г/т, Cu 1,7%).

Ханкасарский РУ примыкает с севера к Мегринскому РУ. В центре узла наблюдаются три выхода диоритовых порфиритов, гранодиоритов, кварцевых диоритов позднеэоценового возраста, прорывающих вулканогенно-осадочные толщи мела и палеогена. Общая площадь выхода гранитоидных интрузий 37 км². Ресурсы медно-молибденовой минерализации установлены для Ханкасарского месторождения – 10,4 млн т руды с содержанием Cu 0,45, Mo 0,038% [9]. Рудная минерализация

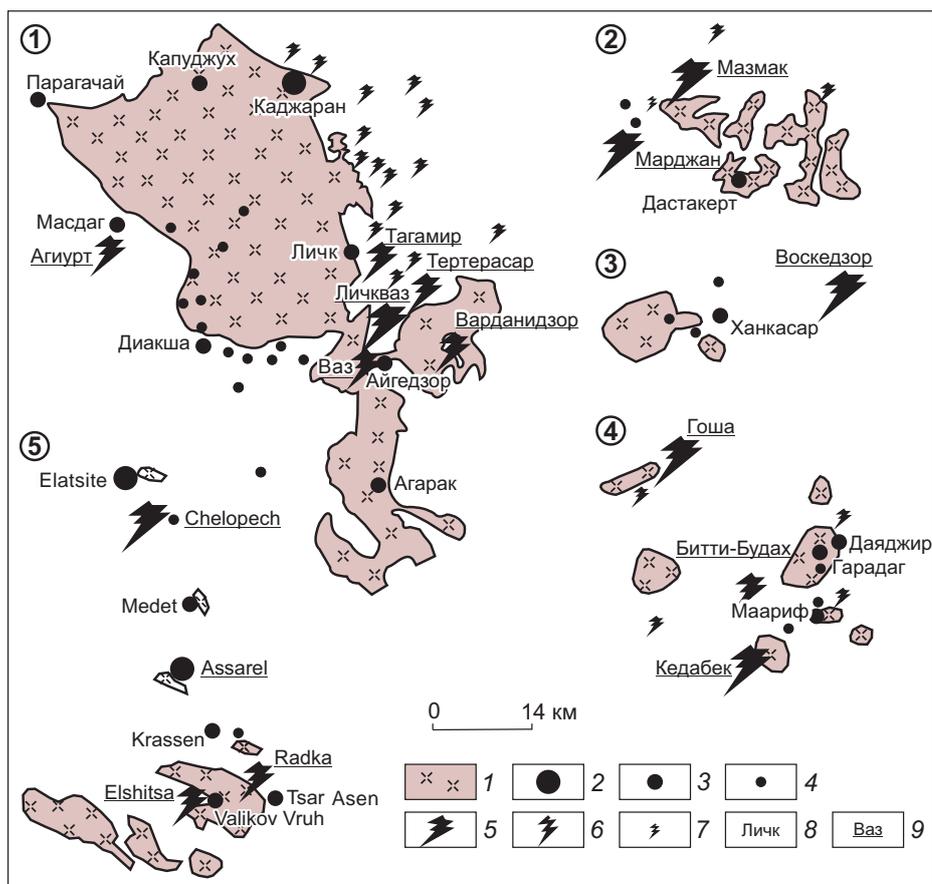


Рис. 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ И ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО «МАТЕРИНСКИХ» ГРАНИТОИДОВ В МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУ ДВУХ ЭПОХ ФОРМИРОВАНИЯ ТЭТИС-СТРУКТУРЫ:

1 – «материнские» гранитоиды; молибден-медно-порфировая минерализация, ранжированная по уровню запасов меди: 2 – крупное месторождение (>1000 тыс. т), 3 – среднее и мелкое месторождения (1000–10 тыс. т), 4 – не оценённое проявление; золото-полиметаллическая минерализация, ранжированная по уровню запасов золота: 5 – крупное и среднее месторождения (150–10 т), 6 – мелкое месторождение (10–1 т), 7 – не оценённое проявление; названия медно-порфировых (8), золото-полиметаллических (9) месторождений; цифры в кружках: эоцен-миоценовая эпоха – Мегринский (1), Дастакертский (2), Ханкасарский (3) рудные узлы; меловая эпоха – Кедабекский (4), Панагюриштский (5) рудные узлы

проявлена в форме линейной штокверковой зоны пологого простирания с углами падения 10–30°, протяжённостью 1,5 км при мощности порядка 300 м, прослежена до глубины 100 м. Рудная зона локализована внутри Гярской гранитоидной интрузии. Ресурсы жильной золото-полиметаллической минерализации определены для месторождения Воскедзор 23,3 млн т с Au 1,07, Ag 13,91 г/т, Cu 0,09, Zn 0,57%.

Дастакертский РУ расположен в 6 км севернее Ханкасарского РУ. В центре узла отмечаются семь выходов гранитоидных интрузий эоценового возраста, прорывающих вулканогенно-осадочные тол-

щи мела и палеогена, общей площадью 82 км². Ресурсы медно-молибденовой минерализации известны для месторождения Дастакерт 33 млн т с содержанием Cu 0,62, Mo 0,05%. Рудная минерализация в форме линз, гнёзд, жил и прожилков, слагающих 12 жильных зон протяжённостью 50–450 м при мощности первые метры, которые сопровождаются ореолами окварцевания и аргиллизации. Ресурсы жильной золото-полиметаллической минерализации представлены месторождениями, млн т руды: Марджан 4,8 (Au 2,51, Ag 84,59 г/т, Cu 0,13, Zn 0,98, Pb 1,19%) и Мазмак 5,8 (Au 1,05, Ag 147,76 г/т, Cu 1,83, Zn 1,26, Pb 1,83%).

Медно-порфиновые РУ меловой эпохи. *Кедабекский РУ* размещается на территории Азербайджана в пределах антиклинорных поднятий, внутри которых фиксируются выходы гранитоидов мелового возраста Кедабекского, Атабек-Славянско-го, Джагирского плутонов и др. общей площадью 87 км². Ресурсы штокверковой медно-молибденовой минерализации Кедабекского РУ складываются из ресурсов месторождений, млн т руды [8]: Даяджир 117 (содержание Cu 0,35%), Гарадаг 42 (Cu 0,05, Mo 0,002%), Маариф 32 (Cu 0,06, Mo 0,01%). Ресурсы жильной золото-полиметаллической минерализации представлены месторождениями, млн т руды: Гоша 7,4 (Au 4,7, Ag 6,33 г/т), Кедабек 20,3 (Au 1,15, Ag 9,46 г/т, Cu 0,29%), Битти-Будах 0,01 (Au 0,53, Ag 0,5 г/т, Cu 1,07%).

Панагюриштский РУ расположен на территории Болгарии в северо-восточном секторе Тэтис-структуры, называемом Банат-Тимок-Среднегорским складчатым поясом, проходящим через Румынию, Сербию, Болгарию [10]. «Материнские» интрузии узла представлены гранит-порфиrowыми, гранодиорит-порфиrowыми интрузиями позднего мела, общая площадь выхода на дневную поверхность которых составляет 105 км². Ресурсы медно-порфиrowой минерализации Панагюриштского РУ сложены ресурсами месторождений, млн т руды: Elatsite 354 (содержание Cu 0,44%), Medet 163 (Cu 0,32, Mo 0,01%), Assarel 319 (Cu 0,36%), Tsar Asen 7 (Cu 0,47%), Valikuv Vruh 10 (Cu 0,46%), Krassen 0,3 (Cu 0,76%). Ресурсы жильной золото-полиметаллической минерализации представлены месторождениями, млн т руды: Chelorech 29,87 (Au 4,09, Ag 10,58 г/т, Cu 1,31%), Radka 8,9 (Au 1,7, Ag 27 г/т, Cu 1,06%), Elshitsa 4,5 (Au 1,5, Ag 15 г/т, Cu 1,13%).

Борский РУ размещается на территории Сербии в центральной части Банат-Тимок-Среднегорского складчатого пояса. Представляет собой, по существу, единое месторождение в апикальной и надапикальной частях малой, практически не выходящей на дневную поверхность, интрузии диоритовых порфиrowитов [6, 12]. Нижняя часть месторождения сложена медно-порфиrowой штокверковой минерализацией – Бор Нижний (18 млн т руды с содержанием Cu 0,8%), а верхняя – штокверково-жильной золото-полиметаллической – Бор Верхний (1,7 млн т руды с содержанием Au 10,4 г/т, Cu 13,5%).

Корреляционные зависимости ресурсов золото-полиметаллической минерализации в мед-

но-порфиrowых РУ. Сопоставление ресурсов золото-полиметаллической минерализации с ресурсами медно-молибденовой минерализации и размерами выхода «материнских» гранитных интрузий для РУ как эоцен-миоценовой, так и меловой коллизионных эпох развития Тэтис-структуры выявило прямую корреляцию между этими параметрами (рис. 2, 3). Количество ресурсов золото-полиметаллической минерализации (от категории Inferred и выше) прямо пропорционально площади «материнского» гранитоидного плутона и величине ресурсов медно-молибденовых месторождений. Существование корреляционной зависимости позволяет осуществлять оценку ещё не вскрытых поисково-оценочными работами ресурсов золото-полиметаллической минерализации по установленным ресурсам медно-молибденовой минерализации, проявленной в РУ, и площадям «материнских» гранитоидных плутонов. Можно предложить два варианта такой оценки.

1. *Оценка по отклонению установленных ресурсов золото-полиметаллической минерализации от значений этих ресурсов на прямой линейного тренда корреляционного графика.* На графике, характеризующем РУ эоцен-миоценовой эпохи (см. рис. 2), видно, что значения ресурсов золота и условного золота в золото-полиметаллических месторождениях Дастакертского РУ расположены ниже линии тренда соотношения анализируемых параметров. Разница между фактически установленными и теоретически возможными значениями, исходя из выстроенного графика, показывает вероятные значения не вскрытого количества ресурсов золото-полиметаллической минерализации. Аналогичным образом можно подойти и к оценке не вскрытых ресурсов золото-полиметаллической минерализации Кедабекского РУ, в котором количество золота в золото-полиметаллических месторождениях ниже линии тренда на графике, фиксирующем распределение анализируемых параметров РУ меловой эпохи (см. рис. 3). По проведённой таким образом оценке удаётся определить, что в Дастакертском РУ не оценённое количество ресурсов золото-полиметаллической минерализации составляет 10 т золота и 20 т условного золота, а в Кедабекском РУ – соответственно 15 и 45 т (табл. 1).

2. *Оценка по ресурсам медно-молибденовой минерализации* осуществляется для РУ, в которых не проводилась оценка золото-полиметаллической минерализации, но определено количество ре-

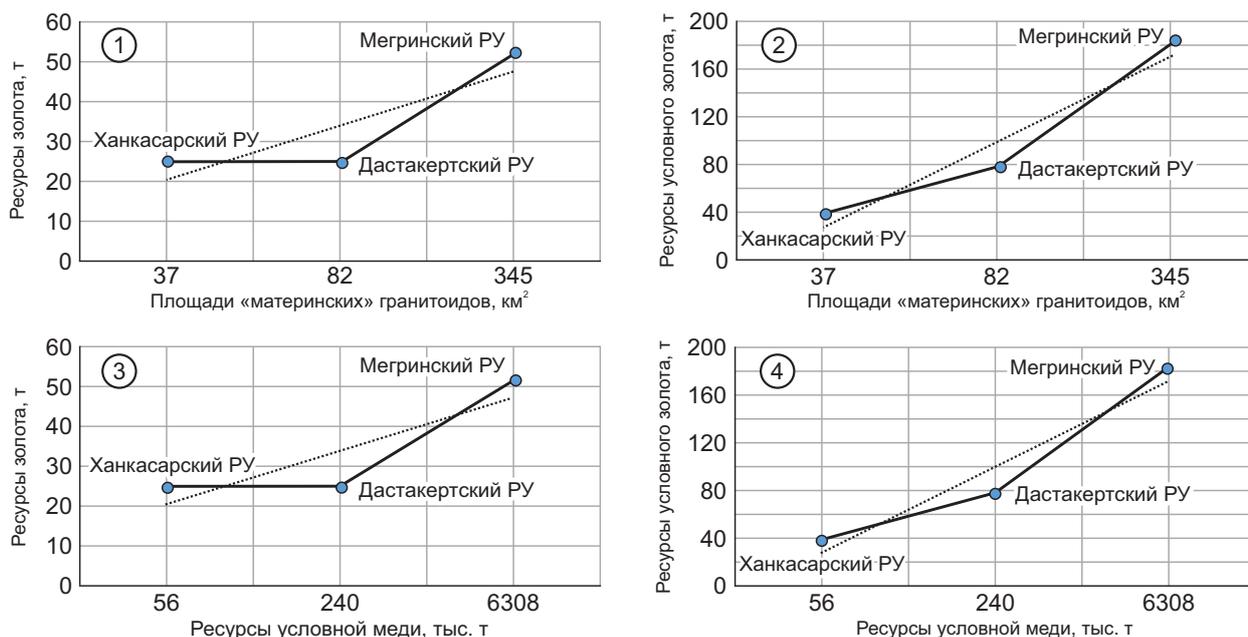


Рис. 2. СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУ ЭОЦЕН-МИОЦЕНОВОГО ПЕРИОДА:

площади «материнских» гранитоидов относительно ресурсов золота (1) и условного золота (золото+серебро+медь+цинк+свинец) (2) в золото-полиметаллических месторождениях; ресурсы условной меди (медь+молибден) в медно-молибденовых месторождениях относительно ресурсов золота (3) и условного золота (золото+серебро+медь+цинк+свинец) (4) в золото-полиметаллических месторождениях

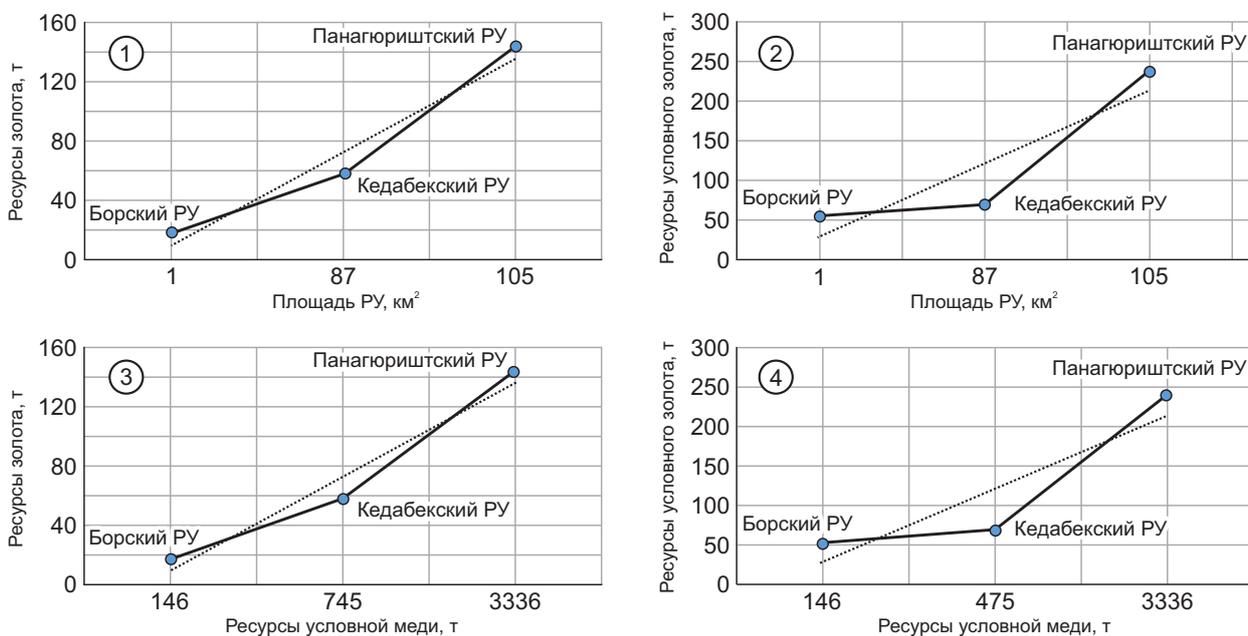


Рис. 3. СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУ МЕЛОВОГО ПЕРИОДА:

площади «материнских» гранитоидов относительно ресурсов золота (1) и условного золота (золото+серебро+медь) (2) в золото-полиметаллических месторождениях; ресурсы условной меди (медь+молибден) в медно-молибденовых месторождениях относительно золота (3) и условного золота (золото+серебро+медь+цинк+свинец) (4) в золото-полиметаллических месторождениях

1. ОЦЕНКА НЕ ВСКРЫТЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ДАСТАКЕРТСКОГО И КЕДАБЕКСКОГО РУДНЫХ УЗЛОВ, Т

Ресурсы, определяемые по площади «материнской» интрузии		Ресурсы, определяемые по запасам медно-молибденовой минерализации	
золота	условного золота	золота	условного золота
Дастакертский РУ			
10	20	10	20
Кедабекский РУ			
15	45	15	45

2. МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУНГУН [11]

Руда, млн т	Сu, %	Сu, тыс. т	Мо, %	Мо, тыс. т	Условная медь, тыс. т
846	0,60	5076	0,02	203	5545

сурсов медно-молибденовой минерализации. Так, для одного из медно-порфировых узлов эоцен-миоценовой эпохи формирования, расположенных на севере Ирана [7], известны минеральные ресурсы медно-молибденовой минерализации. Это ресурсы месторождения Сунгун (табл. 2). На линии тренда графика соотношения ресурсов золото-полиметаллической и медно-молибденовой минерализации эоцен-миоценовой эпохи (см. рис. 2) по количеству условной меди, сосредоточенной в ресурсах месторождения Сунгун, можно определить соответствующие этим медным ресурсам ресурсы золота и, таким образом, спрогнозировать количество ещё не выявленных, но возможных в Сунгунском медно-порфировом РУ ресурсов золото-полиметаллической минерализации. По параметрам, снятым с графика соотношения ресурсов, ресурсы золото-полиметаллической минерализации составили 43 т золота и 145 т условного золота. Отметим, что в пределах данного РУ известны несколько золото-полиметаллических проявлений (рис. 4). В них, возможно, сосредоточены определённые по графику соотношения ресурсов золото-полиметаллической и медно-молибденовой минерализации ресурсы золота.

Предлагаемые методические приёмы оценки не вскрытых ресурсов золото-полиметаллической

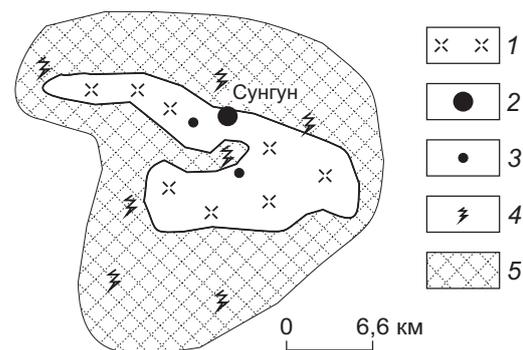


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОЙ И ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРАНИТНОГО МАССИВА:

1 – гранитоидный массив эоцен-миоценового возраста; молибден-медно-порфировая минерализация: 2 – месторождение Сунгун, 3 – проявления с не оценёнными ресурсами; 4 – золото-полиметаллические проявления, не оценённые геологоразведочными работами; 5 – зона распространения золото-полиметаллических проявлений

минерализации можно использовать на территориях проявления медно-порфировых рудообразующих систем в целях прогнозирования участков с наибольшими шансами обнаружения новых золото-полиметаллических месторождений. Авторы осознают необходимость привлечения большего объёма статистического материала по ресурсам эволюционных пар медно-молибденовых и золото-полиметаллических руд. Однако следует отметить, что степень изученности жильной золото-полиметаллической минерализации на порядок ниже, чем медно-молибденовой, о чём, в частности, свидетельствуют обзоры месторождений медно-порфировой рудной системы, проявленной в Тэтиструктуре [11]. Такое неравное соотношение может объясняться тем, что жильные золото-полиметаллические месторождения по сравнению с медно-молибденовыми характеризуются параметрами, усложняющими вовлечение их в эксплуатацию. Медно-молибденовые руды чаще всего имеют жильно-штокверковый характер распределения рудной минерализации, позволяющий добывать их менее затратным открытым способом. Проявления медно-молибденовой минерализации в первую очередь привлекают внимание геологов, именно медно-молибденовую минерализацию изучают и оценивают в первую очередь. Более низкотем-

пературная эволюционная ветвь медно-молибден-порфировой минерализации – жильная золото-полиметаллическая – проявлена в форме узких линейных крутопадающих тел. Такие условия залегания золото-полиметаллической минерализации определяют преимущественное использование затратного подземного способа их отработки. Дополнительное обстоятельство, снижающее экономическую привлекательность золото-полиметаллической минерализации – технологическая упорность этих руд. Золото в них

на 70–80% представлено наноразмерной формой в сульфидах (пирите, халькопирите, арсенопирите и др.). Таким образом, золото-полиметаллические месторождения в целом не доизучены и, в определённой степени, представляют собой руды, которым с течением времени будет уделяться всё больше внимания в связи с исчерпанием запасов экономичных типов золотых руд при одновременном развитии гидро- и биометаллургических технологических способов переработки упорных золотых руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Главнейшие медно-порфиновые системы Малого Кавказа* / Р.Л.Мелконян, Р.Моритц, Р.Н.Таян и др. // Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2014. 67. № 1. С. 3–39.
2. *Казарян А.К., Мовсисян А.И.* О Каджаранском Cu-Mo порфириновом месторождении (Армения) // Евразийский научный журнал. 2015. № 1. С. 1–6.
3. *Кривцов А.И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфириновых месторождений. – М.: Недра, 1983.
4. *Мотов А.П., Валеев О.К., Малах Ю.Е., Головина Т.А.* Геохимическая оценка медно-порфириновых узлов и золото-полиметаллических месторождений Малого Кавказа // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 72–79.
5. *Павлова И.Г.* Медно-порфириновые месторождения (закономерности размещения и критерии прогнозирования). – Л.: Недра, 1978.
6. *Anglo Asian Mining PLC report on 26 July 2005.*
7. *Geological map and map of Iran's mineral resources, Ahar area, scale 1:250 000 / Supervised by M.Amidi.* – Tehran: Ministry of Industry and Mine, 1978.
8. *Jelenković R., Milovanović D., Koželj D., Banješević M.* The Mineral Resources of the Bor Metallogenic Zone: A Review // *Geologia Croatica*. 2005. Vol. 69/1. P. 143–155.
9. *Metallogeny of the Lesser Caucasus: From Arc Construction to Postcollision Evolution* / R.Moritz, R.Melkonyan, D.Selby et al. // *Society of Economic Geologists, Special Publication*. 2016. № 19. P. 157–192.
10. *Moritz R., Kouzmanov K., Petrunov R.* Late Cretaceous Cu-Au epithermal deposits of the Panagyurishte district, Srednogorie zone, Bulgaria // *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. 2004. № 84. P. 79–99.
11. *Porphyry Copper Assessment of the Tethys Region of Western and Southern Asia: Scientific Investigations Report 2010–5090–V* / Ed. M.L.Zientek, J.M.Hammarstrom, K.M.Johnson // *U.S. Geological Survey*. Reston. Virginia, 2015.
12. *Rakita Exploration d.o.o.* Bor Presentation on November 2016. High-Grade Copper and Gold Project. Bor, 2016.
13. *Sillitoe R.H.* Porphyry Copper Systems, *Society of Economic Geologists* // *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. P. 3–41.

EXPERT ESTIMATION OF UNDISCOVERED RESOURCES FOR PORPHYRY COPPER ORE CLUSTER GOLD-POLYMETALLIC MINERALIZATION

V.N.Nesis, A.P.Motov
(JSC Polymetall, Saint Petersburg)

Based on porphyry copper ore clusters formed in Eocene-Miocene and Jurassic-Cretaceous geological development of the Lesser Caucasus and the western Tethys structure sector, direct correlation is defined between porphyry copper and gold-polymetallic mineralization resources as well as «parental» granitoid massif outcrops. The emerging regularity is not contradictory to the established schemes of porphyry copper ore cluster formation showing their centrifugal zoning in relation to the “parental” granitoid massif and evolutionary replacement of copper-molybdenum mineralization by gold-polymetallic type. Based on this regularity, undiscovered gold-polymetallic mineralization resources express estimation method may be proposed for porphyry copper ore clusters underexplored for gold-polymetallic mineralization.

Keywords: porphyry copper ore clusters, zoning, gold-polymetallic mineralization resource estimation, Lesser Caucasus, Tethys structure.





НОВОЕ В МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД МАССИВА ТОМТОР, СЕВЕРО-ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Приводятся новые данные по минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд Томторского массива, включая главные и второстепенные оксидно-силикатные минералы, сульфидные и карбонатные редкие минералы, в том числе акцессорные редкоземельные фазы. Впервые для массива в карбонате апатит-магнетитовых руд и в пирите из нефелиновых сиенитов обнаружено рудное золото. В апатит-магнетитовых рудах установлены повышенные концентрации U, Th, Sc, позволяющие считать их источником высоких концентраций в карбонатах и их корах выветривания. На основании результатов изучения текстурно-структурных особенностей, минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд предложена последовательность образования минералов в магматический и постмагматический этапы, синхронные с главной фазой формирования карбонатитов массива Томтор.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Томтор, ультраосновной щелочной карбонатитовый комплекс, камафориты, фоскориты, апатит, магнетит, карбонат, редкоземельные элементы (РЗЭ), золото, платина.

Томторский массив имеет округлую форму диаметром ~20 км и концентрически-зональное строение, центральное ядро которого поперечником 5 км сложено карбонатитами и карбонатно-силикатными породами. Карбонатиты окаймляются с западной и восточной сторон нефелин-пироксеновыми породами (фоидолитами) в виде неполного кольца шириной до 2 км, включающими серповидные тела апатит-магнетитовых руд (рис. 1). Внешняя периферийная часть массива (шириной 3–7 км) сложена щелочными и нефелиновыми сиенитами. Все эти породы прорываются наиболее поздними дайками и трубками взрыва пикритов и альнеитов [15, 17, 24]. Комплексы пород, слагающие массив, наряду с высоко- и низкотемпературными метасоматическими процессами, в предпермское время претерпели мощные гипергенные преобразования, и на породах карбонатитового комплекса сформировались мощные рудоносные коры выветривания [12, 15].

В составе Томторского массива, представленного полихронными комплексами щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, содержащими уникальные редкоземельно-редкометалльные руды, известны жильные и линзовидные тела силикатно-магнетит-apatитовых пород. Ещё первыми исследователями в северо-восточной части массива среди якупирангит-ийолитовой серии пироксен-нефелиновых пород, окаймляющих карбонатитовое ядро, выявлена и околонтурена железорудная залежь камафоритов [19] с прогнозными ресурсами железа >1 млрд т [15, 17,

**Баранов
Леонид Николаевич^{1, 2}**

лаборант
baranovln95@gmail.com

**Толстов
Александр Васильевич^{1, 3}**

доктор геолого-минералогических наук
директор³
TolstovAV@alrosa.ru

**Округин
Александр Витальевич⁴**

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
okrugin@diamond.ysn.ru

**Слепцов
Афанасий Петрович⁵**

начальник геологической службы
объекта «Томтор»

¹ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск

² ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск

³ Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

⁴ ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

⁵ АО «Якутскгеология», г. Якутск

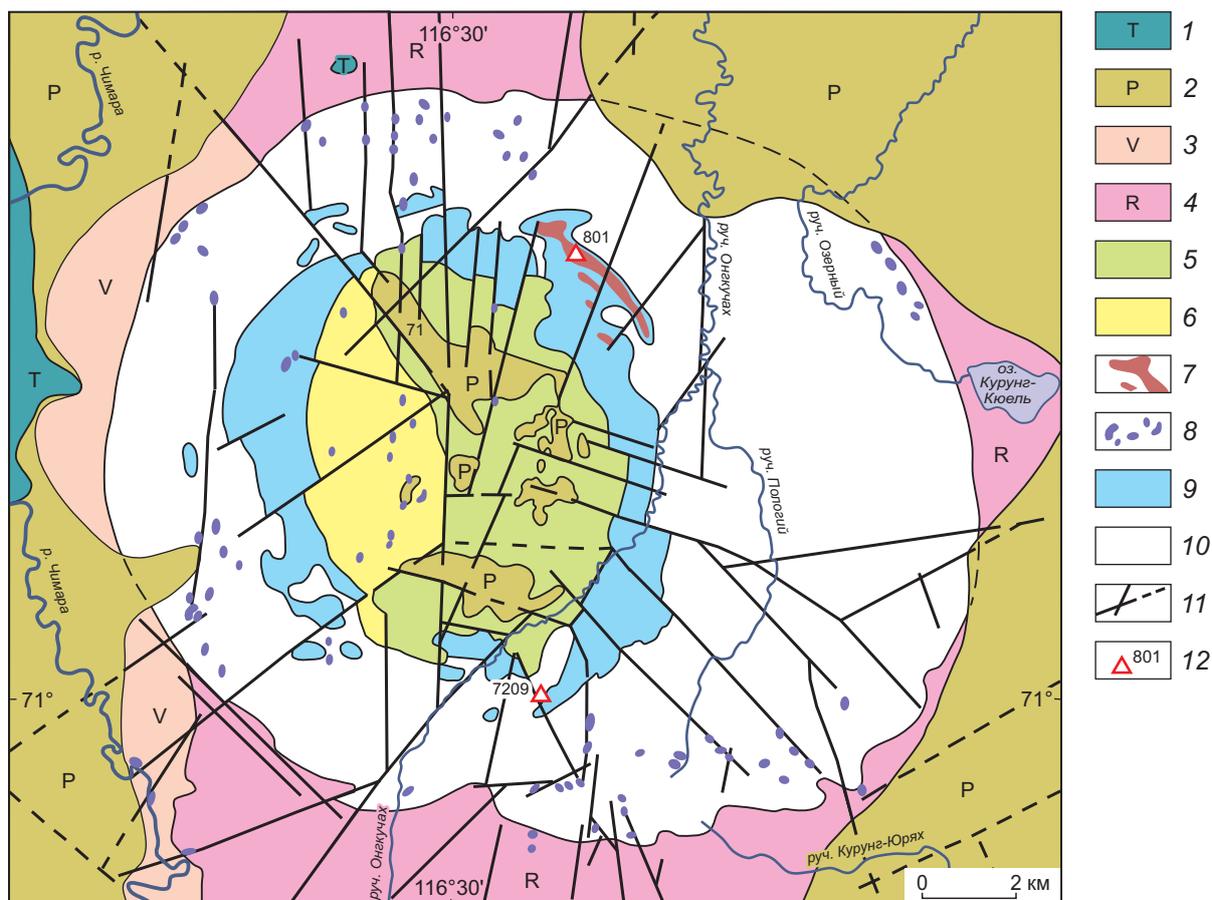


Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ТОМТОРСКОГО МАССИВА ПОСТРОЕНА НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ ДОЮРСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ МАССИВА ТОМТОР, СОСТАВЛЕННОЙ А.В.ТОЛСТОВЫМ (1998 г.) ПО МАТЕРИАЛАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ 1974–1983 гг. И РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ ЭБЕЛЯХСКОЙ ГРП:

1 – нижнетриасовые туфы, лавы платобазальтов; 2 – пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли; 3 – песчаники, гравелиты, алевролиты венда; 4 – доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники рифея; 5–7 – карбонатитовый комплекс: редкометалльные (5), безрудные карбонатиты (6) и камафориты (7); 8–10 – комплекс силикатных пород: мелкие секущие тела щёлочно-ультраосновных пород (8), фойдолиты (9), щелочные и нефелиновые сиениты (10); 11 – тектонические нарушения; 12 – местоположение скважин 801 и 7209

22, 24], параметры которой по изолинии аэромагнитной съёмки 400 кА/м составляют 4х0,2 км (см. рис. 1). Глубина залегания кровли рудного тела, перекрытого юрскими морскими отложениями, от 25 до 40 м, угол падения 75–80° на юго-юго-запад. Скважинами вскрыты магнетитовые руды и вмещающие породы, среди которых оконтурен блок размером 3500х(75–100) м.

В контурах магнитной аномалии существует серия сближенных крутопадающих рудных тел, разделённых блоками ийолитов, нефелиновых сиенитов, секущихся пострудными дайками. В пределах железорудной залежи камафоритов установлены

промышленные запасы апатит-магнетитовых руд, образующие месторождение Онкучах (участок Рудный). На участке Южный при оценочных работах также выявлены окисленные апатит-магнетитовые руды [18].

Первые данные о минералогических и геохимических особенностях апатит-магнетитовых руд Томторского массива приведены в работе А.В.Толстова [19]. Обнаружение в этих породах ощутимых количеств U, Th, TR, Y, Sc и Au [1, 18] диктует необходимость проведения дополнительных минералого-геохимических исследований, чему и посвящена настоящая работа. В связи с освоением

богатых руд Томторского месторождения актуальность изучения сопутствующих железо-фосфорных компонентов несомненна.

Специфические породы силикат-кальцит-магнетит-апатитового состава известны среди щёлочно-ультраосновных комплексов с карбонатами как фоскориты [26], нельсониты [25] или породы рудного комплекса [10]. Позднее для них был предложен новый термин «камафориты», т.е. породы, содержащие кальцит, апатит, магнетит и форстерит [2]. Хотя некоторые исследователи предпочитают первое историческое название «фоскорит», считая, что термин «камафорит» накладывает определённые минеральные парагенные ограничения [8]. Все синонимы отражают специфические составы отличающихся друг от друга рудных тел из разных месторождений. По классификации А.Г.Булаха и В.В.Иванникова [3], камафориты по минеральному составу делятся на четыре группы: с форстеритом, с пироксенами и амфиболами, со слюдами и без силикатов. К каждой группе относятся некоторые разновидности. Согласно упомянутой классификации, по преобладающим минералам апатит-магнетитовые породы массива Томтор можно отнести к группе камафоритов со слюдами, разновидность – флогопит-магнетит-кальцитовые с апатитом. Важно отметить, что апатит-магнетитовые руды Томтора содержат карбонатитовые обособления и реликты метасоматизированных вмещающих пород, а условия образования апатит-магнетитовых руд до конца не ясны. Соответственно вопрос о том, относятся ли исследуемые породы к камафоритам, остаётся дискуссионным. Для удобства описания, авторы сохранили название «камафорит», которым пользовались и ранее [1, 16, 19], за исключением тех случаев, когда речь идёт о карбонатитовых обособлениях и реликтах вмещающих пород.

Камафориты слагают как линзовидные тела, приуроченные к контакту фойдолитов и сиенитов, так и жилы, тела неправильной формы в ассоциации с карбонатами. Их становление началось в докарбонатитовый этап и продолжалось на протяжении формирования и изменения карбонатитов. Возраст камафоритов, полученный по флогопиту, колеблется от 800 ± 2 до 699 ± 31 млн лет. U-Pb датирование цирконов, выполненное С.Г.Скубловым (ГУП ВСЕГЕИ, публикация в печати) из наших образцов, показало возраст 400 Ма, что позволяет предположить более молодой возраст камафо-

ритов или, учитывая зональность цирконов, говорить о многоэтапности их формирования.

Результаты изучения массива Томтор приводятся в трудах многих исследователей, в том числе и в наших публикациях последних лет [4, 16, 21, 23 и др.]. Находки самородного золота непосредственно в породах массива [20], а также выявление в ближайшей к нему россыпи р. Маят железистой платины с силикатным включением, которое по минералого-химическому составу идентично мельтейгиту [9], показывают, что Томторский рудно-магматический комплекс может обладать вполне продуктивным благороднометалльным потенциалом, требующим дальнейшего внимательного рассмотрения.

Фактический материал и методы исследования. Анализировался преимущественно оригинальный керновый материал, отобранный авторами из скв. 801 глубиной 177 м, пройденной при оценочных работах, выполненных предприятием «Якутскгеология» в пределах Северного участка массива Томтор [18]. Для сравнения исследовались отдельные образцы из проб других скважин. Всего было изготовлено и изучено 225 шлифов и 225 аншлифов. Используются традиционные методы текстурно-структурного анализа минеральных ассоциаций в проходящем и отражённом свете.

Аналитические исследования выполнялись в Центре коллективного пользования ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Состав минералов определялся при помощи электронного сканирующего микроскопа с полевой эмиссией TESCAN MIRA 3, оборудованного энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с детектором XMax-80. Методом сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной спектроскопии проанализировано 10 образцов (аналитики Н.С.Карманов, Е.В.Лазарева). Химический состав проб пород из керна скв. 801 (табл. 1) определён методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (аналитик Н.Г.Карманова).

Минералого-геохимические особенности апатит-магнетитовых руд. Состав пород и руд, слагающих главное тело камафоритов месторождения Онкучах и изученных нами, приводится в табл. 1. В породах установлено наличие РЗЭ до 1%, ThO₂ до 0,1%, Y₂O₃ до 0,4%. Максимальные их концентрации характерны для массивных апатитовых руд из камафоритов. Содержание Nb₂O₅ достигает 0,23%,

1. СОСТАВ ПОРОД И РУД ПО РАЗРЕЗУ СКВ. 801, масс. %

Глубина, м	Породы, руды	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{общ.}	MnO	MgO	CaO	BaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	п.п.п.	Σ
26,4	Камафориты	37,55	2,01	18,70	13,41	3,03	3,42	8,12	0,77	0,10	0,65	3,70	0,70	0,09	7,58	99,85
27,4	Апофидолиты	42,27	1,53	22,68	10,19	0,26	3,14	7,40	1,92	0,09	1,01	2,45	0,94	0,27	5,67	99,81
35,2	Апатитовые руды	15,19	0,69	5,40	2,62	0,23	0,22	39,34	0,10	0,59	0,16	3,73	23,46	1,48	3,80	97,00
41,9	Камафориты	36,79	2,02	19,05	10,89	0,32	5,13	10,65	0,41	0,25	3,48	4,83	2,22	0,94	2,85	99,84
48,0	Карбонатиты	7,08	0,13	2,55	15,33	0,46	9,81	27,35	0,06	0,12	0,01	1,43	0,22	0,12	35,29	99,95
59,5	Камафориты	25,59	5,15	8,97	16,71	0,46	7,22	14,41	0,10	0,30	0,12	5,43	3,99	0,43	10,79	99,69
61,6	Магнетитовые руды	20,56	3,69	8,48	45,38	0,68	9,01	3,21	0,08	0,08	0,54	3,51	1,51	2,74	0,23	99,70
62,9	Камафориты	20,41	2,38	4,93	12,82	0,44	12,41	17,67	0,24	0,15	0,90	2,88	0,07	0,49	23,88	99,68
63,95	Камафориты	31,14	3,17	11,12	22,64	0,43	10,99	5,31	0,26	0,19	0,41	6,93	0,90	5,27	0,91	99,69
102,8	Апофидолиты	49,70	0,80	19,71	7,39	0,16	1,90	3,12	0,74	0,17	1,41	11,45	0,21	0,61	2,57	99,93
111,1	Карбонатиты	11,33	1,80	4,43	8,44	0,47	6,51	31,68	0,05	0,50	0,01	2,86	8,11	0,42	23,07	99,67
111,9	Апофидолиты	37,52	2,16	19,04	11,19	0,28	5,48	11,43	0,31	0,25	3,16	5,22	2,24	0,84	0,12	99,25
112,6	Апатитовые руды	0,61	0,49	0,33	4,30	0,63	2,98	50,38	0,06	1,08	0,21	0,09	23,16	0,90	12,61	97,83
119,6	Магнетитовые руды	6,67	4,19	2,65	73,38	1,18	1,82	2,48	0,05	0,13	0,13	0,85	0,58	5,54	0,24	99,90
124,6	Магнетитовые руды	28,65	3,51	10,41	37,20	0,69	9,52	2,37	0,10	0,03	0,11	5,45	0,58	1,32	0,08	100,04
134,6	Камафориты	37,41	7,08	14,62	19,30	0,16	5,45	4,57	0,10	0,15	0,85	1,40	2,30	0,57	5,78	99,72
144,9	Апофидолиты	36,37	2,22	15,09	9,86	0,23	3,70	10,96	0,18	0,45	2,20	7,63	1,35	0,16	9,28	99,68
166,4	Карбонатиты	8,62	2,16	5,64	1,41	0,17	0,36	43,22	0,77	5,65	2,80	0,13	0,15	0,18	28,38	99,65
176,6	Камафориты	28,04	1,36	10,11	11,43	0,35	8,54	19,52	0,18	0,52	0,24	6,05	2,03	0,51	10,97	99,84

Примечание. Апофидолиты – метасоматически изменённые и карбонатизированные фидолиты.

максимальные концентрации отмечены в массивных магнетитовых рудах с большим количеством сульфидов. Содержание TiO₂ в массивных магнетитовых рудах с обилием сульфидов достигает 7%, но снижается до полного отсутствия в массивных апатитовых рудах и интенсивно карбонатизированных участках. Повсеместно отмечается присутствие V₂O₅, ZrO₂, ZnO, CuO, SrO, Cr₂O₃ и NiO от 0,0n до 0n%, изредка встречаются MoO₃ и WO₃ в количествах от 0,00n до 0,0n%.

Главные минералы апатит-магнетитовых руд – титаномagnetит, апатит, карбонаты, биотит, второстепенные и акцессорные – пироксен, нефелин, анальцит, хлорит, амфибол, мусковит, меланитовый гранат, кварц, рутил, различные сульфиды, хлорит-слюдистые агрегаты, карбонаты редкоземельных элементов и др.

Минеральный состав изучаемых пород значительно варьирует, в основном в пределах (в объёмных %): 30–70 магнетита, 10–50 карбонатов, 5–

60 апатита, 5–15 биотита, 5–15 сульфидов, 1–2 гидроксидов железа и 1–5 прочих минералов. Состав изменяется в зависимости от пространственного расположения – они могут быть в различной степени карбонатизированными, проработанными гидротермально и подвержены гипергенным процессам. Для них характерно большое количество реликтовых минералов силикатных пород – нефелиновых и щелочных сиенитов, ультраосновных щелочных пород, а также карбонатитовых обособлений.

Форма зёрен минералов в апатит-магнетитовых рудах варьирует от идиоморфных изометрично-полигональных (пирит, магнетит, титанит, циркон, апатит, гранат, нефелин) и призматических (пироксен, барит, миллерит) до игольчато-волокнистых (стронцианит, паризит, соли галогенов) и пластинчато-чешуйчатых (биотит, мусковит, хлорит).

По относительному размеру зёрен преобладают порфирокластические структуры, в меньшей

степени распространены порфиробластическая, неравнозернистая, редко встречается равномернозернистая. Размеры зёрен основных минералов камафоритов (магнетит, апатит, биотит) достигают первых сантиметров (до 5 см), а редкие выделения рудных и аксессуарных минералов могут иметь очень мелкие размеры до нескольких микрометров (рис. 2–5).

Для граната, титанита, полевых шпатов, циркона, пироксенов, амфибола, мусковита, хлорита, скаполита, нефелина, ильменита, ульвошпинели, армалколита, рутила, псевдорутила, карбонатов,

пирита, галенита, сфалерита, халькопирита, роксбеита, барита, баритоцелестина характерны размеры индивидов преимущественно от 1 мм до 5 мкм, для солей галогенов, золота, пирохлора, миллерита, пирротина – <5 мкм. По кристалличности камафориты представлены в основном аллотриоморфнозернистыми, идиоморфно- и гипидиоморфнозернистыми структурами. В апатит-магнетитовых рудах преобладают массивные и брекчиевидные текстуры, которые могут содержать признаки вкрапленной, пятнистой и прожилковой текстур.

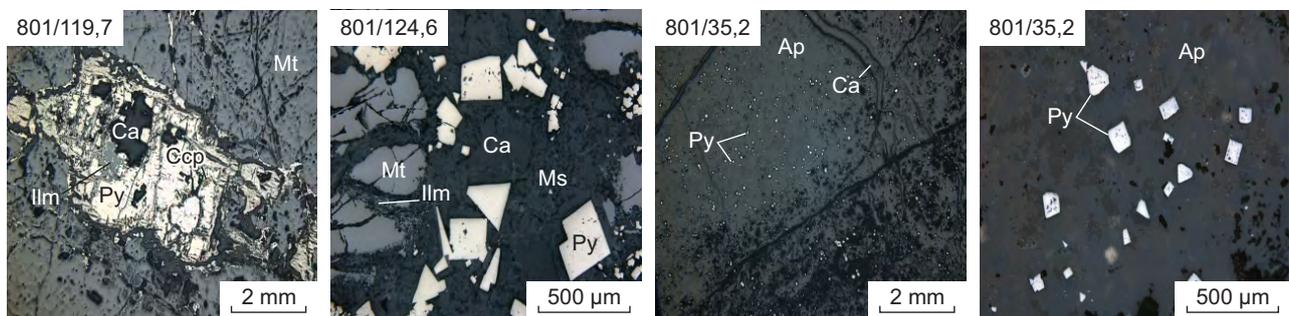


Рис. 2. КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНОЕ ГНЕЗДО И КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНЫЕ ПРОЖИЛКИ В МАССИВНОМ ТИТАНОМАГНЕТИТЕ, ОБР. 801/119,7; ИДИОМОРФНЫЕ И ГИПИДИОМОРФНЫЕ КРИСТАЛЛЫ ПИРИТА В КАЛЬЦИТ-СЕРИЦИТОВОМ АГРЕГАТЕ, ОБР. 801/124,6; ВКРАПЛЕННОСТЬ ПИРИТА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ С КАРБОНАТНЫМИ ПРОЖИЛКАМИ, ОБР. 801/35,2; ВКРАПЛЕННОСТЬ ИДИОМОРФНОГО ПИРИТА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ, ОБР. 801/35,2. ФОТО В ОТРАЖЁННОМ СВЕТЕ, НИКОЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫ:

Ap – апатит, Ca – кальцит, Ilm – ильменит, Mt – магнетит, Ms – мусковит, Py – пирит, Ccp – халькопирит

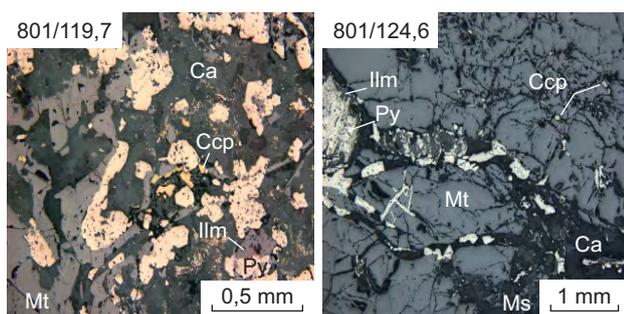


Рис. 3. КСЕНОМОРФНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ В КАРБОНАТНОЙ ЖИЛЕ С РЕЛИКТАМИ МАГНЕТИТА, ОБР. 801/119,7; КАРБОНАТНО-СУЛЬФИДНЫЕ ПРОЖИЛКИ, СЕКУЩИЕ МАССИВНЫЙ ТИТАНОМАГНЕТИТ, ОБР. 801/124,6. ФОТО В ОТРАЖЁННОМ СВЕТЕ, НИКОЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫ:

обозн. см. на рис. 2

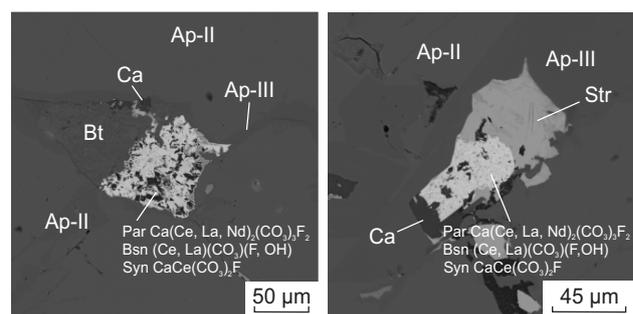


Рис. 4. КАРБОНАТНЫЕ ГНЁЗДА В МАССИВНОМ АПАТИТЕ, ОБР. 801/62,9. СКАНИРУЮЩИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП, СЪЁМКА В РЕЖИМЕ ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Ap – апатит, Bt – биотит, Ca – кальцит, Str – стронцианит, Par – паризит, Bsn – бастнезит, Syn – синхизит

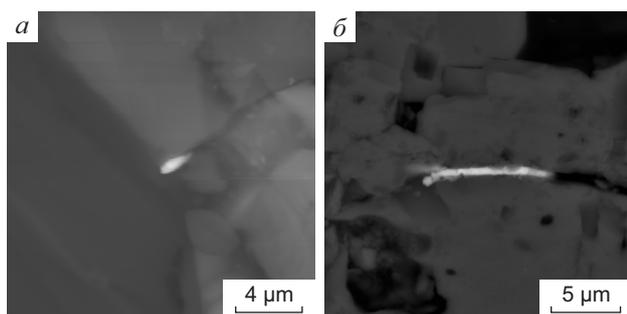


Рис. 5. САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В КАРБОНАТЕ КАМАФОРИТОВ (а) И ПИРИТЕ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ СИЕНИТОВ МАССИВА ТОМТОР (б). КАРТИНЫ В ОТРАЖЁННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

Титаномагнетит – один из основных минералов камафоритов и магнетитовых руд – по данным микрозондового анализа постоянно содержит примесь TiO_2 в пределах первых процентов, редко достигая 10–20%. Как правило, отмечаются также примеси Al_2O_3 , MnO и V_2O_5 – первые десятые процента, иногда 1%. В титаномагнетитах с высоким содержанием TiO_2 нередко наблюдаются продукты твёрдофазного распада, представленные тонкопластинчатыми и веретенообразными выделениями ильменита. По сравнению с вмещающим титаномагнетитом в ильмените (51–52% TiO_2 , 40–47% $FeO_{общ.}$) понижено содержание V_2O_5 , редко достигающее 0,5%, но повышено количество примеси MnO (0,3–2, реже до 4–6%), а также Nb_2O_5 – от первых десятых до 1,8%. Иногда ильменит образует самостоятельные зёрна пластинчатой, округлой или неправильной формы (см. рис. 2, 3).

В ассоциации с титаномагнетитом и ильменитом встречаются мельчайшие выделения рутила пластинчатой или игольчатой формы и неправильные микрозёрна псевдобрукита. В рутиле постоянно содержится примесь FeO (0,3–1,9%) и Nb_2O_5 (0,7–2,3%), спорадически присутствуют Al_2O_3 , CaO и V_2O_5 – не более 0,5%. Псевдобрукит, состоящий из 59–62% TiO_2 и 30–34% Fe_2O_3 , содержит незначительное количество примесей Al_2O_3 , MgO , CaO , V_2O_5 до 0,5% и значительное – MnO и Nb_2O_5 , достигающее в некоторых зёрнах 7 и 4% соответственно.

Anatit представлен гипидиоморфными кристаллами, часто образующими тесные их сращения, которые занимают до 10–15% от объёма камафоритов, в апатитовых рудах – значительную часть породы. По составу апатит из камафоритов

массива Томтор представлен стронциевым фторапатитом, в котором по 23 микрозондовым анализам постоянно присутствуют F (3,4–5,2%), SrO (1,7–5,7%), а также определены Ce_2O_3 (до 0,5%), La_2O_3 (до 0,3%), а в отдельных зёрнах и Nd_2O_3 до 0,24%. Как было показано ранее [19], наиболее стронциевые фторапатиты характерны для магнетитовых руд месторождения Онкучах и ийолитов, в то время как апатиты из пикритов и карбонатитов менее обогащены стронцием. Вариации элементов примесей РЗЭ и фтористости апатитов отражают полистадийное преобразование камафоритов и карбонатитов в результате автотермометаморфического гидротермального наложения редкоземельной минерализации и их последующего гипергенного изменения [7].

Биотит является одним из наиболее распространённых минералов камафоритов Томторского массива. По химическому составу слюды камафоритов занимают промежуточное положение в ряду флогопит – аннит с существенной долей сидерофиллитового минала (рис. 6, а), по номенклатуре отвечают биотитовой серии слюд [14]. Среди них можно выделить две разрозненные разности: флогопит (залитые кружки на диаграмме) и аннит (незалитые кружки). Флогопит отличается не только высокой магнезиальностью (12–16% MgO), но и устойчивым повышенным содержанием MnO , которое всегда $>0,7\%$ и достигает 1,15%, в то время как в анните его количество не превышает 0,35% (табл. 2). Обе разновидности биотита характеризуются повышенной титанистостью от 0,4 до 3,6% TiO_2 . Часто его пластинки имеют зональное строение – магнезиальное ядро и более железистые края. Железистость повышена и вдоль карбонатных прожилков.

Помимо слюд биотитовой серии, в камафоритах встречается мусковит. Последний, кроме FeO (0,6–5,6%), не содержит каких-либо других примесей, доступных микрозондовому определению. В отличие от биотитовых слюд мусковит представлен мелкочешуйчатым серицитовым агрегатом. Ассоциирует с биотитом, хлоритом, каолинитом.

Андрадит в камафоритах образует тёмно-бурые округлые зёрна с реликтами кристаллических форм и плотные аллотриоморфнозернистые скопления. Гранат представлен титанистыми разновидностями, которые традиционно разделяются на меланит (залитые кружки на рис. 6, б) и шорломит (незалитые кружки). В меланите содержится менее

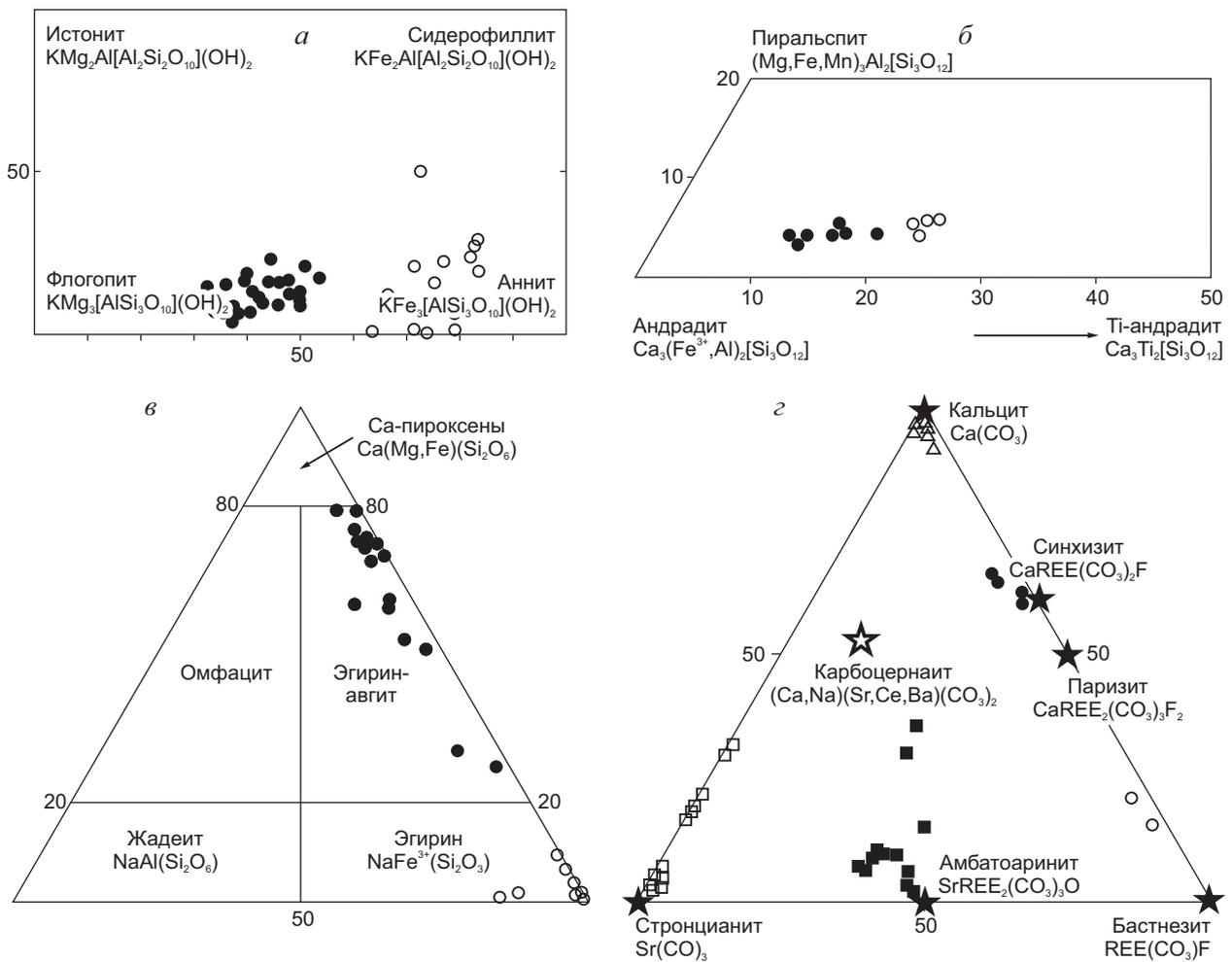


Рис. 6. ДИАГРАММЫ МИНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ БИОТИТОВ (а), ГРАНАТОВ (б), ПИРОКСЕНОВ (в), КАРБОНАТОВ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (г)

6% TiO_2 , в шорломите – от 6 до 8% (см. табл. 2), что соответствует 22–24% Тi-андрадитового минала.

Сфен встречается в виде сплошных масс и зернистых агрегатов, реже в виде гипидиоморфных кристаллов размером до 1 см. В сфене микрондовым анализом установлены примеси (вес. %): Al_2O_3 (0,2–0,5), FeO (1,5–2,6), V_2O_5 (до 0,4), ZrO_2 (до 1,1), Nb_2O_5 (до 1), т.е. по содержанию он близок к минералу из карбонатитов [11].

Пироксен в камафоритах, по-видимому, является реликтовым минералом первичных фойдолитов и представлен непрерывной серией от эгирин-авгитов до практически чистого эгирина (см. рис. 6, в). Пироксены содержат <19% CaO, не более 3% Al_2O_3 , повышенное количество Na_2O (см. табл. 2) и согласно классификации Ca-Mg-Fe и Na-пироксенов [13] попадают в поле эгирин-авгитов

(при содержании 2,8–9,9% Na_2O). Пироксены с большим количеством натрия занимают поле эгирина.

Нефелин также, вероятно, – реликтовый минерал от пироксен-нефелиновых материнских пород. По химическому составу нефелин из камафоритов Томторского массива (см. табл. 2) содержит в мол. %: $NaAlSiO_4$ 76,7, $KAlSiO_4$ 23, SiO_2 0,3, т.е. минерал близок к идеальной формуле нефелина $Na_3K[Al_4Si_4O_{16}]$ с незначительным дефицитом кремнезёма. Чаше встречается минерал, по составу близкий к *анальциму* (см. табл. 2). Следовательно, появление этого минерала здесь вполне закономерно, так как он может образовывать эгирин-анальцим-нефелиновую ассоциацию в щелочных породах.

Ортоклаз в камафоритах содержит небольшое количество Na_2O и CaO – не более первых десятых долей процента, но в нём часто повышена

2. СОСТАВ СИЛИКАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД ТОМТОРСКОГО МАССИВА, масс. %

Глубина, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Σ
<i>Биотиты</i>											
26,4	39,40	2,27	11,84	0,00	17,31	0,80	14,81	0,27	0,00	8,27	94,96
26,4	35,10	2,84	13,58	0,00	31,71	0,35	5,36	0,00	0,00	8,87	97,80
62,9	35,10	2,74	11,20	0,00	32,51	0,21	3,98	0,17	0,00	9,37	95,28
62,9	37,84	2,35	10,71	0,42	19,21	0,66	14,33	0,00	0,13	9,88	95,53
124,6	37,45	1,42	11,88	0,00	28,96	0,00	8,16	0,14	0,00	9,33	97,34
124,6	37,73	2,85	10,88	0,36	22,05	0,89	12,34	0,00	0,00	9,80	96,90
144,9	37,35	2,27	10,79	0,53	22,38	1,03	12,48	0,00	0,00	9,86	96,68
<i>Мусковиты</i>											
26,4	44,88	0,00	35,42	5,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	95,84
102,8	45,09	0,00	37,61	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	11,40	95,27
<i>Андрадиты</i>											
26,4	33,49	7,31	0,57	26,03	0,71	0,56	0,33	31,50	0,28	0,00	100,77
26,4	35,14	3,59	0,49	27,61	1,02	0,52	0,28	31,48	0,30	0,00	100,42
62,9	32,15	6,86	0,74	25,43	0,65	0,59	0,51	30,96	0,38	0,00	98,27
<i>Пироксены</i>											
26,4	52,26	0,22	0,51	8,00	7,07	0,57	8,89	18,03	3,41	0,12	99,07
59,6	50,89	2,12	0,23	31,26	0,00	0,00	0,63	0,74	12,75	0,06	98,68
61,6	53,13	0,30	0,57	5,89	8,14	0,68	9,37	19,08	2,80	0,02	99,99
62,9	53,88	0,12	2,95	28,00	0,00	0,00	0,46	0,27	14,26	0,07	100,01
62,9	53,41	0,00	0,45	7,85	6,02	0,72	9,62	18,48	3,46	0,09	100,11
144,9	53,35	0,00	0,66	21,69	2,00	0,43	3,38	8,22	9,38	0,22	99,32
<i>Нефелин</i>											
61,6	41,77	0,00	33,08	0,00	1,90	0,00	0,00	0,15	16,31	7,42	100,64
<i>Анальцим</i>											
144,9	50,32	0,00	27,16	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	17,04	0,00	95,20

Примечание. Содержание Fe₂O₃ рассчитано по стехиометрической формуле минерала.

концентрация BaO до 1–2%, в редких случаях 5–10%, что составляет 11–21 мол. % цельзианового компонента BaAl₂Si₂O₈, т.е. они относятся к бариевому полевому шпату гиалофану – (K, Ba)AlSi₃O₈.

Циркон образует идиоморфные тетрагональные кристаллики или ксеноморфные интерстициальные выделения небольших размеров. В нём фиксируется незначительное содержание примесей петрогенных элементов – TiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, обычно не превышающее первых десятых процента. В таком же количестве присутствуют примеси BaO, SrO, Sc₂O₃, Pr₂O₃ и Nd₂O₃, а Ce₂O₃, ThO₂, UO₂, HfO₂ и Nb₂O₅ устанавливаются в наиболее ощутимых количествах, часто в пределах 0,5–1, реже 1–2%.

Карбонаты в камафоритах и содержащихся в них карбонатитовых обособлениях в основном сложены кальцитом, реже доломитом, анкеритом, встречаются мелкие и микроскопические выделения карбонатов Sr, PЗЭ. В кальците, кроме петрогенных примесей, часто фиксируется наличие ощутимых количеств Sr, PЗЭ (табл. 3), причём сумма PЗЭ может достигать 7–14%. В камафоритах Томторского массива довольно часто отмечаются отдельные мелкие выделения фторкарбонатных минералов PЗЭ (см. рис. 4) и барийсодержащих стронцианитов. Поэтому авторы вынесли составы этих парагенетически взаимосвязанных минералов на тройную диаграмму Ca–REE–Sr (см. рис. 6, з), где видно, что недалеко от состава кальцитов, содер-

жащих РЗЭ, располагаются точки синхизита и фаз, попадающих в промежуточное положение между паризитом и бастнезитом.

Паризит характеризуется составом, близким к формуле $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$, но с более низким содержанием CaO , обусловленным, возможно, изоморфным замещением кальция другими петрогенными элементами. Суммы РЗЭ и количество F в паризите из камафоритов (см. табл. 3) совпадают с данными анализов подобных минералов из других известных объектов карбонатитов [11].

Амбатоаринит объединяет большую группу микроскопических фаз, состав которых на диаграмме (см. рис. 6, 2) распределяется между бастнезитом и стронцианитом. По мере увеличения содержания кальция их состав постепенно приближается к точке карбоцернаита, т.е. можно предположить, что между амбатоаринитом и карбоцернаитом существует непрерывный твёрдый раствор. Следует отметить повышенное содержание в амбатоарините Y_2O_3 и ThO_2 , достигающее 1 и 1,3% соответственно.

Стронцианит характеризуется значительным содержанием кальция и бария, что выражается в появлении вытянутого кальцио-стронцианитового поля при небольшой молекулярной доле примесей РЗЭ. Таким образом, можно заключить, что в камафоритах Томторского массива широко развита редкометалльная фторкарбонатная минерализация, выраженная в образовании трёх прерывистых серий твёрдых растворов между кальцитом – бастнезитом, амбатоаринитом – карбоцернаитом и стронцианитом – кальцитом.

Сульфиды в камафоритах широко распространены и представлены преимущественно пиритом, халькопиритом, сфалеритом, в меньшей степени галенитом, пирротинном, миллеритом, роксбеитом.

Пирит встречается в виде трёх разновидностей: идиоморфных кубоктаэдрических и кубических кристаллов и их сростков; аллотриоморфно-зернистых агрегатов; массивного жильного пирита (см. рис. 2, 3). В отношении примесей идиоморфный пирит чист, для ксеноморфного характерна примесь Co (до 5%), для жильного – примесь Ni (до 0,6%).

Халькопирит присутствует в виде ксеноморфных выделений в сульфидных прожилках, апофизах и зальбандах карбонатных прожилков (см. рис. 2, 3). Образует едва заметную эмульсионную структуру распада в сфалерите.

Сфалерит представлен вкрапленностью идиоморфных зёрен размером до 10 мкм, которая локализуется на границах зёрен магнетита в сидеритовых прожилках на контакте с титанитом, приурочен к границам структур распада ильменита в магнетите. Для сфалерита характерны примеси Fe до 7, Cd до 1,5 и Cu до 1,2%, в меньших количествах встречаются разновидности без примесей.

Галенит образует вкрапленность небольших (в среднем 5–10 мкм) изометричных зёрен в сульфидах (пирите и халькопирите), цирконе, карбонатах и гранате.

Пирротин крайне редко фиксируется в виде реликтов в пирите, которым практически полностью замещается. Характерно наличие примесей Co и Ni .

Миллерит обнаружен в кальците, имеет вытянутый облик и кристаллографические очертания. Длина зёрен 2 мкм, ширина 1 мкм. Установлены примеси Co от 0,6 до 5,6%.

Роксбеит по составу отвечает формуле $\text{Cu}_{1,78}\text{S}$, представлен зёрнами длиной до 0,4 мм, шириной 0,1 мм, отмечающимися в пиритовых жилках.

Сульфаты в камафоритах представлены баритом и баритоцелестином. Барит находится в виде идиоморфных кристаллов до 20 мкм, баритоцелестин образует тонкие каёмки в хлорите толщиной до 3 мкм на контакте кристалликов барита и каолинит-хлорит-серицитового агрегата.

В камафоритах также присутствуют *соли галогенов*, однако к настоящему времени их точный состав достоверно не определён ввиду их маленького размера и, как следствие, большой погрешности измерений. Достоверно выяснено лишь то, что в карбонате камафоритов присутствуют соли хлора и бора. Соли имеют игольчато-волоконистый облик или образуют вкрапленность зёрен неправильной формы.

Полученные данные позволили предположить, что силикатно-магнетит-апатитовые руды массива Томтор образовались в три этапа: магматический, гидротермальный и гипергенный. Начало формирования изучаемых пород связано с внедрением фойдолитов (нефелин-пироксеновых пород уртитякупирангитового ряда). При последующем внедрении щелочных и нефелиновых сиенитов происходило их метасоматическое преобразование, в результате чего появились скопления массивного титаномагнетита, апатита и крупнопластинчатые агрегаты флогопита. При этом в апатит-магнети-

3. СОСТАВ КАРБОНАТНЫХ МИНЕРАЛОВ ИЗ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД ТОМТОРСКОГО МАССИВА, масс. %

Глубина, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SiO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pt ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	Nb ₂ O ₅	F	Σ
<i>Кальцит</i>																						
59,6	0,47	0,58	0,00	0,31	1,10	0,73	42,59	0,00	0,00	0,00	0,78	1,69	0,59	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	50,08
59,6	0,26	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	51,76	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,44	1,56	0,00	56,23
59,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,44	0,00	0,00	0,00	2,16	7,78	2,73	0,53	1,33	0,00	0,28	1,17	0,00	0,00	0,00	55,43
124,6	0,00	0,00	0,00	2,57	0,58	0,12	50,65	0,00	0,12	0,00	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	54,86
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	49,98	0,00	0,00	0,54	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,50
<i>Синхизит</i>																						
124,6	0,36	2,10	0,00	8,36	0,00	0,00	12,80	0,00	0,00	0,00	1,08	22,90	14,46	2,06	5,60	0,00	0,29	0,40	0,00	0,00	5,63	76,04
124,6	0,21	2,59	0,00	6,74	0,00	0,00	13,27	0,00	0,00	0,00	0,84	23,13	14,62	2,15	5,71	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	5,18	74,86
124,6	0,34	0,00	0,43	2,60	0,00	0,00	17,04	0,00	0,00	0,00	2,61	23,14	16,76	2,25	4,59	0,41	0,36	0,00	0,00	0,00	8,24	78,77
<i>Паризит</i>																						
124,6	0,77	0,58	0,38	1,18	0,00	0,00	3,16	0,00	0,00	0,00	1,08	33,31	22,72	2,94	7,40	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	7,67	81,65
124,6	0,56	1,82	0,47	1,90	0,00	0,00	2,24	0,00	0,00	0,00	0,67	33,13	22,77	2,77	7,15	0,56	0,00	0,48	0,00	0,00	7,56	82,07
<i>Амбатоаринит</i>																						
59,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,63	0,00	0,00	1,02	17,29	23,09	10,18	2,11	10,04	0,00	0,77	1,27	0,00	0,00	2,38	75,78
62,9	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	3,29	0,00	0,00	0,50	16,53	24,95	19,48	2,01	5,08	0,42	0,43	0,99	0,00	0,00	1,14	75,18
62,9	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	22,58	22,05	12,94	2,13	6,70	0,59	0,62	0,00	0,00	0,00	0,41	70,01
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	22,72	24,64	11,50	2,69	5,94	0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	1,14	70,79
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	18,41	28,56	13,14	2,35	7,31	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	71,20
<i>Стронцианит</i>																						
62,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,22	0,23	66,22	1,10	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,86
62,9	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	7,57	0,00	0,00	0,59	59,69	0,59	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,24
144,9	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,95	0,42	0,39	0,00	61,39	3,71	1,08	0,00	1,21	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	70,35
144,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,63	0,00	0,00	3,15	50,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,19

Примечание. Результаты приведены без учёта CO₂, что отражается в низкой сумме анализов.

товых рудах наблюдаются реликтовые минералы первичных силикатных нефелин-пироксеновых пород. В дальнейшем, во время становления карбонатитов, интенсивная карбонатизация сформировавшихся ранее пород постепенно переходит в гидротермальный этап. При воздействии карбонатитового флюида апатит частично или полностью замещается карбонатом (см. рис. 4), причём, вблизи новообразованного карбоната апатит отличается по составу от массивного камафоритового апатита. Массивный камафоритовый апатит (Ap II) является стронциевым редкоземельным фторапатитом, а апатит вблизи карбонатных гнёзд (Ap III) практически не содержит стронция, TR и F. В то же время, карбонат в гнёздах содержит примеси TR, Y и Sr, вплоть до образования карбонатов этих элементов. Согласно А.Г.Булаху и В.В.Иванникову [3], для полного замещения апатита карбонатом нужны низкая активность H_2PO_4 ($Ig_a(PO_4)^{-3} < 10^{-6}$), максимальные для процесса карбонатизации температуры (550–600°C), высокощелочная среда ($Ig_a(H^+) < 10^{-7}$) и высокая активность CO_2 ($Ig_a(CO_2) > 10^{-1}$). Ограниченность этих условий крайними указанными значениями приводит к тому, что в пределах массива не весь апатит замещается кальцитом. Значительная его доля сохраняется в виде реликтовых, не полностью резорбированных зёрен и их агрегатов.

Как уже отмечалось, апатит из камафоритов является Sr-фторапатитом с высокими содержаниями Y, TR и Th. Процесс замещения апатита карбонатом обуславливает специфический состав карбонатных прожилков и гнёзд, обнаруженных внутри апатита. Установлено повышение содержания Sr, Y, TR, Th (см. рис. 4) для карбонатов внутри апатита вплоть до появления среди них стронцианита и фторкарбонатов РЗЭ (бастнезита, синхизита, паризита).

После карбонатизации начался гидротермальный этап, который разделяется на карбонатно-сульфидную и нефелин-скаполитовую стадии. В этот этап возникли карбонатные, сульфидные, карбонатно-сульфидные прожилки, которые затем секутся нефелиновыми и скаполитовыми образованиями. В течение заключительного гипергенного этапа появились гидрослюдь, глинистые минералы, оксиды и гидроксиды Fe и Mn [1]. Авторы не исключают участие в формировании апатит-магнетитовых руд процессов ликвационного разделения расплавов. Для полного объяснения

условий формирования пород необходимо проведение дополнительных исследований.

В карбонате с повышенным содержанием Sr и РЗЭ при помощи электронного сканирующего микроскопа наблюдается наличие мельчайших включений, содержащих щёлочи, F, Cl, Br и S, хотя не удаётся установить их качественный минеральный состав. В одном из таких включений камафорита (скв. 801, глубина 59,5 м) обнаружено зерно самородного золота размером 1 мкм (см. рис. 5). По данным микрозондового анализа в нём содержатся, вес. %: Au 74,67, Ag 5,53, Cu 2,33, Si 0,26, Al 0,1, Fe 0,22, Mg 0,03, Ca 7,03, Na 0,26, K 0,13, Ba 1,27, Sr 2,5, Cl 0,05, O 5,61. Можно предположить, что элементы, помимо Au, Ag и Cu, заимствованы в связи с малым размером зерна золота из вмещающего карбоната при захвате электронным зондом окружающего субстрата. В таком случае нормализованный состав самородного золота будет $Au_{90,5}Ag_{6,7}Cu_{2,8}$. Подобное тончайшее микровключение золота пластинчатой формы длиной ~5 мкм при толщине 0,5 мкм найдено также в одном образце щелочных сиенитов [20] из скв. 7209 в трещине пирита (см. рис. 5). В этом зерне золота микрозондовым анализом определены, вес. %: Au 44,47, Ag 27,55, Fe 15,41, S 26,52. Очевидно также, что значительное количество Fe и S заимствовано из вмещающего субстрата – пирита, т.е. при пересчёте содержания золота и серебра на 100% получим примерный состав $Au_{62}Ag_{38}$.

Принимая во внимание первые находки золота, насыщенность, судя по анализу включений в карбонате, карбонатитового флюида HCl и учитывая высокие содержания сульфидов в камафоритах и карбонатитах [6], можно предположить наличие золотого оруденения в породах массива Томтор. При этом, вероятнее всего, золотое оруденение приурочено к карбонатитам, пространственно и генетически связанным с камафоритами [5].

В результате проведённых комплексных исследований образцов пород из скв. 801 месторождения апатит-магнетитовых руд Онкучах было установлено, что тело силикатно-магнетит-apatитовых пород, названное ранее камафоритами [1, 16, 19], содержит обособления карбонатитов, метасоматически изменённых карбонатизированных фойдитов, фойдолитов, щелочных и нефелиновых сиенитов. Данное наблюдение свидетельствует о сложном и долговременном формировании изучаемых пород. На основании текстурно-структурного ана-

лиза, минералогии и геохимии силикатно-магнетит-апатитовых пород месторождения Онкучах предложена последовательность образования минералов и показано, что апатит-магнетитовые руды массива Томтор – полигенные образования, становление которых происходило в собственно магматический и постмагматический этапы, синхронные с образованием главных фаз массива.

Силикатно-магнетит-апатитовые руды являются комплексной рудой на Fe и P с попутными TR. Кроме того, они – важный источник информации для определения причин образования уникальных концентраций полезных компонентов в карбонатитовых массивах. Для пород данного комплекса массива Томтор впервые выявлено наличие U, Th, Sc. В карбонатах и апатите обнаружены существенные концентрации TR, Th, Y.

Выдвинуто предположение, что наиболее вероятным источником золота в пределах массива Томтор служат ранние рудные карбонатиты и нефелиновые сиениты, которые, по нашему мнению,

могут содержать также минералы платиновой группы, что требует дальнейшего специализированного изучения.

Авторы выражают искреннюю благодарность Лазаревой Елене Владимировне и Карманову Николаю Семёновичу за помощь в проведении анализов и за конструктивные советы.

Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН (проекты № 0381-2016-0003 и 0381-2016-0004), проекта «Стратегически важные виды минерально-сырьевых ресурсов и особенности геологического строения инвестиционно привлекательных территорий Республики Саха (Якутия): металлогения, тектоника, магматизм, геоэкология, совершенствование поисковых и прогнозных технологий» Программы комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие её производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 гг., а также при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00390.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Л.Н., Толстов А.В., Лазарева Е.В., Карманов Н.С. Минералогия и геохимия апатит-магнетитовых руд массива Томтор // Мат-лы VII Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 5–7 апреля 2017 г. Якутск, 2017. Т. I С. 223–226.
2. Бородин Л.С., Лапин А.В., Харченков А.Г. Редкометалльные камафориты. – М.: Наука, 1973.
3. Булах А.Г., Иванников В.В. Проблемы минералогии и петрологии карбонатитов. – Л.: Недра, 1984.
4. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) / Е.В.Лазарева, С.М.Жмодик, Н.Л.Добрецов и др. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 6. С. 1080–1115.
5. Гусев А.И., Гусев Н.И. Золотоносные карбонатиты // Успехи современного естествознания. Пенза, 2014. № 11. С. 25–28.
6. Гусев А.И., Гусев Н.И. Мантийно-коровое взаимодействие в процессах генерации карбонатитов по изотопным данным стронция и неодима // Успехи современного естествознания. Пенза, 2011. № 4. С. 23–26.
7. Егоров Л.С. Редкоземельность и фтористость апатита как отражение условий образования, изменения и потенциальной рудоносности пород фоскорит-карбонатитовой группы в ийолит-карбонатитовых комплексах // Геохимия. 1984. № 1. С. 10–25.
8. Егоров Л.С. Фоскориты Маймеча-Котуйского ийолит-карбонатитового комплекса // ЗВМО. 1992. № 3. С. 13–26.
9. Золото-платиноносные россыпи бассейна р. Анабар и их возможная связь с щелочно-ультраосновными магматитами севера Сибирской платформы / А.В.Округин, А.И.Зайцев, А.С.Борисенко и др. // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 11–20.
10. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / А.А.Кухаренко, М.П.Орлова, А.Г.Булах и др. – М.: Недра, 1965.
11. Капустин Ю.Л. Минералогия карбонатитов. – М.: Наука, 1971.
12. Лапин А.В., Толстов А.В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 81–91.
13. Номенклатура пироксенов. Доклад подкомитета по пироксенам Комиссии по Новым минералам и названиям минералов ММА / М.Моримото, И.Ф.Гинзбург, Ф.А.Зайферт и др. // Минералогический журнал. 1989. № 5. С. 67–84.

14. Номенклатура слюд: заключительный доклад подкомитета по слюдам Комиссии по Новым минералам и названиям минералов ММА / М.Ридер, Г.Гавацини, Ю.С.Дьяконов и др. // ЗВМО. 1998. № 5. С. 55–65.
15. О последовательности геологических событий, связанных с внедрением Томторского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (северо-западная Якутия) / А.Р.Энтин, А.И.Зайцев, Н.И.Ненашев и др. // Геология и геофизика. 1990. Т. 31. № 12. С. 42–51.
16. Округин А.В., Толстов А.В. Петрогеохимическая характеристика сиенит-щелочно-ультраосновного силикатного комплекса пород Томторского массива (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2017. № 5. С. 56–66.
17. Поршнев Г.И., Степанов Л.Л. Геология и минерагения Уджинской провинции (северо-запад Якутской АССР) // Советская геология. 1981. № 12. С. 103–106.
18. Слепцов А.П., Толстов А.В., Баранов Л.Н. Новый взгляд на полезные ископаемые Томторского рудного поля // Мат-лы VI Всеросс. научн.-практ. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 6–8 апреля 2016 г. Якутск, 2016. С. 271–275.
19. Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 91–100.
20. Толстов А.В., Баранов Л.Н., Лазарева Е.В., Карманов Н.С. Первые данные о благороднометальном оруденении массива Томтор // Мат-лы VII Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», 5–7 апреля 2017 г. Якутск, 2017. Т. I. С. 462–467.
21. Толстов А.В., Коноплев А.Д., Кузьмин В.И. Особенности формирования уникального редкометалльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 20–26.
22. Толстов А.В., Тянь О.А. Геология и рудоносность массива Томтор. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999.
23. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России. – М.: НИИ «Природа», 2003.
24. Эрлих Э.Н. Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // ЗВМО. 1964. Т. 93. № 6. С. 682–693.
25. Philpotts A.R. Origin of certain iron titanium oxide and apatite rocks // Economic Geology. 1967. Vol. 62. N 3. P. 303–305.
26. Russel H.D., Hiemstra S.A., Groenveld D. The mineralogy and petrology of the carbonatite at Loolekop, Eastern Transvaal // Transactions of the Geological Society of South Africa. 1954. Vol. 57. P. 197–208.

NEW DATA ON MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF APATITE-MAGNETITE ORES OF THE TOMTOR MASSIF, NORTHEAST OF THE SIBERIAN PLATFORM

L.N.Baranov^{1,2}, A.V.Tolstov^{1,3}, A.V.Okругин⁴, A.P.Sleptsov⁵
 (1V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, 2Novosibirsk state university, 3PJSC «Alrosa», Mirnyy, 4Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, 5Co Ltd Yakutskgeologia, Yakutsk)

New data is given on mineralogy and geochemistry of kamaforites (apatite-magnetite ores) of Tomtor massif, including oxide-silicate main and secondary minerals, sulfide and carbonate rare minerals including accessory rare-earth phases. Ore gold was for the first time found in the carbonate of apatite-magnetite ores and in the pyrite of nepheline syenites within Tomtor massif. Elevated U, Th and Sc concentrations allowing to consider them as the source of high concentrations in carbonatites and their crusts of weathering were found in apatite-magnetite ores. Based on study results of texture-structure features, mineralogy and geochemistry of apatite-magnetite ores, the sequence of complex ores mineral formation at the magmatic and post-magmatic process stages synchronous with the main carbonatite phase of Tomtor massif formation is offered.

Keywords: Siberian platform, Tomtor, ultrabasic alkaline carbonatite complex, kamaforites, foskorites, apatite, magnetite, carbonate, rare-earth elements (REE), gold, platinum.

САМОРОДНОЕ ЗОЛОТО В РУДАХ И РОССЫПЯХ ГЛУХАРИНСКОГО УЗЛА, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ

Глухаринский рудно-россыпной узел расположен в центральной части Приколымского террейна. Он образован золоторудными месторождениями Надежда, Тый-Юрье, рудопроявлениями Глухаринское, Тёмный и шестью россыпными месторождениями золота. Выявленная минерализация относится к золото-редкометалльной и золото-серебряной формациям. В россыпях выделены пять минеральных типов самородного золота, соответствующих коренным источникам, различающимся по формационной принадлежности и составу вмещающих пород. Показана зависимость состава самородного золота Глухаринского узла от состава рудовмещающих комплексов. На примере золотого оруденения подтверждён эволюционный характер развития металлогении Приколымского террейна.

Ключевые слова: рудно-россыпной узел, самородное золото, россыпь, коренной источник, минеральный тип, состав, металлогения, эволюция.

Образование рудных месторождений является результатом дифференциации вещества земной коры и мантии, сопровождающейся длительной тектонической, магматической и флюидной активностью [15]. По причине тесной связи рудо- и породообразующих процессов расшифровка генезиса минерализации может способствовать продвижению в понимании механизмов такого перераспределения вещества. Наиболее актуально в данном контексте изучение террейнов с дорифейским возрастом субстрата, где оруденение формировалось в течение длительного времени.

Глухаринский рудно-россыпной узел находится в пределах Приколымского террейна пассивной континентальной окраины (рис. 1). Террейн сложен метаморфизованными протерозойскими песчаниками, метапелитами, карбонатными породами, метавулканидами и гипербазитами, несогласно перекрытыми терригенными, вулканогенно-осадочными и карбонатными породами палеозоя – мезозоя. Интрузивные комплексы представлены мелкими телами девонских и меловых гранитоидов, а также дайками позднемеловых базитов. Геологическое развитие Приколымья, начиная с рифея, происходило в обстановке пассивной континентальной окраины, которая осложнялась циклично проявленными рифтогенными процессами, а также изредка субдукционными и аккреционно-коллизийными [6]. Наиболее древние U-Pb датировки вещественных комплексов Приколымья составляют 2,04–2,36 млрд лет [1].

Вещественные комплексы Приколымского террейна вмещают минерализацию разного состава. Месторождения и рудопоявления золото-редкометалльной формации многочисленны и наи-



Глухов

Антон Николаевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
gluhov76@list.ru

Савва

Наталья Евгеньевна

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
savva@neisri.ru

Буляков

Григорий Халитович

кандидат геолого-минералогических наук

Фомина

Марина Ивановна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
fomina@neisri.ru

Бирюков

Александр Александрович

младший научный сотрудник
birukov@neisri.ru

ФГБУН Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
им. Н.А.Шило ДВО РАН,
г. Магадан

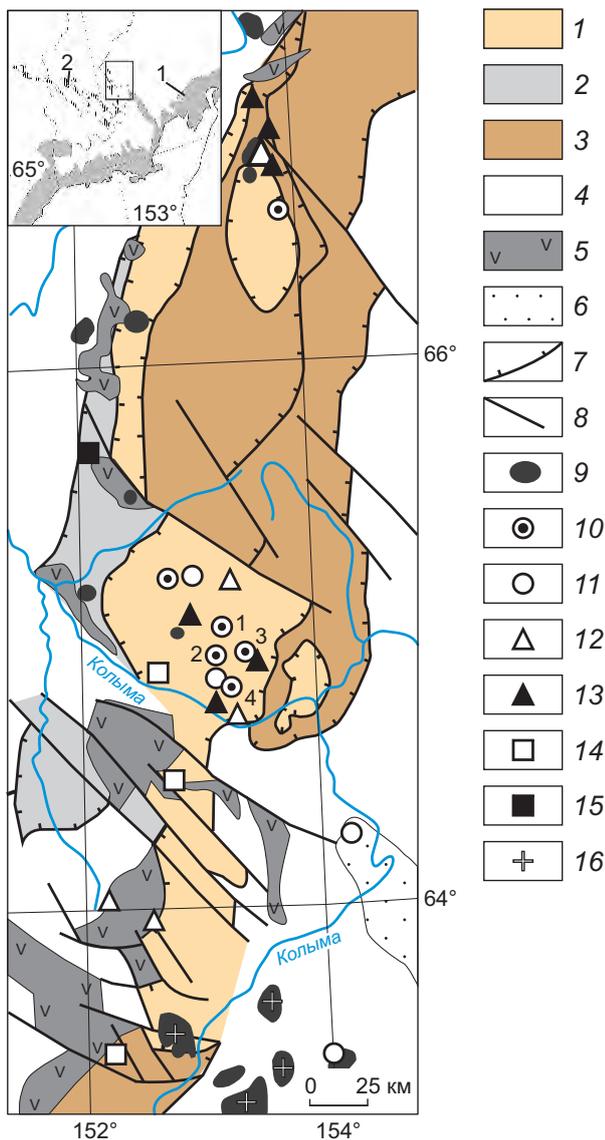


Рис. 1. ТЕКТОНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИКОЛЫМ-СКОГО ТЕРРЕЙНА И СМЕЖНЫХ СТРУКТУР:

Приколымский террейн, субтеррейны: 1 – Спиридоновский, 2 – Шаманихинский, 3 – Ярходонский; 4 – прочие террейны Яно-Колымского орогенного пояса; 5 – Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс; 6 – Балыгычано-Сугойский рифтогенный прогиб; 7 – надвиги; 8 – крутопадающие разломы; 9 – гранитоиды, PZ₂ и MZ; месторождения и рудопроявления различных геологических типов; 10 – мезотермальные жильные и штокверковые Au, 11 – эпитермальные жильные и штокверковые Au-Ag, 12 – штокверковые и жильные Cu-Pb-Zn, 13 – стратиформные Pb-Zn, 14 – стратиформные Cu, 15 – стратиформные Fe, 16 – жильные и штокверковые Sn; рудопроявления: 1 – Глухаринское, 2 – Тёмный, месторождения: 3 – Надежда, 4 – Тый-Юрье; на врезке: 1 – Охотско-Чукотский, 2 – Уяндино-Ясачненский вулканогенные пояса

более изучены, сопровождаются россыпями золота и группируются в два рудно-россыпных района – Шаманихо-Столбовской и Каменский. Они относятся к синаккреционному Яно-Колымскому металлогеническому мегапоясу [8]. Достаточно широко распространены золото- и серебросодержащие медные и полиметаллические рудопроявления, связанные с надсубдукционными комплексами Уяндино-Ясачненского вулканогенного пояса. На восточном фланге Приколымского террейна карбонатные толщи рифея и палеозоя вмещают стратиформную свинцово-цинковую минерализацию. В центральной и южной частях Приколымья среди рифейских метапелитов известны проявления медистых песчаников и сланцев, а также стратиформные гематитовые руды [25].

В пределах Шаманихо-Столбовского района золотое оруденение и россыпи образуют три узла, пространственно контролируемые контурами гранитоидных массивов. Узлы различаются по крупности и пробности золота; к их фланговым частям тяготеют наиболее богатые и крупные россыпи [2].

Глухаринский узел образован золоторудными месторождениями Надежда, Тый-Юрье, рудопроявлениями Глухаринское, Тёмный и шестью россыпными месторождениями золота (рис. 2). Геологическая структура узла чешуйчато-надвиговая, осложнена поздними крутопадающими разломами [6]. Чешуи прорваны редкими дайками гранитпорфиров и штоком гранитов площадью 1,6 км². Морфология, состав и условия залегания гранитов аналогичны раннемеловому эджекальскому аляскит-гранитному комплексу, детально охарактеризованному Р.И.Протопоповым [17].

Самородное золото Глухаринского рудно-россыпного узла, главным образом россыпное, изучалось в разные годы И.Б.Флёровым и др. [24], А.И.Садовским и др. [21], Н.А.Горячевым, К.И.Жилиным [9, 10], В.К.Прейсом, Б.Ф.Палымским [16], В.М.Кузнецовым и др. [11], И.С.Литвиненко, В.А.Приставко [12, 13], Н.Е.Саввой и др. [19]. И.Б.Флёров с соавторами [24] отмечал наличие в россыпях узла самородного золота двух генераций: высокопробного с крупнозернистой структурой и средней пробности – с неяснозональной структурой, близкого к золоту малоглубинных руд. А.И.Садовским с соавторами [21] описаны включения кристаллов тетрадимита в умеренно высокопробном золоте из россыпи руч. Глухаринский. К.И.Жилин и Н.А.Горячев [9, 10] охарактеризовали близость составов кварца, пи-

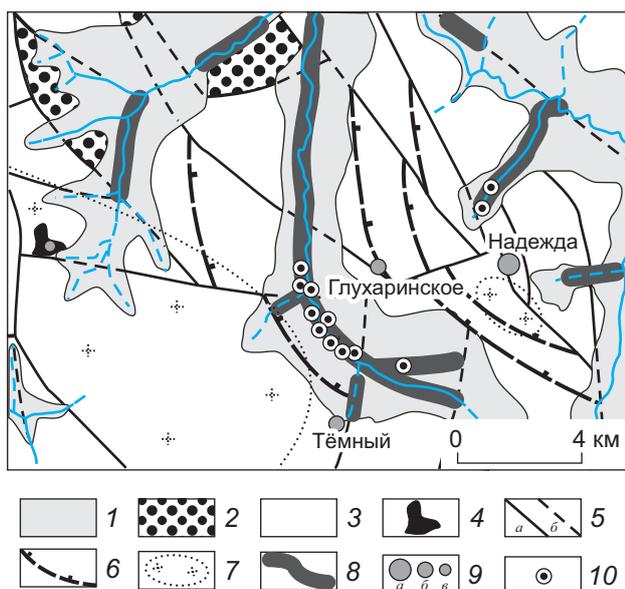


Рис. 2. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА:

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – юрские конгломераты; 3 – метапелиты, metabазиты, карбонатные и кварц-полевошпатовые породы протерозоя; 4 – граниты; 5 – разрывные нарушения установленные (а), предполагаемые (б); 6 – надвиги; 7 – нескрытые гранитоидные интрузии, предполагаемые по геофизическим данным; 8 – россыпи золота; 9 – месторождение (а), рудопроявления (б), пункт минерализации золота (в); 10 – шлиховые пробы

рита и самородного золота из россыпей и рудопроявлений узла и отметили ассоциацию самородного золота с галенитом. В.К.Прейс и Б.Ф.Палымский [16] установили присутствие в россыпях, наряду с умеренно высокопробным, низкопробного золота с метаколлоидными структурами, типоморфного для эпитермального оруденения. И.С.Литвиненко выделил в россыпях две генерации самородного золота: средней – высокой и низкой – весьма низкой пробы, впервые описал включения галенита в золоте и указал на неоднородность внутреннего строения золотин, а именно наличие в их составе высокопробной и умеренно высокопробной фаз [12]. И.С.Литвиненко, В.А.Приставко [13] изучили состав элементов-примесей и наметили закономерность в распределении самородного золота с различным примесным составом: от нижнерудного уровня (Ni-As) через среднерудный (Pb-Pd) к верхнерудному (Pb-Bi-Sb).

Таким образом, благодаря предыдущим исследованиям известно о соответствии составов самородного золота из россыпей и коренных источников, присутствию в россыпях двух его генераций (умеренно высокопробной и относительно низкопробной), геохимических различиях золота разных генераций, его ассоциациях с галенитом и минералами Bi и Te. Однако сложное геологическое строение, древний возраст вмещающих комплексов и относительно пёстрая металлогения Приколымского террейна предполагают существенно большее разнообразие состава самородного золота и образуемых им минеральных парагенезисов. Крайне плохая изученность золотой минерализации не позволяет уверенно определить её геолого-генетическую принадлежность и привязать выделенные минеральные ассоциации к конкретным коренным источникам.

Задачами нашего исследования были:

- установление минеральных ассоциаций, характеризующихся индивидуальными типоморфными особенностями россыпного самородного золота;
- геолого-генетическая типизация золоторудных объектов как потенциальных коренных источников;
- диагностика выявленных минеральных ассоциаций в составе руд коренных источников;
- выяснение зависимости состава самородного золота и его минеральных ассоциаций от состава вмещающих комплексов;
- реконструкция эволюции рудогенеза.

Изучение самородного золота в рудах и россыпях проводилась по стандартной методике. Было отобрано 12 шлиховых проб из техногенного комплекса россыпных месторождений Глухаринский и Юный. Состав самородного золота из руд (55 образцов), россыпей (250 анализов), а также минералов-включений (>100 анализов) определялся с помощью рентгеновских электронно-зондовых микроанализаторов Camebax (аналитик Е.М.Горячева, СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан.) и QemScan на базе сканирующего электронного микроскопа EVO50 с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Quantax Esprit (аналитик Т.В.Субботникова). Пробность золота также определялась оптическим методом на модернизированном приборе ПООС-1 (75 определений). Выявление внутренней структуры рудного и россыпного золота проводилось травлением HCl+CrO₃. При обработ-

ке данных применён метод корреляций пробности шлихового золота с рудными минеральными парагенезисами, сохранившимися внутри частиц золота, и со степенью метаморфизма золота, выявленной структурным травлением.

В соответствии с методическими основами изучения самородного золота [14, 16] авторами, в зависимости от морфологии выделений (рис. 3), внутреннего строения (рис. 4), состава минералов-включений (рис. 5, табл. 1, 2) и пробности, в россыпях и рудах Глухаринского узла выделены пять его минеральных типов (табл. 3), которые ранжированы по частоте встречаемости (рис. 6):

- первый тип – *галенит-висмутин-теллуридный* – встречается наиболее часто. Самородное золото пробностью 790–920‰, несущее признаки грануляции, содержит включения козалита, викингита, галенита, галеновисмутита, гессита, петцита и турмалина;
- второй тип – *пирит-полибазит-галенитовый* – характеризуется низкой пробностью самородного золота (в среднем 670‰) и присутствием кюстеллита. Золото имеет яснозональную структуру, следы пластических деформаций и гипергенные каймы, свидетельствующие о достаточно длительной транспортировке металла и его пребывании в зоне окисления;
- третий тип – *гидрогематитовый* – характеризуется наличием монокристаллов золота пробностью 750–950‰ с редкими включениями гидрогематита, кварца, карбоната, светлой слюды, андалузита;
- четвёртый тип – *глаукодотовый* – отличается наличием медистого (до 0,26% Cu) золота высокой пробности (950–980‰) со структурами распада твёрдого раствора Au-Cu;
- самостоятельную позицию занимает пятый тип, представленный редко встречающимся золотом со структурами полной перекристаллизации и низкопробными каймами, не содержащим рудных включений.

Коренные источники россыпного золота – месторождения и рудопроявления золото-редкометалльной, золото-серебряной формаций и формации золотоносных конгломератов (табл. 4).

Рудное поле месторождения Надежда сложено филлитами, метариолитами и песчаниками позднего протерозоя [4]. Рудные тела представляют собой полого залегающие зоны сульфидно-кварцевых прожилков. Они сосредоточены в двух зонах –



Рис. 3. Морфология самородного золота из россыпей Глухаринского рудно-россыпного узла

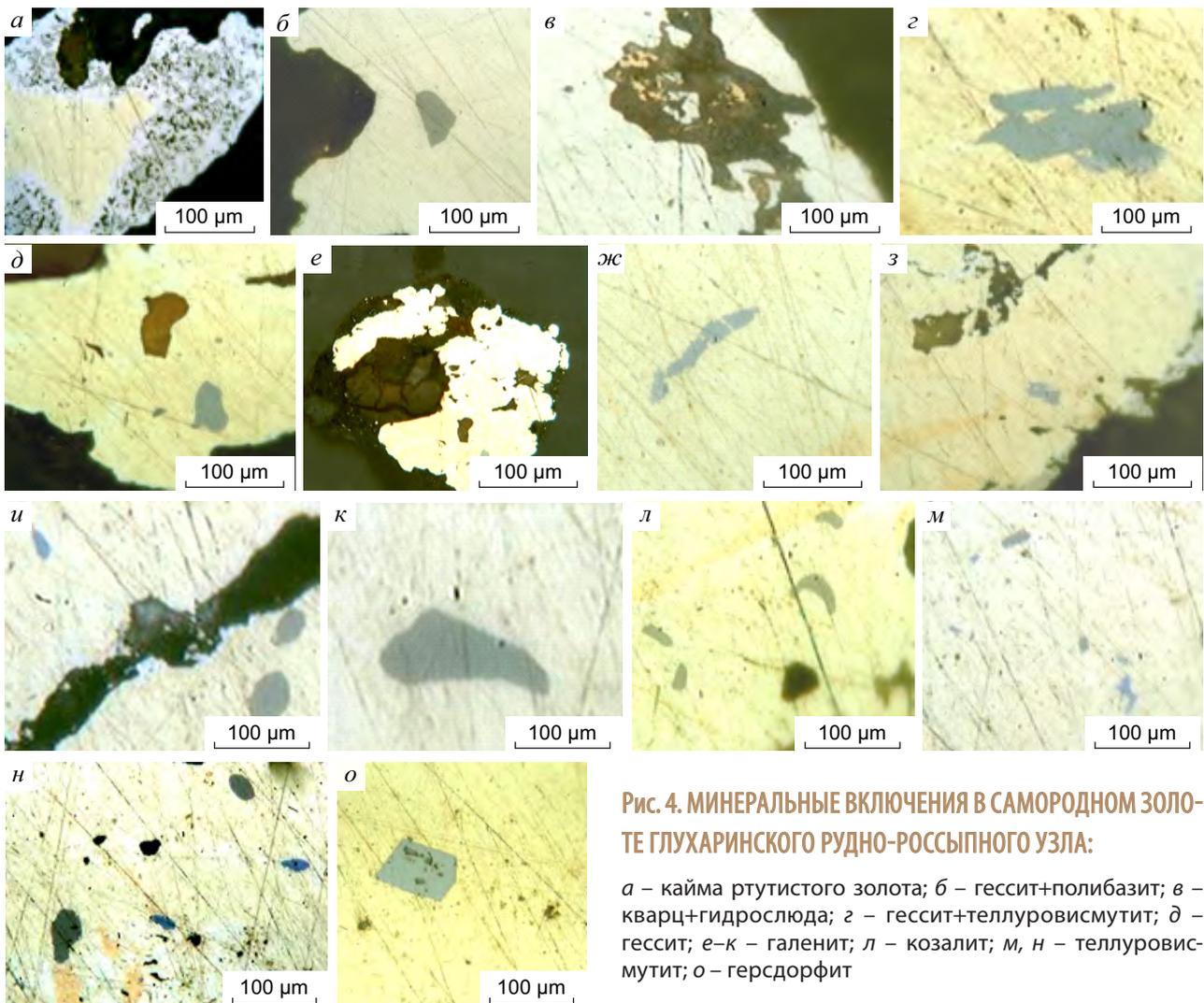


Рис. 4. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В САМОРОДНОМ ЗОЛОТЕ ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА:

а – кайма ртутистого золота; *б* – гессит+полибазит; *в* – кварц+гидрохлорид; *з* – гессит+теллуросмугит; *д* – гессит; *е-к* – галенит; *л* – козалит; *м, н* – теллуросмугит; *о* – герсдорфит

Главной и Северной, различающихся составом рудовмещающих пород (песчаники и метариолиты соответственно). Список рудных минералов включает гематит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин, шеелит, блёклые руды, кобальтин, кубанит, тетрадимит, теллуросмугит, галеновисмутит, гессит, самородное золото [7]. Геохимические спектры руд Главной и Северной зон различаются – первый определяют Pb, Bi, Te, Sb, второй – Mo и Co. Содержание Au 3–20 г/т, Ag до 10 г/т. Самородное золото месторождения характеризуется широким диапазоном размеров выделений от пылевидного (<0,05 мм) до 1,5 мм (единичные находки до 3 мм). В среднем по месторождению ~45% золота имеют размер <0,05 мм (основная масса из этого класса представлена размером 15–25 мкм), в диапазоне 0,05–0,1 мм – до 5%, размерность 0,1–

0,25 мм – не более 30%, а количество золота размером >0,25 мм не превышает 15%. Характерной особенностью являются значительная неоднородность гранулометрического состава золота и степень его изменчивости на площади месторождения. Например, для Главной рудной зоны количество крупного золота (>0,25 мм) достигает 60%, тогда как для Северной доля мелкого золота доходит до 90%. Намечается зависимость размера выделений самородного золота от состава минеральной ассоциации. Так, для золота, приуроченного к пириту, размер золотинок обычно не более 0,1 мм, а золото, локализованное в кварце, достигает максимальных размеров 1,5–3 мм. Наиболее распространено срастание золота с кварцем и пиритом, гораздо реже оно срастается с тетрадимитом. Минералы теллура (гессит, петцит), наряду

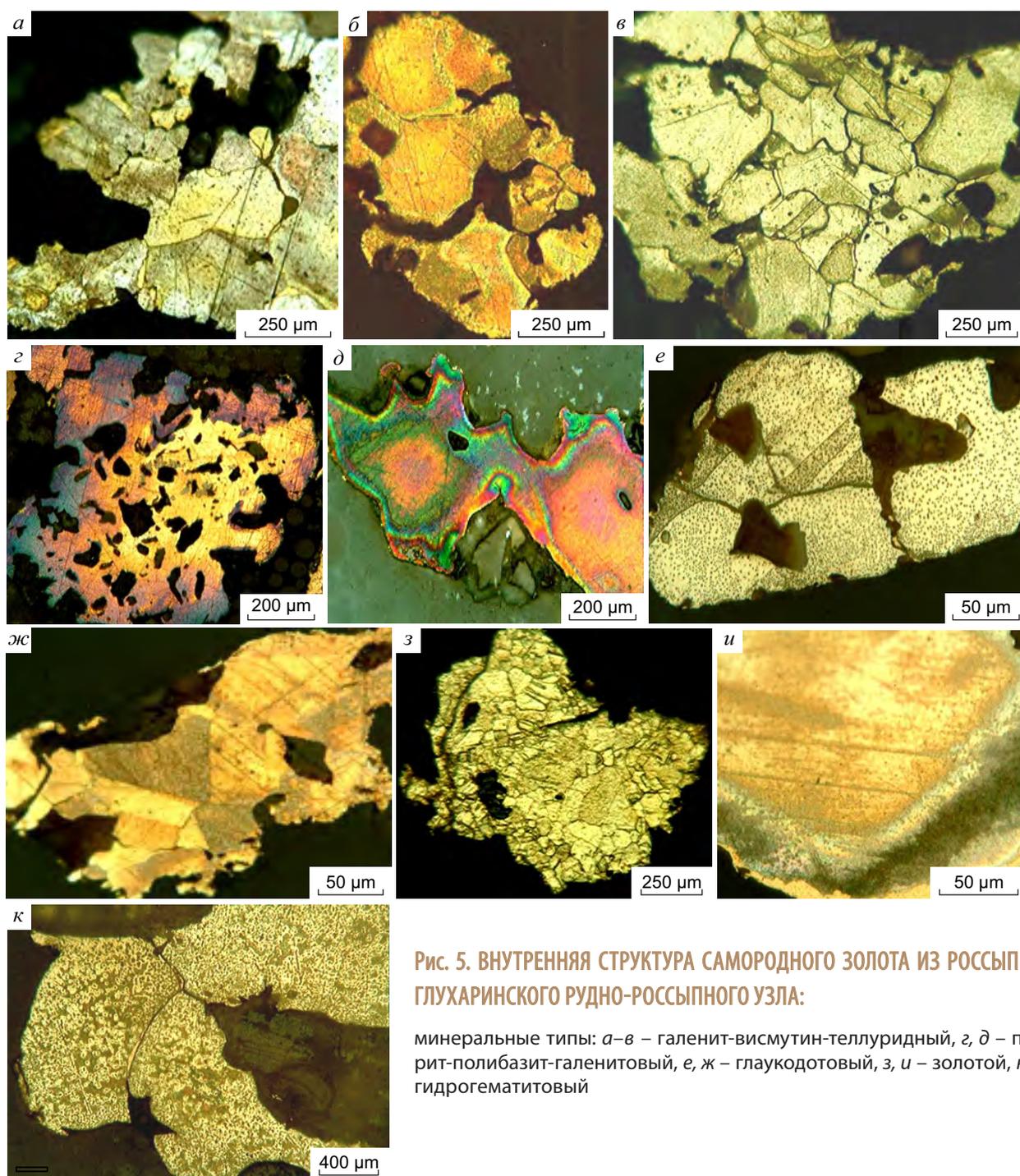


Рис. 5. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПЕЙ ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА:

минеральные типы: а–в – галенит-висмутин-теллуридный, з, д – пирит-полибазит-галенитовый, е, ж – глаукодотовый, з, и – золотой, к – гидрогематитовый

с галенитом, часто образуют включения в самородном золоте. Пробность самородного золота варьирует от 763 до 1000‰, среднее значение для Главной рудной зоны 910‰, Северной – 975‰. Руды месторождения формировались из среднеконцентрированных углекислотно-водно-солевых растворов в закрытой системе [7].

Южнее месторождения Надежда располагается аналогичное ему *месторождение Тый-Юрье*. Рудные тела представлены пологими зонами прожилков сульфидно-кварцевого состава мощностью 1–5 м. Вмещающими породами служат метариолиты позднего протерозоя. По простиранию рудные тела прослежены на 500 м, на глубину – до 60 м. Со-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ-ВКЛЮЧЕНИЙ В САМОРОДНОМ ЗОЛОТЕ ИЗ РОССЫПЕЙ ГЛУХАРИНСКОГО УЗЛА, масс. %

Элементы	Галенит	Петцит			Густавит	Глаукодот	Теллури-висмутит	Полибазит	Пирит
Ag		38,23	50,31	61,66				67,53	
Au		30,10	18,85	5,51	10,84			5,24	
Cu					1,44			2,46	
Te		29,78	32,15	33,18			43,40		
Bi					43,84		54,98		
Pb	88,62				19,34				
Sb								19,62	
As					6,43	41,86			
Fe						5,55		46,64	
Co						28,33			
S	7,37				13,63	21,37		4,78	
Σ	95,99	98,11	101,31	100,35	95,52	97,11	98,38	99,63	
								100,17	

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ-ВКЛЮЧЕНИЙ В САМОРОДНОМ ЗОЛОТЕ ИЗ РУД ГЛУХАРИНСКОГО УЗЛА, масс. %

	Месторождение Надежда						Месторождение Тый-Юрье				Рудопроявление Тёмный					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ag					42,95						1,23	43,08	63,28			55,71
Au					25,56							24,97				30,07
Cu			34,04													
Te				35,3	33,53			35,09	32,87	27,1		33,9	37,06	36,12	46,51	2,54
Bi				60,39				61,29	68,53	68,1	2,19			59,63	53,42	
Pb		87,38									83,19					
Sb																
As	0,08					38,79	43,3									
Fe	45,24		31,62			7,68	36,44									
Co	0,09					28,93										
S	53,59	13,36	34,84	4,57		22,85	21,4	4,37		5,19	12,77			4,35		11,04
Σ	99,00	100,94	100,5	100,23	102,04	99,06	101,13	100,75	101,4	100,4	99,39	101,96	100,34	59,63	99,94	99,99

Примечание. 1 – пирит, 2 – галенит, 3 – халькопирит, 4 – тетрадимит, 5 – петцит, 6 – глаукодот, 7 – арсенопирит, 8 – тетрадимит, 9 – пильзенит, 10 – ингодит, 11 – галенит, 12 – петцит, 13 – гессит, 14 – тетрадимит, 15 – телуровисмутит, 16 – ютенбогардит.

3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ТИПЫ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА

Минеральные типы	Геохимические типы	Состав минералов-включений	Пробность самородного золота, ‰	Особенности внутреннего строения
1	Au-Bi-Te-Pb	Висмутин, козалит, викингит, галенит, тетрадимит, галеновисмутит, гессит, петцит, турмалин	790–920	Гранулировано
2	Au-Ag-Sb-Pb	Кюстелит, полибазит, галенит, пирит	250–700	Отчётливо зональная структура
3	Au-Fe	Гидрогематит, кварц, карбонат, слюда, андалузит	750–950	Монокристаллическое строение
4	Au-Cu	Медистое золото, глаукодот	950–980	Структуры распада твёрдого раствора
5	Au		900–980	Структура полной перекристаллизации

держание Au от 2 до 10 г/т. Рудные минералы – пирит, халькопирит, арсенопирит, тетрадимит, самородное золото. Золото умеренно высокопробное (813–977‰), имеет модальную крупность <50 мкм, содержит включения теллуридов висмута (ингодит Bi_2TeS , пильзенит Bi_4Te_3), а также образует сростания с пиритом и тетрадимитом.

Глухаринское рудопроявление характеризуется совмещением в рудах минеральных ассоциаций, свойственных золото-редкометалльной и золото-серебряной формациям. Рудопроявление вмещают протерозойские хлорит-серицитовые сланцы и кварциты. Как и на рассмотренных выше месторождениях, рудные тела приурочены к пологим надвиговым зонам и представлены зонами сульфидно-кварцевых прожилков. Среди более чем 60 минералов, установленных в составе руд, главными, помимо кварца и серицита, являются гематит и пирит. Менее распространены пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, блёклая руда, арсенопирит, висмутин, самородный висмут, станнин, самородное золото, акантит, агвиларит, ютенбогардит, киноварь, электрум, кюстелит. Самородное золото крупностью <0,1 мм. Отмечаются две его генерации. Умеренно высокопробное золото (802–953‰) образует интерстициальные, чаще всего монокристаллические выделения. Низкопробное золото (361–683‰) имеет неяснозональную структуру, содержит включения акантита и сульфоселей серебра.

Рудопроявление Тёмный размещается на левобережье верховьев руч. Глухариный. Вмещается протерозойскими мраморизованными известняками, которые рассечены кварцевыми прожилками и маломощными (<1 м) жилами. Содержание Au 1–7 г/т, Ag до 118 г/т. Количество рудных минералов составляет 1–5%. Они представлены гематитом, пиритом, галенитом, халькопиритом, сфалеритом, блёклой рудой, алтаитом, теллуровисмутитом, ютенбогардитом, самородным золотом. В составе руд обособляются две минеральные ассоциации. Первая характеризуется преобладанием галенита с включениями теллуровисмутита. Самородное золото здесь мелкое (до 0,015 мм), умеренно высокопробное (850–900‰), образует сростания с блёклой рудой, галенитом, тетрадимитом и теллуровисмутитом, а также включения в алтаите. Во второй ассоциации преобладает Ag-содержащая блёклая руда и халькопирит. Самородное золото представлено электрумом (пробность 700–

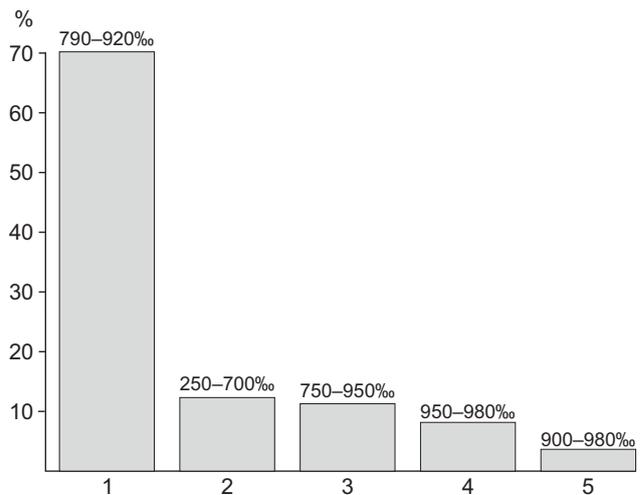


Рис. 6. ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА:

1 – золото-галенит-висмутин-теллуридный, 2 – золото-пирит-полибазит-галениновый, 3 – золото-гидрогематитовый, 4 – золото-глаукоdotовый, 5 – золотой

750‰), который местами обрастает каймами ютенбогардита.

Золото-серебряная минерализация в рудопроявлениях Глухаринское и Тёмный представлена Ag-содержащей блёклой рудой, акантитом, агвиларитом, ютенбогардитом, киноварью, электрумом (пробность 361–750‰), кюстелитом. Содержания Au достигают 39 г/т, Ag 2512,7 г/т.

Золотосодержащие конгломераты известны в основаниях разрезов нижнего и среднего девона и верхней юры [12]. Наиболее изучены верхнеюрские конгломераты, вскрытые в обнажениях правого борта р. Малая Столбовая. Здесь выделены пять грубообломочных пачек мощностью 5–17 м, к базальным частям которых приурочены повышенные (до 2 г/т) содержания золота. Золото крупностью 0,25 мм, наряду с пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, галенитом, молибденитом, присутствует как в гальке кварца, так и в цементе.

Относительно богатые руды верхних горизонтов Главной рудной зоны месторождения Надежда, характеризующиеся умеренно высокопробным золотом, повышенными содержаниями в рудах Bi, Te, Pb и тесной ассоциацией этих элементов с Au, послужили коренным источником золота первого минерального типа, который наиболее распро-

4. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЗОЛОТА ГЛУХАРИНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА

Рудопроявления (месторождения)	Геолого-генетические типы	Геохимический спектр руд	Пробность самородного золота, ‰	Вмещающие породы
Надежда, Главная рудная зона	Золото-редкометалльный	Au-Pb-As-Cu-Ag-Bi-Sb-Te	828–965	Песчаники
Надежда, Северная рудная зона	Золото-редкометалльный	Au-Mo-Co-Cu-As	946–987	Метариолиты
Тый-Юрье	Золото-редкометалльный	Au-Bi-Ag-As-Sb-Cu-Te	813–977	Метариолиты
Глухаринское	Золото-редкометалльный	Au-Pb-Bi-As-Cu-Ag-Te	802–953	Сланцы хлорит-серицитовые
	Золото-серебряный	Au-Ag-Sb-Se	361–683	
Тёмный	Золото-редкометалльный	Au-Pb-Bi-As-Cu-Ag	850–900	Известняки
	Золото-серебряный	Ag-Au-As-Mo-Sb-Cu	700–750	
Хая	Золотоносные конгломераты	Нет данных	842–927	Конгломераты, гравелиты, песчаники

странён в россыпях узла. Другой его важный коренной источник – золото-редкометалльные руды рудопроявлений Глухаринское и Тёмный.

Северная рудная зона месторождения Надежда, вмещаемая метавулканитами, отличается наиболее высокопробным золотом, существенной ролью Co и Cu в геохимическом спектре руд [4]. Это даёт основание считать их источником самородного золота четвёртого минерального типа. Наличие примеси меди в золоте, вероятно, связано с влиянием протерозойских метабазитов, специализированных на Cu, Co, Ni [5].

Золото-серебряная минерализация рудопроявлений Глухаринское и Тёмный явилась источником низкопробного золота второго минерального типа. Высокопробное золото третьего минерального типа, для которого характерны монокристаллическое строение, содержащее редкие включения гидрогематита, кварца, карбоната, светлой слюды, андалузита, как и золото со структурами полной перекристаллизации, не содержащее рудных включений, поступило в россыпь, вероятнее всего, из промежуточного коллектора – девонских конгломератов [13].

Геохимическая специализация и металлогения рудных систем, как известно, определяются составом вмещающих пород [3, 22]. Применительно к золоторудным месторождениям зависимость состава их руд от состава вмещающих пород детально рассмотрена Э.М.Спиридоновым и П.А.Плетнё-

вым [23]. Состав самородного золота и образуемых им минеральных ассоциаций в рудах и россыпях Глухаринского узла отражает геохимическую специализацию рудовмещающих комплексов.

Самородное золото первого типа характерно для руд Главной зоны золото-редкометалльного месторождения Надежда, вмещаемых протерозойскими кварц-полевошпатовыми песчаниками; Bi-Te-Pb геохимическая специфика минеральной ассоциации обусловлена гранитоидной рудно-магматической системой. В равной мере это касается Глухаринского рудопроявления. Аналогично практически стерильные в отношении рудогенных элементов известняки не оказывают никакого влияния на состав руд вмещаемой ими минерализации рудопроявления Тёмный, равно как и золота второго минерального типа. В контраст, Cu-Co специфика самородного золота четвёртого типа отражает геохимическую специализацию рифейских рифтогенных метавулканитов, вмещающих рудные тела Северной зоны месторождения Надежда (Ni, Co, Cu, Zn). Золото третьего и пятого типов, поступившее в россыпь из конгломератов, практически полностью утратило признаки, несущие информацию о составе его коренного источника, что косвенно может указывать на древний возраст последнего.

Металлогения докембрийских структур является унаследованной и определяется составом до-рифейского субстрата [18]. Месторождения и ру-

допроявления здесь формируются в результате широкого спектра породо- и рудогенетических процессов, что обуславливает индивидуальность металлогении каждого из этапов геологического развития. Весьма чуткий индикатор рудогенетических обстановок – самородное золото [14]. Эволюционный характер металлогенического развития Приколымского террейна запечатлён в изменении состава и облика минеральных агрегатов золота. Проблематичная синаккреционная минерализация позднерифейского возраста послужила коренным источником золотосодержащих конгломератов венда, раннего и среднего девона, поздней юры (третий и пятый минеральные типы). К Яно-Колымскому металлогеническому мегаполюсу, сформированному в позднеюрско-раннемеловое время, принадлежат месторождения и рудопроявления

золото-редкометалльной формации, ставшие источником для золота первого и четвёртого типов. Золото-серебряная формация, а именно «молодое» самородное золото второго минерального типа, сохранившее первичную структуру, относится к Омсукчанской (Балыгычано-Сугуйской) металлогенической зоне, связанной с раннемеловым эпиорогенным рифтогенным магматизмом.

Мобильная геологическая структура Приколымского террейна с преобладанием пологих надвигов благоприятствовала последовательному концентрированию рудного вещества, что отразилось на составе самородного золота и слагаемых им минеральных ассоциаций. Зрелый характер корового вещества Приколымья способствовал сохранению металлогенической специализации на протяжении всей геологической летописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беус В.А., Миледин А.К.* Новые данные о возрасте метаморфического комплекса Приколымского поднятия // ДАН СССР. 1990. Т. 311. № 4. С. 925–928.
2. *Буляков Г.Х., Глухов А.Н.* Новые данные о золотонности Шаманихо-Столбовского района // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан, 2001. Т. 2. С. 105–107.
3. *Геохимическая роль и место рудоподготовительных процессов в моделях эпигенетического рудообразования / Г.Б.Наумов, Н.П.Ермолаев, З.М.Моторина и др.* // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск, 1983. Т. 1. С. 34–42.
4. *Глухов А.Н.* Геологическое строение и состав руд золоторудного месторождения Надежда // Отечественная геология. 2013. № 4. С. 7–17.
5. *Глухов А.Н.* Геохимическая специализация верхнепротерозойских комплексов Приколымского террейна // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 3. С. 29–38.
6. *Глухов А.Н., Гладков А.С., Кошкарев Д.А., Лунина О.В.* Тектонофизические критерии геодинамической эволюции Приколымского террейна (Северо-Восток России) // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3. № 4. С. 361–375.
7. *Глухов А.Н., Савва Н.Е., Колова Е.Е.* Вещественный состав и генезис золотых руд месторождения Надежда, Магаданская область // Руды и металлы. 2016. № 4. С. 60–71.
8. *Горячев Н.А.* Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
9. *Горячев Н.А., Жилин К.И.* Самородное золото одного из районов Центрального Приколымья // Полезные ископаемые Якутии: Бюллетень научно-технической информации. Якутск, 1983. С. 15–16.
10. *Жилин К.И., Горячев Н.А.* Минералого-геохимические признаки связи погребенных россыпей золота с коренными источниками и их поисковое значение (на примере одного из районов Северо-Востока СССР) // Мезозойское и кайнозойское россыпеобразование в восточных районах СССР. М., 1984. С. 46–49. (Тр. ЦНИГРИ. Вып. 181).
11. *Кузнецов В.М., Шашурина И.Т., Мордовин Ю.И.* Использование типоморфизма самородного золота для металлогенического анализа Колымо-Омолонского массива // Колыма. 2000. № 1. С. 24–32.
12. *Литвиненко И.С.* Геохимия и парагенезис самородного золота россыпных месторождений Шаманихо-Столбовского района // Чтения памяти академика К.В.Симакова: тез. докл. Всеросс. науч. конф. Магадан, 2007. С. 95–96.
13. *Литвиненко И.С., Приставко В.А.* О геохимии золота рудных районов Северо-Востока России // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан, 2000. Т. 1. С. 223–229.
14. *Николаева Л.А.* Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. – М.: Недра, 1978.
15. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990.
16. *Прейс В.К., Палымский Б.Ф.* Минералогия самородного золота одной из россыпей Приколымского горст-антиклинория // Колыма. 1988. № 4. С. 11–13.

17. *Протопопов Р.И.* Девонские и меловые гранитоиды Приколымского поднятия. – Якутск: АН Республики Саха (Якутия), 2010.
18. *Рундквист Д.В.* Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. № 6. С. 467–492.
19. *Савва Н.Е., Буляков Г.Х., Субботникова Т.В.* Реконструкция коренных источников золота россыпи руч. Глухариного (Приколымский террейн) // Золото Северного обрамления Пацифика. II Междунар. горно-геологический форум, посвященный 110-летию со дня рождения Ю.А.Билибина. Тез. докл. горно-геологической конференции. Магадан, 2011. С. 188–189.
20. *Савва Н.Е., Прейс В.К.* Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. – М.: Наука, 1990.
21. *Садовский А.И., Шашурина И.Т., Шишкин В.А.* О геологической позиции липаритовых порфиров и золотоносности Шаманихо-Столбовского узла // Колыма. 1970. № 7. С. 41–43.
22. *Сидоров А.А.* Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
23. *Спирidonov Э.М., Плетнев П.А.* Месторождение медистого золота Золотая гора (о «золото-родингитовой» формации). – М.: Научный Мир, 2002.
24. *Флеров И.Б., Шишкин В.А., Шашурина И.Т.* О морфологии и возрасте золоторудных тел Шаманихо-Столбовского района // Колыма. 1970. № 10. С. 41–42.
25. *Шпикерман В.И.* Домеловая минералогия Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.

NATIVE GOLD FROM LODES AND PLACERS OF GLUKHARINY MINING CAMP, MAGADAN REGION

**A.N.Glukhov, N.E.Savva, G.H.Bulyakov, M.I.Fomina, A.A.Biryukov
(N.A.Shilo Northeastern Complex Research Institute FEB RAS, Magadan)**

Glukhariny gold mining camp is located in the central part of Kolyma terrane. It is composed of Nadezhda lode gold deposit, few gold ore occurrences and five gold placers. Known and explored gold mineralization is attributed to mesothermal granitoid-related and epithermal low-sulfidation types. Native gold from the gold placers is divided into five mineral types that correspond to lode sources of different type and age. Dependence of gold ore type and mineralogy on host rock composition is shown. This is an example of the successive style of the Kolyma terrane metallogenic evolution.

Keywords: native gold, mining camp, placer, lode source, mineral type, composition, metallogeny, evolution.





ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ И ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, САЛАИРСКИЙ КРЯЖ

Рассмотрены геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля, которое состоит из Салаирской и Каменушинской палеовпадин, выполненных вулканогенно-осадочным материалом, имеющим общие петрохимические характеристики и сходный литолого-фациальный состав. Описаны этапы вулканической активности Салаирского рудного района, приуроченность Салаирско-Каменушинского рудного поля к позднему этапу, во время которого происходило накопление вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений контрастной базальт-риолитовой формации натровой серии. В пределах рудного поля выделены породы, относящиеся к жерловой, околожерловой, промежуточной и удалённой фациям по отношению к центрам вулканизма (подводящим каналам), а также рассмотрены морфологические типы руд и их связь с выделенными фациями.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические руды, Салаирско-Каменушинское рудное поле, геолого-структурная позиция, обстановки локализации, жерловая, околожерловая, промежуточная и удалённая фации.

Салаирский кряж (Салаирская минерагеническая зона) располагается на стыке Кемеровской области и Алтайского края, входит в состав Западно-Сибирского экономического района. В пределах зоны известны более 200 объектов с колчеданно-полиметаллическим и медно-колчеданным оруденением (месторождения, рудопроявления, точки минерализации), которые группируются в рудные поля. Наиболее известным и значимым из них является промышленно освоенное Салаирско-Каменушинское рудное поле. В Государственном балансе данного поля учтены запасы и ресурсы восьми месторождений комплексных полиметаллических и медно-колчеданных руд, содержащих свинец, цинк, медь, барит, кадмий, селен, теллур, золото и серебро. Все основные полиметаллические месторождения и рудопроявления Салаира находятся на северо-восточном склоне Салаирского кряжа, образуя полиметаллический рудный пояс, вытянутый вдоль северо-восточной границы с Кузнецкой впадиной, в зоне развития вулканогенно-осадочных пород печеркинской свиты ранне-среднекембрийского возраста [3, 4]. К западу эти отложения фациально переходят в морские образования пассивной окраины туфогенно-терригенно-карбонатной формации суенгинско-анчешевской и кинтерепско-гавриловской группы свит.

**Инякин
Алексей Валерьевич**

научный сотрудник
lelik0302@mail.ru

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

Салаирская минерагеническая зона включает Салаирский, Пуштулимский, Еловско-Которовский и Огнево-Романовский рудные районы, приуроченные к нижнекембрийским вулканогенно-осадочным отложениям.

Геологическая структура Салаира отражает обстановки геодинамических режимов в нескольких этапах. Согласно Государственной геологической карте Российской Федерации м-ба 1:1 000 000 [2], в течение ранне-среднекембрийского этапа формировались островные дуги, окраинно-морские (междуговые) бассейны и Салаирский вулcano-плутонический пояс. С этим же временем связано образование печеркинской свиты, вмещающей колчеданно-полиметаллические руды, а в среднекембрийский – раннеордовикский этап происходило закрытие окраинно-морских бассейнов, формировались надвиги и офиолитовые аллохтоны.

Изучение условий накопления вулканогенно-осадочных отложений раннего кембрия на основе литолого-фациального, петрохимического, палеоструктурного анализов с учётом обстановок локализации колчеданных месторождений [5] позволяет обосновать неоднородность вулканогенно-осадочного разреза и циклический характер проявления вулканической активности в этот период.

По результатам палеофациального анализа вулканогенно-осадочных отложений раннего кембрия, в котором участвовал автор, и палеорекострукции рудного района были сделаны выводы о том, что Салаирский рудный район представлял собой крупную вулcano-тектоническую депрессию, сформировавшуюся в два этапа, отвечающих двум циклам проявления вулканической активности в районе.

На первом (раннем) этапе на позднекембрийско-раннекембрийском основании заложилась крупная вулcano-тектоническая депрессия протяжённостью ~45 км, занимающая основную часть территории Салаирского рудного района и выполненная вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации, являющейся нижним уровнем рудовмещающей печеркинской свиты. С этим этапом связано также развитие крупных рифогенных построек. В вулканогенных породах отмечено преобладание содержания Na_2O над K_2O , т.е. они относятся к натриевой серии, при этом кислые разности отличаются более высокими концентрациями натрия [7].

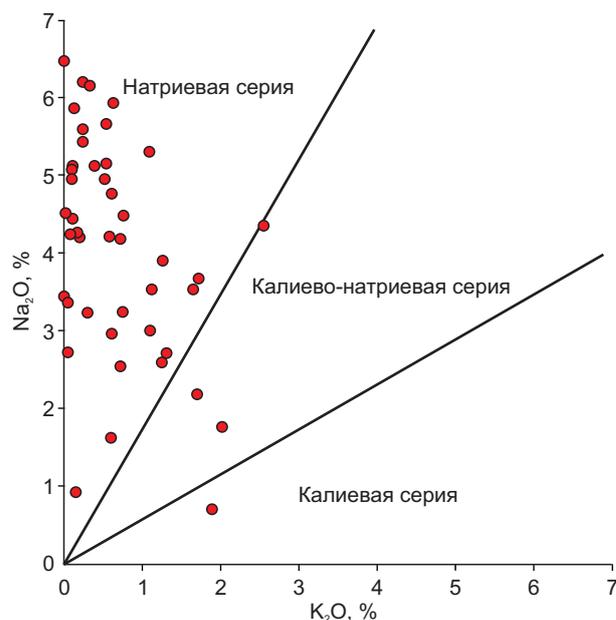


Рис. 1. ДВУМЕРНАЯ ДИАГРАММА (K_2O – Na_2O) ДЛЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (использованы аналитические данные автора, а также материалы Н.Ф.Агеенко, 1992 г. и С.Д.Башева, 1990 г.)

Далее следовало затишье вулканической активности в районе, что обусловило накопление толщ пород, характерных для бассейнов седиментации, – известняков, доломитов, песчаников, алевролитов, реже туфов кислого состава, за счёт чего рельеф морского дна выровнялся.

На втором (позднем) этапе заложилась локальные палеовпадины размером порядка 6–8 км, по-видимому, из-за некоторой тектонической активности района, которая способствовала прогибанию вулканогенных образований в краевых частях вулcano-тектонической депрессии «раннего этапа». Палеовпадины выполнены вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями контрастной базальт-риолитовой формации. На данном этапе продолжили развитие преимущественно археоциатовые рифогенные постройки. В вулканогенных породах, аналогично породам раннего этапа, количество Na_2O преобладает над K_2O (рис. 1), но в отличие от образований нижнего уровня для кислых разностей характерны более низкие содержания Na_2O , чем в породах основного состава.

В пределах Салаирского рудного района промышленные колчеданно-полиметаллические ме-

сторождения приурочены к вулканическим структурам позднего этапа (локальным палеовпадинам) – Салаирской, Каменушинской и Урской и ранее рассматривались в качестве отдельных рудных полей. При этом на Салаирской установлен ряд месторождений – Кварцитовая Сопка, Первомайское, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое, запасы по которым учтены в госбалансе. В то же время, по размерам Салаирское рудное поле является месторождением (согласно металлогеническому кодексу), а выделенные в его пределах месторождения – рудными зонами. Данный вывод подтверждён построением продольного разреза через Салаирскую структуру (рис. 2), на котором видно, как рудные зоны некоторых месторождений сливаются в единые.

Салаирская и Каменушинская локальные депрессии сформировались в присклоновых частях одной крупной рифогенной постройки (рис. 3), сложенной археоциатовыми и водорослевыми известняками гавриловской свиты, которые являются как подстилающими для рудовмещающих вулканоогенных отложений контрастной формации (печеркинская свита), так и находящимися в одном фациальном ряду. Возраст постройки определён ещё предыдущими исследователями [2] и подтверждён нами по находкам археоциат, появление, расцвет и вымирание которых приходится на ранний и средний отделы кембрия. Перекрывающими (надрудными) для данного района служат туфогенно-карбонатно-терригенные отложения анчевской свиты.

Исходя из вышеизложенного, а также с учётом общности петрохимических характеристик вулканоогенных пород и их литолого-фациального состава, можно сделать вывод о наличии единой Салаирско-Каменушинской структуры, отвечающей одноимённому рудному полю. Таким образом, впервые выделенное в ранг месторождения Салаирское включает рудные зоны Кварцитовая Сопка, Первомайское, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое.

К характерным чертам Салаирского – Каменушинского рудного поля относятся следующие:

- месторождения и рудные зоны сложены вулканоогенно-осадочными породами контрастной базальт-риолитовой формации натриевого ряда;
- месторождения приурочены к локальным палеодепрессиям (палеовпадинам), являющимся

осложнениями более крупных вулкано-тектонических структур;

- ореолы гидротермального изменения, сопровождающие рудные тела, представлены кварц-серицитовыми, кварц-серицит-хлоритовыми образованиями и метасоматическими кварцитами с баритом.

Размещение оруденелых зон, морфологические особенности рудных тел, минералого-геохимический состав руд в определённой степени обусловлены их приуроченностью к тем или иным фациям рудовмещающих вулканитов. На основании литолого-фациального анализа выделены породы, относящиеся к жерловой, околожерловой, промежуточной и удалённой фациям вулканизма.

Жерловые фации представлены породами кислого состава – субвулканическими и экструзивными крупновкрапленными риолитами и риодацитами, интенсивно изменёнными, рассланцованными и превращёнными практически в кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые и другие сланцы. В породах видна первичная порфировая структура за счёт уцелевших выделений кварца и плагиоклаза округлых форм размером до 1–2 см в различном количественном соотношении, которые нередко перекристаллизованы и замещены крупнозернистым кварц-альбитовым агрегатом. Вокруг некоторых выделений кварца развита альбитовая каёмочка. Основная масса замещена мелкозернистым кварцем, чешуйками хлорита и серицита. Отмечаются также выделения кварца, к которым приурочены кристаллики топаза. С породами этих фаций связаны штокверковые полиметаллические рудные зоны рассматриваемого рудного поля.

Околожерловые фации – грубообломочные лавобрекчии и туфы риолитов, риодацитов, андезибазальтов – диагностируются при макроописании и имеют брекчиевидные обломочные текстуры. Породы местами включают полиметаллическое оруденение и состоят из обломков вулканоогенных разностей размером от первых миллиметров до десятков сантиметров с вовлечением вулканоогенно-осадочного материала в виде линз и цемента. Границы обломков с размытыми очертаниями из-за метасоматически наложенных изменений визуально трудно различимы.

Промежуточные фации – лавы риолитов, риодацитов, андезибазальтов, мелкообломочные туфы разного состава. Лавы в основном разнозер-

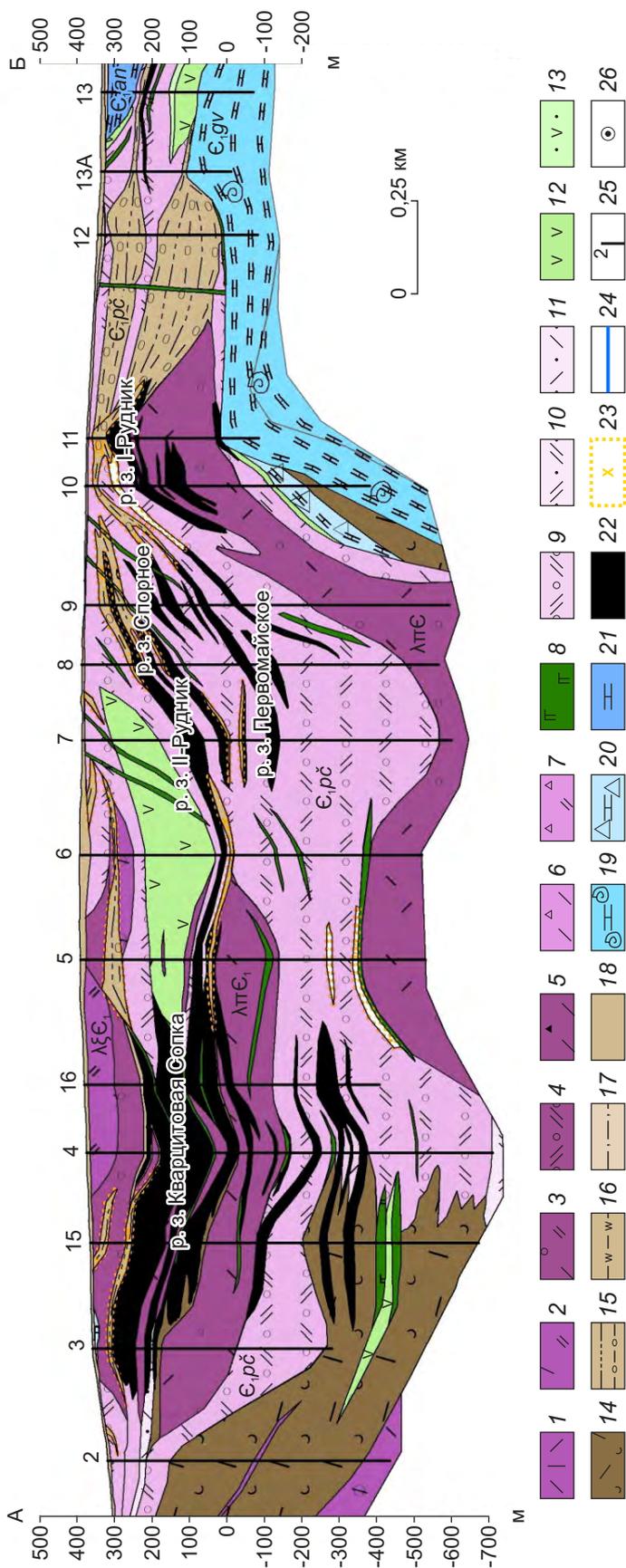


Рис. 2. ПРОДОЛЬНЫЙ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ МЕСТОРОЖДЕНИЕ САЛАИРСКОЕ (по материалам Н.Ф.Агеенко, Н.Г.Исыпова, 1992 г.):

фашии пород жерловой и околержерловой зоны вулканизма: 1 – афировые риодациты, 2 – афировые риодациты, 3 – риолиты крупновкрапленные, 4 – риодациты крупновкрапленные, 5 – автомагматические брекчи риолитов, 6 – лавобрекции риолитов, 7 – лавобрекции риодацитов, 8 – габродолериты, долериты; фашии пород промежуточной зоны вулканизма: 9 – чередование горизонтов лав кислого состава, их туфов и туфов разного состава, мелко- и среднеобломочной размерности, 10 – туфы мелко- и среднеобломочные риодацитового состава, 11 – туфы мелко- и среднеобломочные риолитового состава, 12 – лавы андезибазальтов, 13 – туфы мелко- и среднеобломочные андезибазальтового состава; фашии пород удалённой зоны вулканизма: 14 – чередование туфитов, туфов разного состава, туфоалевролитов, туфопесчаников, туфогравелитов, 15 – чередование углеродистых, известковистых и кремнистых алевролитов, алевропесчаников, песчаников, гравелитов, конгломератов, 16 – чередование туфитов кислого состава, туфопесчаников, кремнистых и туфогенных алевролитов, 17 – алевролиты; 18 – приповерхностные коры выветривания; 19 – известняки рифогенные гавриловской свиты; 20 – брекчи обрушения; 21 – известняки хемогенно-биогенные анчешевской свиты; 22 – рудные зоны колчеданно-полиметаллических с золотом и серебром руд; 23 – кварц-серцитит-хлоритовые, серцитит-хлорит-кварцевые, кварц-хлорит-серцититовые породы; 24 – линии разрезов и буровых профилей; 25 – линии буровых профилей и их номера; 26 – скважины

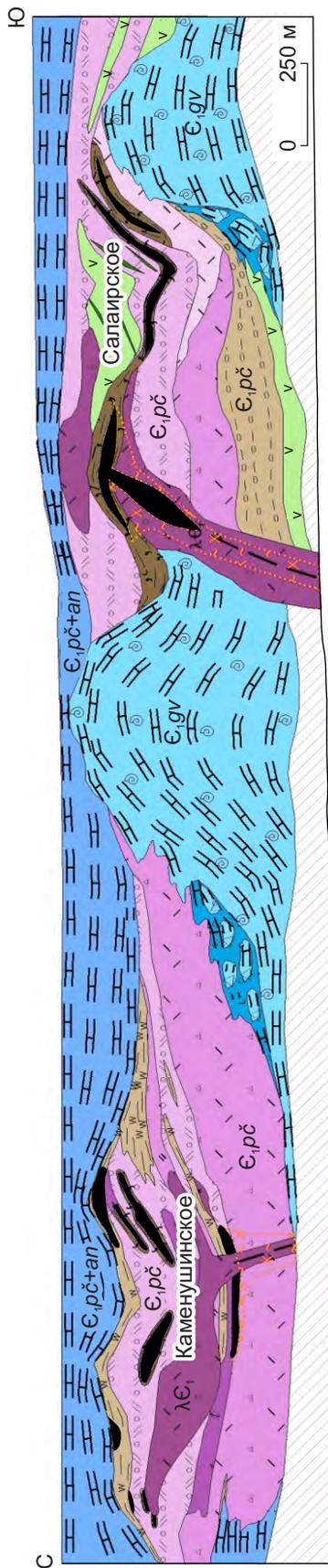


Рис. 3. ГЕОМЕТРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ САЛАЙРСКОЕ И КАМЕННУШИНСКОЕ:

усл. обозн. см. рис. 2

нистой, порфировой или порфировидной структуры. Порфировые выделения представлены плагиоклазом и кварцем размером от 0,2 до 3,0 мм. Количество вкрапленников варьирует от 3 до 10%. Основная масса в разной степени изменённая, серицитизированная, альбитизированная, окварцованная и хлоритизированная. Породы содержат барит и карбонат в виде кристаллов неправильных и удлинённых форм размером до 3 мм и подвержены рассланцеванию. Туфы мелкообломочные с разнозернистой структурой, полосчатой и массивной текстурами. Полосчатость обусловлена чередованием крупнозернистого и мелкозернистого кварца, серицита и гидроксидов железа в разном их сочетании. Первичная порода изменена и превращена в серицит-кварцевый метасоматит. Для промежуточных фаций характерны линзовидные и пластообразные рудные тела.

Удалённые от центров вулканической активности фации – это прибрежно-морские и шельфовые отложения, представленные преимущественно алевролитами, песчаниками, туффитами, известняками, часто чередующимися с туфами кислого и основного составов, туфоалевролитами, туфопесчаниками. Данные осадочные породы также вмещают незначительные рудные тела и зоны минерализации. Значительная роль среди пород удалённых фаций принадлежит известнякам. Причём они делятся на две группы: органогенная, соответствующая рифогенной карбонатной постройке, и известняки, входящие в состав базальт-риолитовой формации.

Петрохимический анализ вулканогенных пород Салайрского рудного поля проведён на основании построений диаграмм в координатах $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$, K_2O-Na_2O , $CaO-(FeO+Fe_2O_3)-MgO$, K_2O-Na_2O-CaO с использованием фактического материала автора и предыдущих исследователей. Из диаграммы в координатах $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$ (рис. 4) следует, что породы основного состава соответствуют нормальному и умеренно щелочному рядам и представлены базальтами. Единичный образец отвечает щелочному ряду и относится к щелочным пикробазальтам. Кислые породы преимущественно соответствуют низкощелочному ряду – низкощелочным риолитам, риодацитам, дацитам. Небольшая часть образцов относится к нормальному ряду – риолитам, риодацитам, дацитам. Как видно из диаграммы в координатах K_2O-Na_2O (см. рис. 1), породы характеризуются резким

ся медно-цинковым с золотом штокверком. Штокверковые руды локализованы в субвулканических риодацитах и являются канальными частями проксимальных линзовидных тел колчеданно-полиметаллического с золотом и баритом состава [1].

В районе рудной зоны Первомайское развиты интенсивно рассланцованные, метасоматически изменённые риолиты, риодациты, дациты и туфы разного состава, вмещающие золотоносные кварц-барит-колчеданные и кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды. Первичные породы трудно диагностируются. Рудные минералы – пирит, марказит, сфалерит, блёклая руда, галенит; акцессорные минералы – халькопирит, золото, электрум, аргентит, сульфосоли серебра.

Рудные тела массивные или плотновкрапленные, линзовидной формы. Главные минералы – пирит и марказит, в качестве включений наличествуют золото и электрум. Кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды: гнездово-вкрапленные, плотновкрапленные, пунктирно-вкрапленные полосчатые, прожилковидные. Наиболее часто встречаются пунктирно-вкрапленные руды, в которых сульфиды располагаются тонкими полосами 1–2 мм в кварце. Данная рудная зона является дистальной по отношению к центру вулканической активности и приурочена к породам промежуточных фаций.

Месторождение Каменушинское размещается севернее Салаирского, имеет с ним сходное геологическое строение (рис. 7, 8). Медно-колчеданное с золотом и серебром оруденение локализовано в нижнекембрийских вулканогенно-осадочных породах (печеркинская свита), относящихся к контрастной базальт-риолитовой формации. Основная площадь месторождения сложена субвулканическими риолитами и риодацитами жерловых фаций, ритмично чередующимися с лавами кислого и основного составов, а также их туфами, принадлежащими к породам промежуточных фаций. Субвулканические разности представлены риолитами и риодацитами средне- или крупновкрапленными, которые обычно серой или зеленовато-серой окраски. Структура основной массы пород микровкрапленная, микросферолитовая, микрофельзитовая или аллотриоморфнозернистая. В покровных лавах выделяются риолиты, риодациты, в подчинённом количестве андезибазальты. Среди вышеперечисленных пород залегают маломощные линзы и пласты туфогенно-осадочных пород

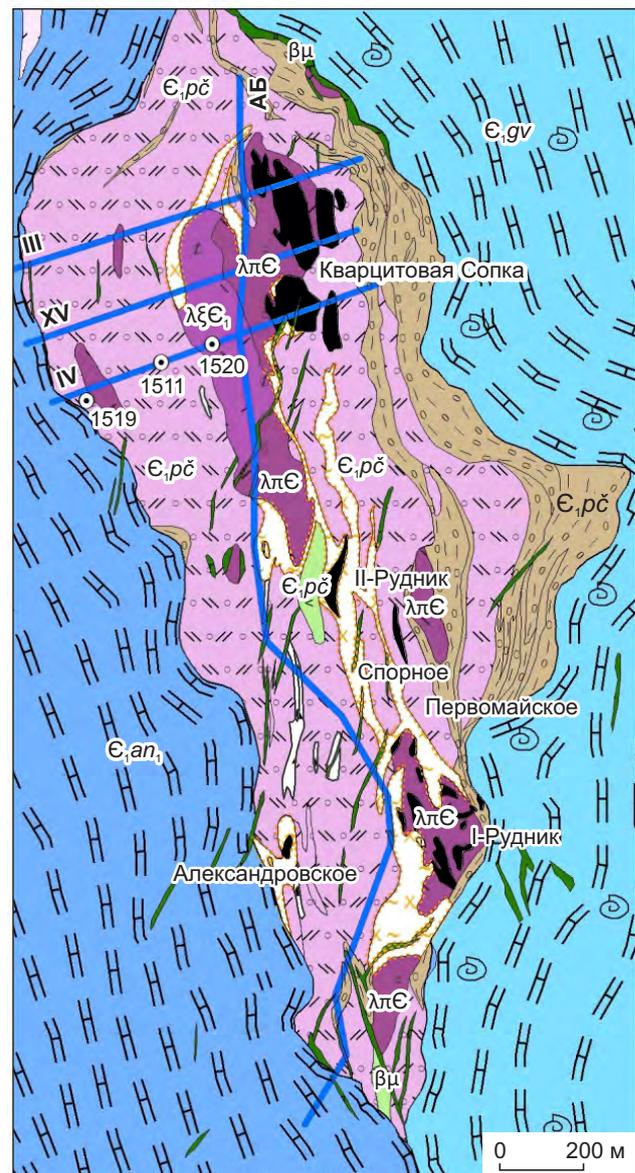


Рис. 5. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ САЛАЙРСКОЕ (по материалам Н.Ф.Агеенко, Н.Г.Исыпова, 1992 г.):

усл. обозн. см. рис. 2

удалённых фаций. Венчает разрез пачка чередования пород удалённых фаций с терригенно-карбонатными морскими отложениями, которая находится на границе с перекрывающимися известняками анчешевской свиты, что говорит о смене обстановок осадконакопления в палеобассейне седиментации и затишье вулканической активности в данном регионе.

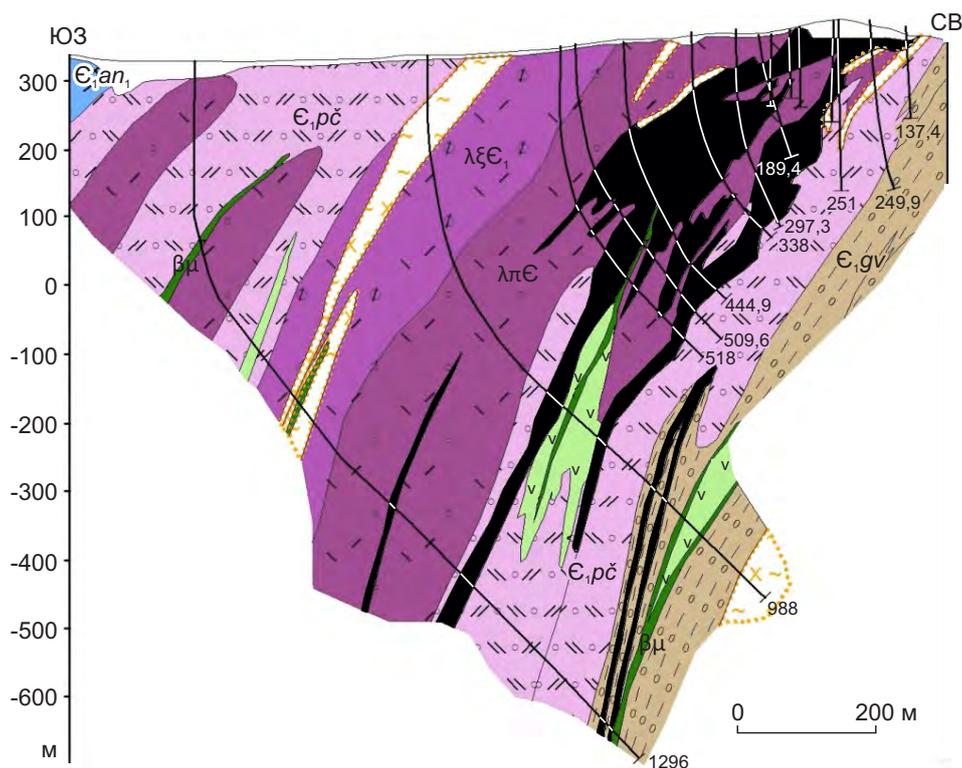


Рис. 6. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ XV МЕСТОРОЖДЕНИЯ САЛАЙРСКОЕ (по материалам Н.Ф.Агеенко, Н.Г.Исыпова, 1992 г.):

усл. обозн. см. рис. 2, 5

Для месторождения Каменушинское характерно проявление интенсивного кварц-серицит-хлоритового метасоматоза, который сопровождался серицитизацией и хлоритизацией рассланцованных риолитов, риодацитов и других алюмосиликатных пород. Рудные тела не имеют чётких геологических границ и представляют собой штокверк, состоящий из системы пересекающихся кварц-серицит-хлорит-баритовых прожилков, содержащих переменную вкрапленность сульфидов и постепенно сменяющихся зонами рассеянной сульфидной минерализации, приуроченный к субвулканическим или экструзивным риодацитам.

Стратифицированные рудные тела имеют северо-западное простирание, линзовидное строение и кулисообразно заходят друг за друга. Основная масса сульфидов сосредоточена в пределах прожилков, хотя и вмещающие породы содержат то или иное количество тонкодисперсной вкрапленности рудных минералов, особенно пирита. Зоны рассеянной пиритизации сопутствуют рудным телам и охватывают обширные участки.

Верхние зоны висячего бока рудных тел сопровождаются обширными ореолами интенсивной каолинизации и окварцевания вмещающих пород, переходящими с глубиной в зоны пропилитизации.

Таким образом, месторождение Каменушинское представляет собой комбинацию штокверковых руд канальной зоны и стратифицированных проксимальных залежей пластообразной и линзовидной формы.

Распределение минеральных типов руд месторождения Салайрское. Зональное распределение компонентов в рудных телах месторождения было рассмотрено А.С.Лапуховым [6]. В своих работах он отмечал общую тенденцию к возрастанию относительных содержаний свинца по возрастанию рудных залежей.

Нами в качестве примера изучена зональность распределения рудных минералов одной из рудных зон месторождения, подсечённая профилем скважин IV (рис. 9). Скважины подсекают одни и те же рудные подзоны на разных глубинах и рассмо-

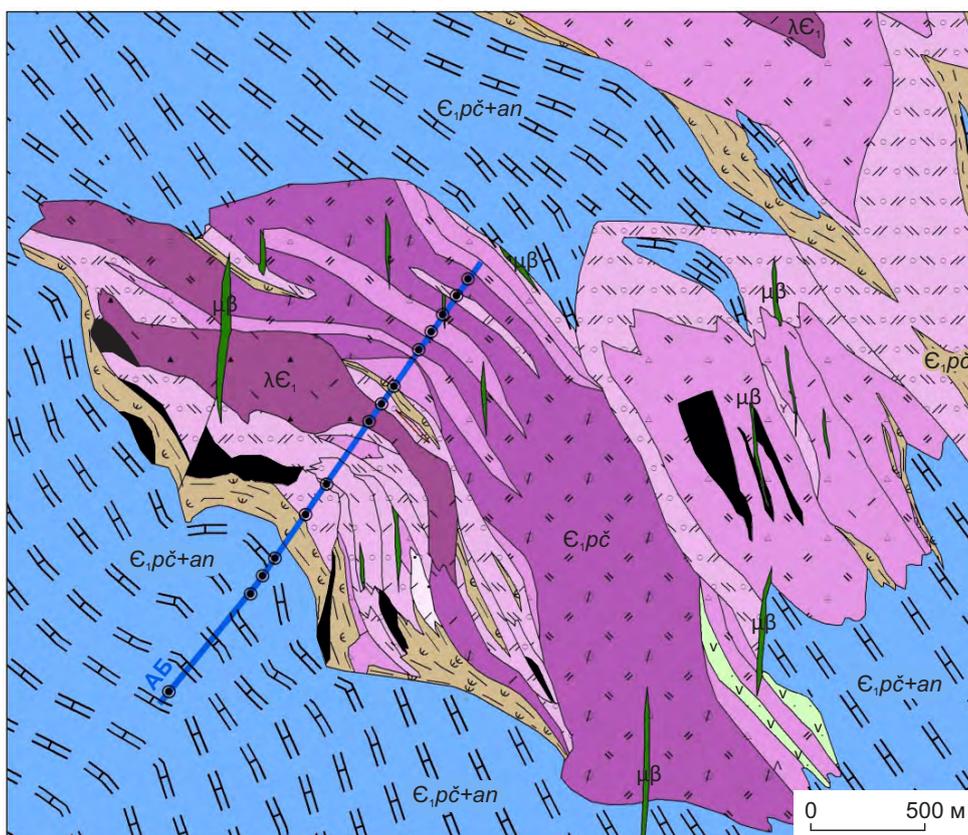


Рис. 7. ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕНУШИНСКОЕ (по материалам Ю.Г.Ярославцева, 1982 г.):

усл. обозн. см. рис. 2

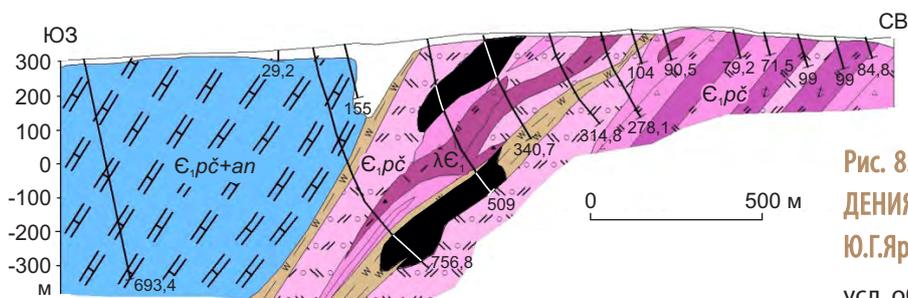


Рис. 8. РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ АБ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕНУШИНСКОЕ (по материалам Ю.Г.Ярославцева, 1982 г.):

усл. обозн. см. рис. 2

трены по порядку с запада на восток, что позволяет охарактеризовать рудную минерализацию по падению (расположение профилей и скважин см. рис. 5). В скв. 1537 минерализация представлена рудными интервалами золото-медного и золото-медно-цинкового типов, которые ритмично чередуются друг с другом. В скв. 1511 в рудах значительно возрастает роль цинка, исчезают чисто медные интервалы. Наблюдается ритмичное чередование цинковых и медно-цинковых типов руд, участками золотосодержащих, в единичном ин-

тервале устанавливается повышенное содержание серебра. Далее по восстанию в скв. 1520 появляются золото-барит-медно-свинцово-цинковые и золото-серебро-барит-медно-цинковые интервалы, осложняющие ритмичную зональность по мощности. Содержание Au в данных рудах ~2,5–3 г/т. В лежачем боку проявлены медно-цинковые золотосодержащие руды с содержанием Au ~1,5 г/т.

К югу от профиля IV проанализирован профиль XV. В толще риолитов минерализация заметно беднее и представлена цинковыми и медными

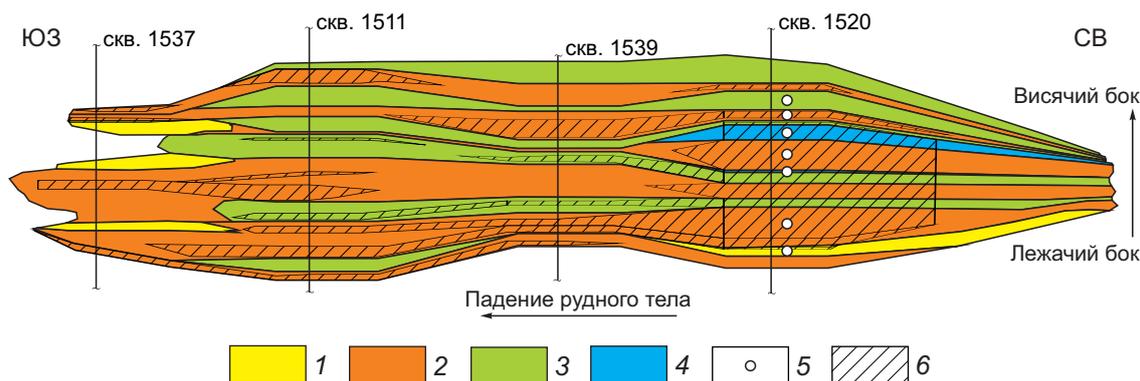


Рис. 9. ЗОНАЛЬНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ТИПОВ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ САЛАЙРСКОЕ ПО ПАДЕНИЮ И МОЩНОСТИ, ПРОФИЛЬ IV:

типы руд: 1 – медный, 2 – медно-цинковый, 3 – цинковый, свинцово-цинковый, 4 – полиметаллический; 5 – барит; 6 – повышенное содержание Au, Ag, Au+Ag

интервалами с небольшим содержанием золота. К северу от профиля IV по профилю III в риолитах наблюдаются преимущественно цинковые и золото-цинковые рудные тела. В толще кислых эффузивов и их туфов развиты в основном рудные тела золото-серебро-барит-полиметаллического состава. При этом в рудных телах выделяются участки с преобладанием свинцово-цинковой и медно-свинцово-цинковой составляющих, а также обеднённые золотом участки, но с повышенным содержанием серебра.

Из приведённых данных можно сделать вывод о распределении минеральных типов руд по падению и мощности. Зональность проявляется в том, что при удалении от зон подводящих каналов разрез с существенно медной и медно-цинковой ритмичной минерализацией осложняется полиметаллическими интервалами: медные → медно-цинковые → медно-свинцово-цинковые → медно-цинково-свинцовые → полиметаллические.

Минеральные типы руд месторождения Каменушинское. Предварительное изучение зональности распределения минеральных типов руд на месторождении Каменушинское показало, что наиболее распространённый тип руд – медно-колчеданные, среди которых можно выделить собственно медно-колчеданные, медно-колчеданные золотосодержащие (Au 0,1–0,4 г/т) и золото-медно-колчеданные (Au >0,5 г/т) руды. В подчинённом количестве встречаются цинковые, золото-цинковые, свинцово-цинковые, единичные проявления полиметаллических и золото-серебро-медно-

колчеданных руд. Рядом скважин вскрыта бедная золотая минерализация. Руды локализованы в туфогенно-осадочных и вулканогенных породах кислого состава.

В заключение можно отметить следующее.

Салайрская и Каменушинская структуры являются рудовмещающими для самостоятельных месторождений и совместно образуют рудное поле (см. рис. 3). Они представляют собой локальные палеовпадины, выполненные вулканогенно-осадочным материалом и приуроченные к одной рифогенной постройке, при этом имеют общие петрохимические характеристики вулканогенных пород и сходный литолого-фациальный состав. Единство месторождения Салайрское подтверждено построением продольного разреза (см. рис. 2), на котором видно, как рудные зоны некоторых месторождений (ранее считавшихся отдельными) сливаются в единые.

Салайрско-Каменушинское рудное поле сформировалось на позднем этапе вулканической активности, находится в пределах верхнего уровня Салайрской вулканотектонической депрессии (Салайрского рудного района), выполнено вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями контрастной базальт-риолитовой формации натровой серии.

В пределах рудного поля на основании литолого-фациального анализа выделены породы, относящиеся к жерловой, околожерловой, промежуточной и удалённой фациям по отношению к центрам вулканизма (подводящим каналам).

На обоих месторождениях Салаирско-Каменишинского рудного поля развиты сходные морфологические типы руд. Они представлены штоковыми рудными телами, отвечающими подводящим каналам и приуроченными к субвулканическим и экстрезивным породам кислого состава

жерловых фаций, а также линзообразными и пластовыми телами, которые расположены либо проксимально над подводящей зоной, либо дистально на некотором удалении от неё и приурочены к вулканогенно-осадочным горизонтам промежуточных фаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородаевская М.Б., Горжевский Д.И., Ручкин Г.В.* Система геологических наблюдений при прогнозе и поисках месторождений колчеданных руд. – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 1992.
2. *Государственная геологическая карта Российской Федерации.* Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Алтае-Саянская. Лист N-45-Новокузнецк. Объяснительная записка. – СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2007.
3. *Дистанов Э.Г.* Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977.
4. *Колчеданные месторождения СССР / Отв. редактор С.Н.Иванов.* – Москва: Наука, 1983.
5. *Кузнецов В.В.* Геолого-генетические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Сибири // Тез. докл. науч.-практ. конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы», 19–20 апреля 2016 г. М., 2016. С. 34–36.
6. *Лапухов А.С.* Зональность колчеданно-полиметаллических месторождений. – Новосибирск: Наука, 1975.
7. *Серавина Т.В., Инякин А.В., Кузнецов В.В.* Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. 2017. № 2. С. 22–30.

GEOLOGICAL-STRUCTURAL SETTING AND LOCALIZATION ENVIRONMENTS OF PYRITE-POLYMETALLIC ORES WITHIN SALAIR-KAMENUSHINSKOYE ORE FIELD, SALAIR RIDGE

A.V.Inyakin
(Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

The paper discusses geological-structural setting and localization environments of pyrite-polymetallic ores within the Salair-Kamenushinskoye ore field consisting of the Salair and Kamenushinskaya depressions filled with volcanosedimentary material characterized by common petrochemical features and similar lithological-facial composition. Description is given for the Salair ore district volcanic activity, Salair-Kamenushinskoye ore field confinement to the late stage, an accumulation period of volcanogenic and volcanosedimentary deposits of sodic series' contrast basalt-rhyolite unit. Rocks of vent, circumvent, intermediate and remote facies in relation to volcanic centers (feeders) are identified within the ore field, morphological ore types and their association with the identified facies are discussed.

Keywords: pyrite-polymetallic ores, Salair-Kamenushinskoye ore field, geological-structural setting, localization environments, vent, circumvent, intermediate and remote facies.

СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ЗОЛОТОРУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАВЛИК

В Центрально-Колымском золоторудном районе расположены крупные месторождения Наталка и Павлик, имеющие сходное строение. Детальные наблюдения в карьере и изучение керн месторождения Павлик позволили наметить этапность структуро- и минералообразования, в том числе сопоставить время рудообразования и левосдвигового этапа развития, когда произошла трансформация ранних оперяющих взбросо-надвигов и взбросо-сдвигов в листрические сбросо-сдвиги. В рудоконтролирующей, сложнопостроенной зоне тектонических нарушений выделены стержневые взбросо-надвиги и зоны объёмной трещиноватости между ними. Выявленные области максимальных значений линейной продуктивности, вытянутые с северо-востока на юго-запад, трассируют проекцию палеофлюидопотоков и дают возможность прогнозировать развитие рудной минерализации в этом направлении и корректировать направление разведочного бурения.

Ключевые слова: Центрально-Колымский, золото, месторождение, Павлик, транспрессионный, взбросо-надвиг, взбросо-сдвиг.

Месторождение Павлик, входящее в Омчакский рудно-россыпной узел (РРУ), находится в Магаданской области. С 2015 г. обрабатывается карьером ОАО «Золоторудная компания Павлик», в настоящее время проводятся разведочные работы на флангах для установления структурных критериев высококонцентрированного оруденения (рудных столбов) и определения оптимального направления разведочного бурения.

На площади Верхояно-Колымской складчатой системы расположен ряд РРУ, приуроченных к областям влияния или к самим зонам региональных сдвигов северо-западного и близмеридионального простирания [2]. В наиболее рудоносном Центрально-Колымском золоторудном регионе [7] выделяется Тенькинский глубинный разлом, который контролирует несколько РРУ (рис. 1): Дегдеканский (месторождения Токичан, Дегдекан), Омчакский (Наталкинское, Омчак, Павлик, Золотая Речка) и Пионерский (Родионовское, Игуменовское). Наиболее продуктивный Омчакский РРУ – основная золоторудная база Магаданской области. Подсчитанные запасы, по данным сайтов добывающих компаний, около 1600 т рудного золота (месторождения Наталкинское и Павлик).

В.Г.Шахтыров [8] обосновал сдвиговую кинематику Тенькинского глубинного разлома северо-западного простирания, который проявлен на поверхности локальными складками, однообразной ориентировкой длинных осей гранитоидных массивов, сериями даек и разломов, вмещающих золотую минерализацию. Так, например, в Омчакском РРУ выделяется Омчакский разлом крутого (70–75°) восточного падения, представленный серией субпараллельных и оперяющих трещин, зон дробления и раз-



Савчук

Юрий Степанович¹

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

Волков

Александр Владимирович¹

доктор геолого-минералогических наук
заведующий лабораторией
alexandr@igem.ru

Аристов

Василий Васильевич¹

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
rstvvv@yandex.ru

Сидоров

Виктор Анатольевич²

ведущий геолог
aurum@maglan.ru

Лямин

Сергей Михайлович²

ведущий геолог
aurum@maglan.ru

¹ ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

² ОАО «Золоторудная компания Павлик», г. Магадан



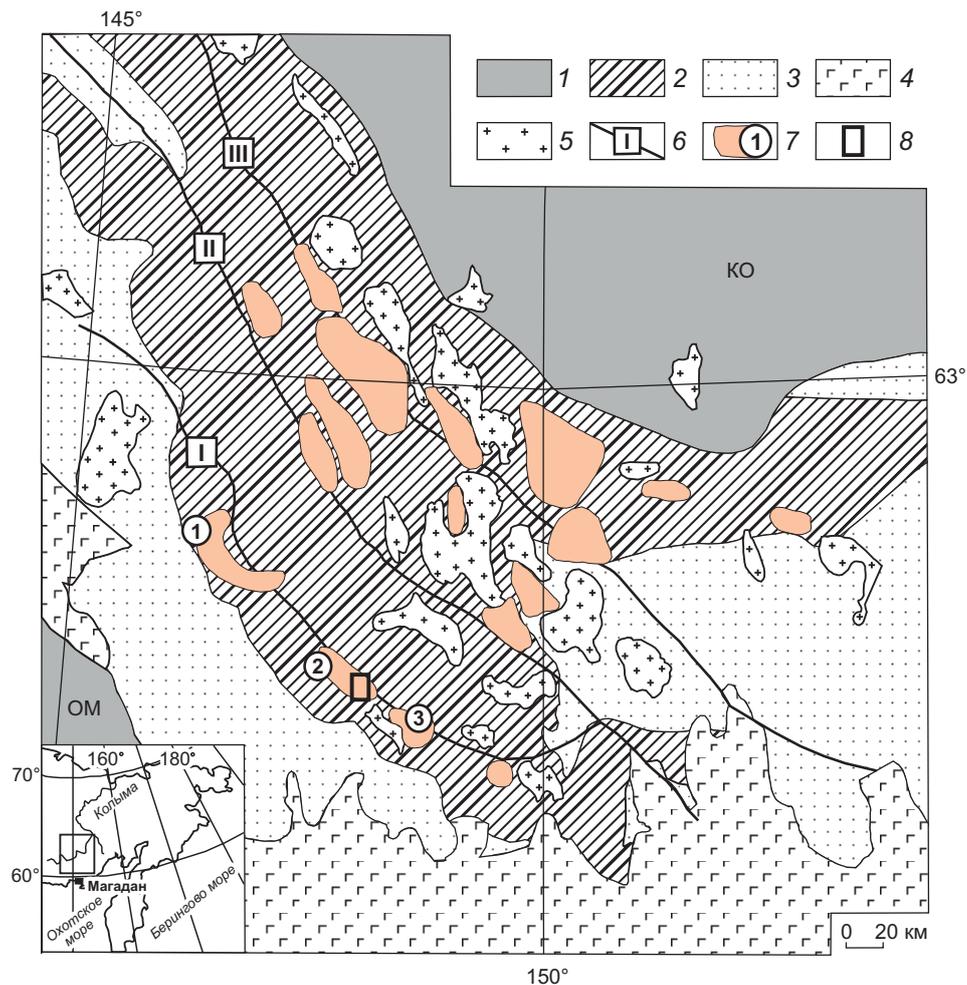


Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО РЕГИОНА, ПО [6] С ИЗМЕНЕНИЯМИ:

1 – метаморфические, осадочные и интрузивные комплексы террейнов (ОМ – Охотский кратонный террейн, КО – Колымо-Омолонский супертеррейн); осадочные комплексы Верхояно-Колымской складчатой системы: 2 – континентального склона, 3 – шельфа; 4 – образования Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 5 – позднеюрские – раннемеловые гранитоиды; 6 – региональные разломы (I – Тенькинский, II – Чай-Юрьинский, III – Дебинский); 7 – основные рудно-россыпные узлы вдоль Тенькинского разлома (1 – Дегдеканский, 2 – Омчакский, 3 – Пионерский); 8 – положение схемы рис. 3; на врезке – положение Центрально-Колымского региона

вальцевания. В.И.Гончаров и др. [1] этот разлом относят к второстепенным нарушениям, образующим Тенькинскую ветвь Адыча-Тенькинского глубинного разлома, особенность которого – «малоамплитудность в верхнем структурном этаже, а отсюда отсутствие отчётливо картируемых продольных дизъюнктивных структурных элементов». Серия региональных сдвигов, развитая через всю территорию Верхояно-Колымской складчатой системы, по нашему мнению, относится к коллизионно-транспрессионному периоду развития территории. Такая характеристика выдвигает на первый план систематические наблюдения за отдельными

трещинными структурами, что позволит установить структурно-кинематические особенности развития рудовмещающего блока и роль отдельных нарушений в размещении оруденения. Для реконструкции кинематики рудовмещающих трещин применялась методика изучения транспрессионных зон [5], а состав минерального выполнения определялся визуально и относился к той или иной стадии минерализации на основе обобщающих работ предшественников по региону (например, [4]).

В результате выделены несколько этапов формирования месторождения, характеризующихся различными структурными парагенезисами и со-

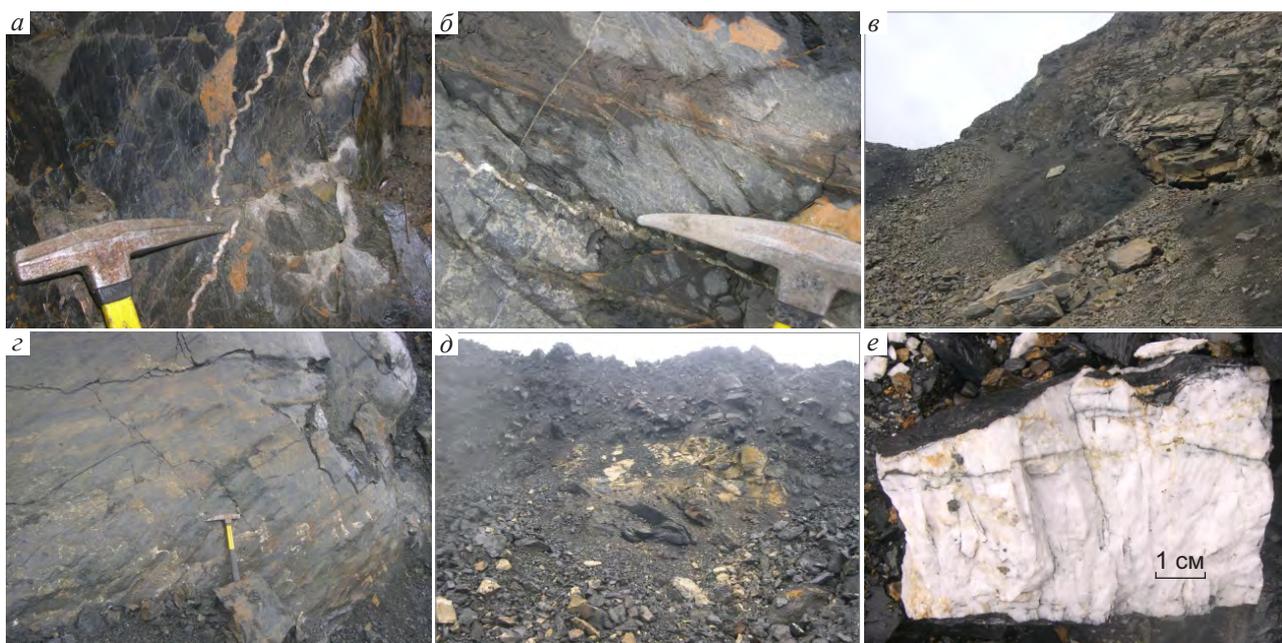


Рис. 2. ЖИЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ, РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ И ИЗМЕНЁННАЯ ДАЙКА В КАРЬЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАВЛИК:

а – кососекущий слоистость кварцевый прожилок, изогнутый и смещённый по кливажу; *б* – складки с кливажом осевой поверхности в чёрных алевролитах, с тонкими прослоями желтовато-серых песчаников и субсогласным слоистости кварцевым прожилком; верхняя и нижняя ограничивающие взбросовые структуры: *в* – пологий ($\angle 45^\circ$) верхний взбросо-надвиг, *г* – штриховка и бороздчатость на тектонической поверхности нижнего взбросо-сдвига; *д* – изменённая дайка бурого цвета; *е* – дорудная кварцевая жила, кварц с гнездами полевых шпатов

проводившихся разнообразной минерализацией. Выделяются ранние, по-видимому, доколлизийные этапы, когда образовались субсогласные и реже кососекущие (угол до $10\text{--}20^\circ$) слоистость прожилки дорудного кварца (рис. 2, *а*, *б*), которые гофрированы, смяты в складки; местами наблюдаются малоамплитудные смещения по кливажу. Размеры складок – до нескольких сантиметров, ориентировка шарниров субширотная (азимуты $90\text{--}280^\circ$) при пологих углах наклона ($5\text{--}20^\circ$). Осевые поверхности складок и кливаж падают на северо-восток и юго-запад, также крайне изменчивы углы падения, от близгоризонтальных до субвертикальных. Невыдержанность элементов залегания пород и кливажа определяется интенсивным проявлением последующих тектонических процессов, а отсутствие маркирующих горизонтов затрудняет достоверное выделение крупных складчатых структур на месторождении. Эти последующие процессы относятся уже к коллизийно-транспрессионным этапам, определившим главные черты строения и рудный потенциал месторождения Павлик.

Основными элементами структуры, образованными в следующий этап и повлиявшими на размещение минерализации, служат западо-северо-западные взбросо-надвиги и взбросо-сдвиги, по-видимому, опережающие Омчакскую зону (магистральный разлом). Серия этих нарушений образует мощный (300–400 м) тектонический пакет, в котором отчётливо выделяются верхний взбросо-надвиг (к нему приурочена рудная зона 9) и нижний взбросо-сдвиг (контролирует рудную зону 1). Залегание верхней структуры сравнительно пологое, азимут падения 10° , $\angle 45^\circ$ (см. рис. 2, *в*) в центральной части месторождения. Видимая мощность зоны 5 м, она выполнена тонко перетёртыми углеродистыми милонитами, содержащими разновеликие «окатыши» чёрных алевролитов.

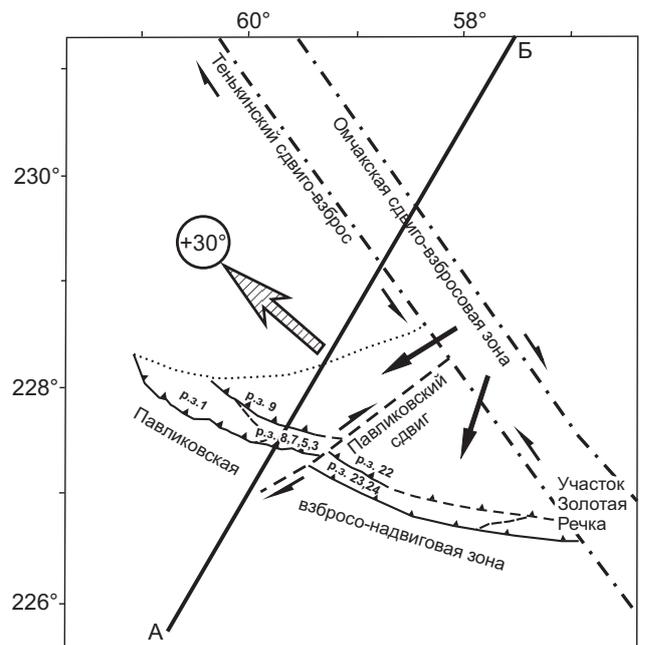
Нижний тектонический шов вскрыт верхними уступами на северо-западе карьера и падает по азимуту 45° под углом 70° (см. рис. 2, *г*). Таким образом, между двумя тектоническими поверхностями (верхний взбросо-надвиг и нижний взбросо-сдвиг), падающими к северо-востоку (под углами

45–70°), заключён мощный, интенсивно тектонизированный блок пород. Здесь проявлены сколовые трещины различных направлений, вдоль которых также происходили перемещения. Вблизи них часто фиксируются приразломные подгибы слоёв и раннего кливажа, а сами трещины вмещают прожилково-жильную минерализацию и редко интенсивно изменённые дайки.

На структурно-кинематической модели месторождения Павлик (рис. 3) показано соотношение магистрального нарушения с рудовмещающими структурами, отнесёнными к листрическим взбросо-сдвигам. Учитывание закономерностей развития структурных парагенезисов, в частности опоряющих надвигов в условиях транспрессии [5], позволяет установить два этапа в развитии описываемых взбросо-сдвиговых структур. Судя по северо-западной ориентировке этих нарушений (см. рис. 3), на первом этапе магистральный разлом характеризовался правыми перемещениями. Были образованы верхний и нижний взбросо-сдвиги. Этот этап, по-видимому, является дорудным, подготовительным. В сколовых трещинах с элементами залегания 65–70°, 60–85° содержатся изменённые дайки (см. рис. 2, д) и дорудный молочно-белый кварц с гнёздами полевых шпатов (см. рис. 2, е).

В следующий, рудный, этап произошла смена знака перемещений по разломам на противоположные – левосторонние. Вероятно, во время этого этапа образовались штриховка и бороздчатость на тектонической поверхности нижнего шва, полового наклонённая по азимуту 135°, 30° (см. рис. 2, з). Малый угол наклона свидетельствует о преобладании сдвиговых перемещений, а взбросовая компонента обеспечивала приоткрытие ранее заложенных нарушений (взбросо-сдвигов, трещин скола) и отложение золотоносных минеральных ассоциаций. Кварцевые, кварц-карбонатные прожилки с вкрапленностью сульфидов рудного этапа пересекают и содержат обломки кварца предыдущего этапа (рис. 4).

На месторождении Павлик разведаны около 30 рудных зон, имеющих северо-западное простирание и мощность от 5–10 до 30–40 м. Рудные зоны представляют собой сочетание жил, прожилков, зон метасоматического и брекчиевидного окварцевания, связанных разнообразными взаимопереходами (см. рис. 4). Подземными горными выработками и буровыми скважинами вскрываются «слепые» рудные зоны. Границы рудных зон не все-



Разрез по линии А–Б (р. л. 14)

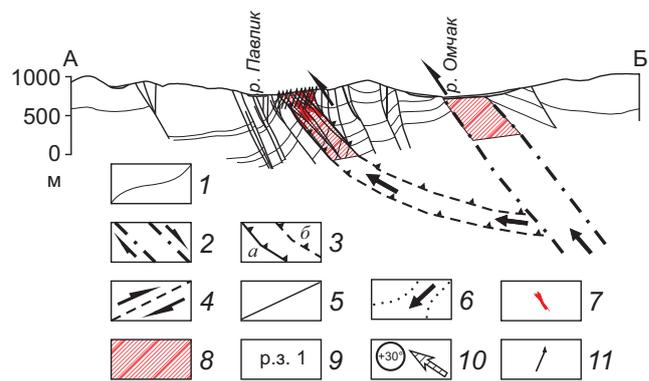


Рис. 3. СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РАЗРЕЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАВЛИК (составлена с использованием данных ОАО «Золоторудная компания Павлик»):

1 – литологические и стратиграфические границы на разрезе; 2 – правосдвиговые перемещения по Омчакской сдвиго-взбросовой зоне (дорудный этап); 3 – Павликовская взбросо-надвиговая зона (а – прослеженная, б – предполагаемая); 4 – правосдвиговые перемещения по Павликовскому сдвигу; 5 – разломы на разрезе; 6 – направление миграции рудоносных гидротерм и ореол их влияния – площадь, перспективная на «слепое» и глубокозалегающее оруденение; 7 – рудные тела на разрезе; 8 – метасоматиты карбонат-кварцевые штокверкового типа на разрезе; 9 – рудные залежи, их номера; 10 – направление перемещения блока, ограниченного Павликовской взбросо-надвиговой зоной в левосдвиговый этап рудоотложения; 11 – скважины разведочной линии 14 на разрезе

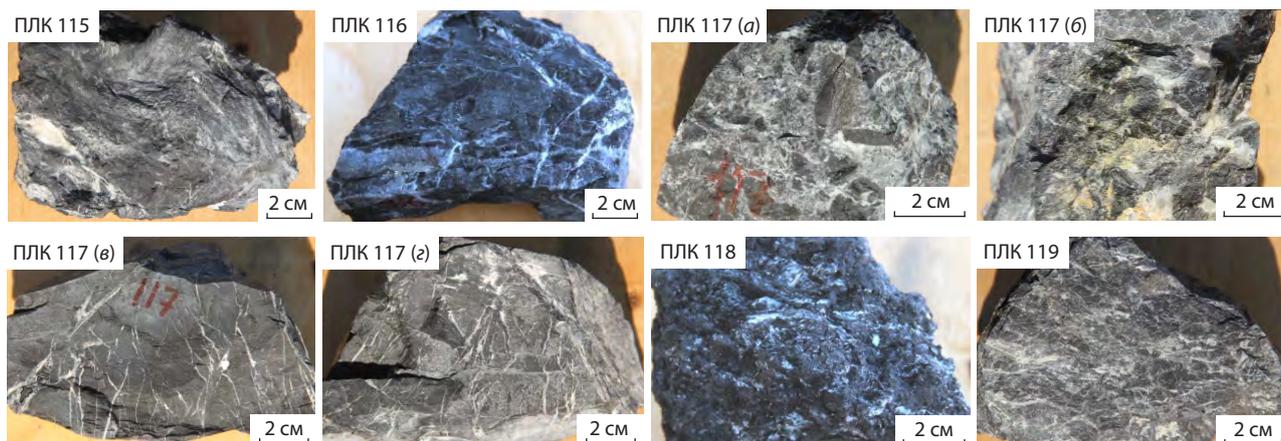


Рис. 4. РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАВЛИК – ОКВАРЦОВАННЫЕ ТЕКТОНИТЫ С СУЛЬФИДНОЙ ВКРАПЛЕННОСТЬЮ:

ПЛК 115 (рудная зона 9) – тёмно-серые прожилково-окварцованные алевролиты с тонкой вкрапленностью сульфидов; ПЛК 116 (рудная зона 8) – сильно трещиноватые алевролиты с просечками кварца и вкрапленностью сульфидов; ПЛК 117 (рудная зона 1) – брекчии алевролитов с сульфидно-кварцевым цементом (а, б), алевролиты с карбонатными прожилками, вкрапленностью пирита и арсенипирита (в, г); ПЛК 118 (рудная зона 2) – милониты по алевролитам с сульфидной вкрапленностью, редкими кварц-карбонатными прожилками; ПЛК 119 (рудная зона 2) – окварцованная брекчия по алевролитам с густой вкрапленностью арсенипирита

гда чёткие и определяются по данным опробования. Метасоматические изменения кварц-хлорит-серицитовые. Среди текстур руд преобладают прожилковые и вкрапленные, вблизи тектонических нарушений – брекчиевые.

Как отмечалось выше, рудная минерализация контролируется сложнопостроенной зоной тектонических нарушений. Для изучения последних и анализа размещения оруденения на глубину использована фотодокументация керна скважин ОАО «Золоторудная компания Павлик». По фотодокументации керна скважин, пробуренных по разведочной линии 14 (выбрана в качестве опорной), выделяются два типа тектонических нарушений. Первый тип – это серии надвиговых зон, выраженных углеродистыми милонитами и имеющих мощность от первых метров до 10 м и более (рис. 5, а). Второй тип – это зоны объёмной интенсивной трещиноватости, смятия и дробления мощностью до 10 м и более с развитием мелких кварцевых и кварц-карбонатных прожилков (см. рис. 5, б). Оба типа тектонических нарушений развиваются взаимосвязанно, и, как правило, надвиговые зоны – осевые, окаймляют нарушенные блоки, а дробление развито в междвиговом пространстве. Такие особенности обусловили пологий, погружающийся на северо-восток под углами 40–45°, рудный штокверк (рис. 6).



Рис. 5. ОБЩИЙ ВИД ТИПОВЫХ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ В КЕРНЕ СКВАЖИН:

а – углеродистые милониты надвига 1 (скв. 81410, интервал 57–65 м; содержание Au в интервалах 62–63 м – 2,54, 63–64 м – 1,04 г/т; среднее содержание Au на мощность 2 м – 1,79 г/т); б – зона мелкопрожилкового сетчатого окварцевания в диамиктитах (скв. 81403, интервал 20–23 м; содержание Au в интервале 20–21 м – 16,78, 21–22 м – 1,05, 22–23 м – 1,69 г/т)

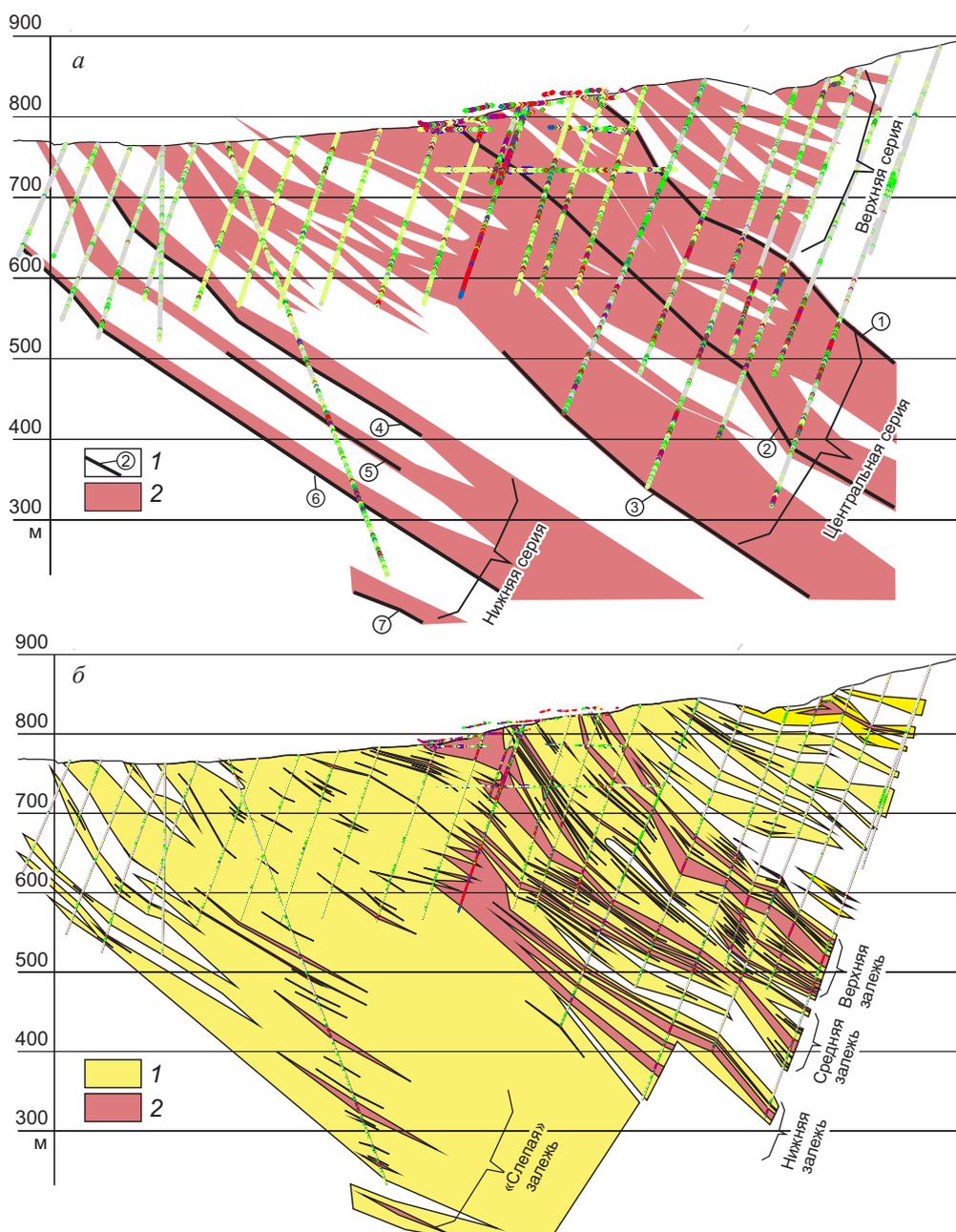


Рис. 6. РАЗРЕЗ ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ЛИНИИ 14:

а – зоны надвигов и объёмной трещиноватости (1 – надвиги, их номера; 2 – зоны объёмной трещиноватости и дробления); *б* – интенсивность прожилково-метасоматических изменений (1 – прожилково-метасоматический ореол Au=0,01–0,79 г/т; 2 – интенсивные изменения – рудные зоны Au=0,8 г/т и более)

В целом в объёме месторождения рассмотренные выше типы разломов группируются в серии (см. рис. 6, *а*). Верхняя серия представлена пологими зонами дробления небольшой мощности, центральная связана с тремя осевыми надвиговыми структурами (1, 2, 3) и окаймляющими их мощ-

ными зонами трещиноватости и дробления (собственно рудные залежи месторождения), нижняя выражена несколькими (4, 5, 6, 7) надвиговыми структурами. На этой основе проведён анализ размещения рудной минерализации в разрезе месторождения (см. рис. 6, *б*). Здесь выделяется ореол

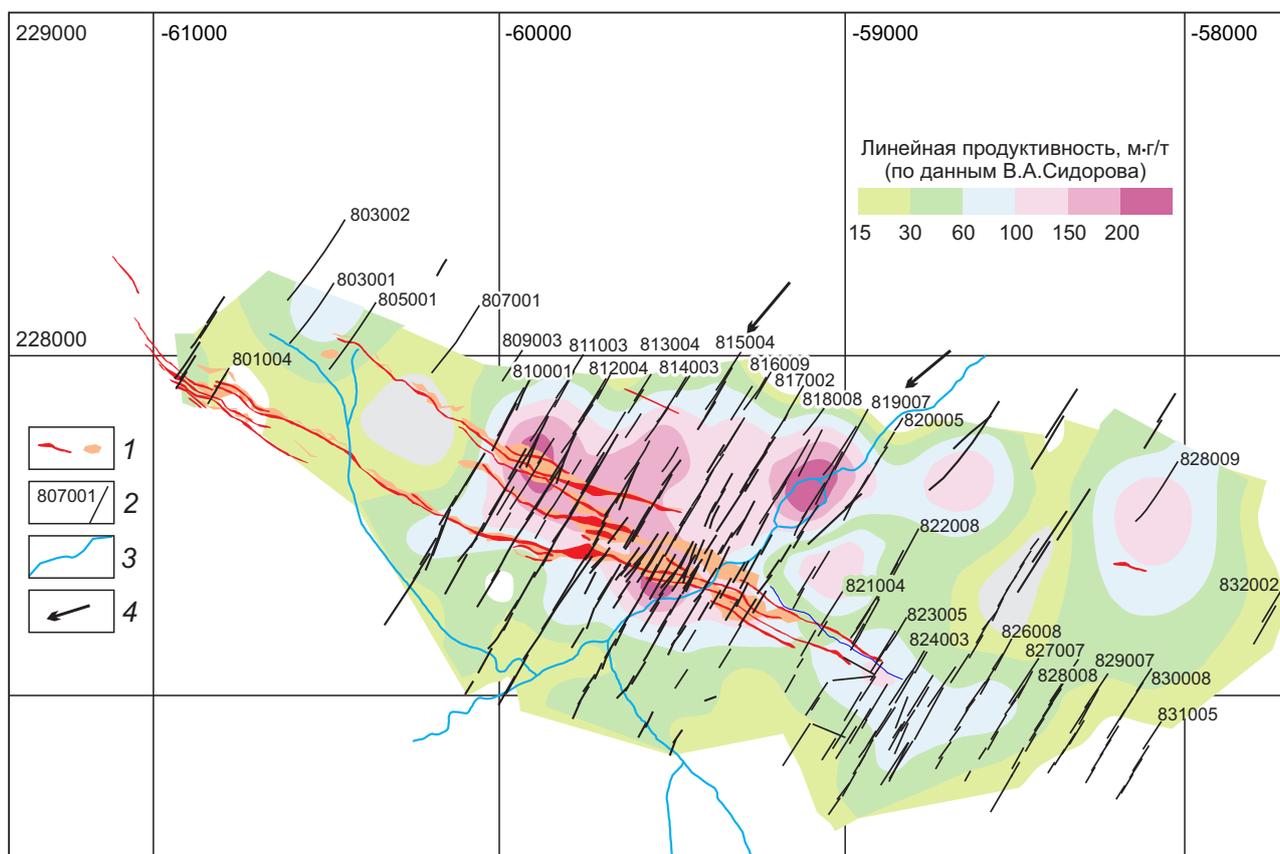


Рис. 7. СХЕМА ПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТИРОВКИ ПАЛЕОФЛЮИДОПОТОКОВ ПО ДАННЫМ ОПРОБОВАНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН (проекция на горизонтальную плоскость линейной продуктивности):

1 – рудные зоны и тела, выделенные по разным кондициям; 2 – горизонтальные проекции буровых скважин на профилях; 3 – рудные жилы; 4 – предполагаемая ориентировка палеофлюидопотоков

прожилково-метасоматической проработки, развитый шире тектонически нарушенного блока пород. Этот ореол наиболее плотный и однородный в центральной части и распадается на отдельные узкие «языки» на западном фланге и в верхней части, где проявлена верхняя серия нарушений. Наиболее интенсивные изменения (соответствующие рудным зонам) выражены внутри центральной серии нарушений. Здесь основой являются зоны трёх надвигов с дроблением между ними и, соответственно, выделяются нижняя, средняя и верхняя залежи. Рудные залежи имеют пологий струйный характер внутри ореола, причём выделяются крупное основное тело и вокруг серии более мелких.

Интенсивные изменения проявлены и в пределах нижней серии нарушений, причём золотая минерализация развивается непосредственно в связи с зонами надвигов, образуя «слепые» пологие

залежи. Такое размещение рудных залежей относительно осевых надвиговых структур позволяет предположить, что последние были путями проникновения рудоносных гидротермальных растворов, которые прорабатывали значительные блоки нарушенных пород. Подтверждение рудоподводящей роли надвигов – присутствие вкрапленной сульфидной минерализации и почти повсеместно установленные повышенные содержания золота в этих структурах (см. рис. 5, а).

Для выявления предполагаемых трасс палеофлюидопотоков проведена статистическая обработка данных опробования керн разведочных скважин центральной части месторождения (рис. 7). Мощности рудных интервалов умножались на среднее содержание металла и суммировались по каждой скважине. Полученные суммы линейной продуктивности выносились на план и отстраивались

изолинии. Выделенные области максимальных значений вытянуты по направлению трасс палеофлюидопотоков с северо-востока на юго-запад. По этим данным корневые части палеофлюидопотоков перспективны на обнаружение наиболее мощного и интенсивного оруденения, что может служить дополнительным обоснованием при определении направления первоочередных геологоразведочных работ.

Сходная последовательность структурных и рудообразующих событий, рассмотренная нами выше, охарактеризована и в работе [1] для месторождения Наталка (метаморфогенные кварцевые жилы – дайки спессартитов – дайки риолитов – основные гидротермальные руды – риолитовые брекчии – массивы и штоки гранитоидов), что позволяет распространить найденные структурные закономерности на другие перспективные объекты Омчакского РРУ. Например, основная структура месторождения Наталка [1] – Наталкинская разрывная зона шириной 1 км, протяжённостью 12 км, ориентированная на северо-запад (320–340°). К югу она приобретает плавный перегиб в широтном направлении и сочленяется с магистральным Омчакским разломом северо-северо-западной ориентировки. Падение рудовмещающих сбросов северо-восточное, причём для крайних юго-западных швов – Главного и следующего за ним Северо-Восточного разломов – 45–60° с постепенным вылаживанием вниз. Породы в зоне Главного разлома сильно смяты и развальцованы (превращены в чешуйчато-пластинчатый тектонит) на мощность 5–20 м. Данные признаки позволяют предположить взбросо-надвиговую природу этих нарушений, как и на месторождении Павлик. Для рудовмещающих листрических разломов установлены движения сбросового характера, что возможно лишь при левосдвиговых перемещениях по магистральному нарушению.

Таким образом, перемещения по Тенькинскому глубинному разлому происходили знакопеременно, что отразилось в смене сдвигов с правого на левый в Омчакском разломе. Месторождения Наталка и Павлик приурочены именно к таким фронтальным частям листрических взбросо-сдвиговых структур. Смена знака перемещения имеет, по-видимому, региональные причины, рассмотрение которых выходит за рамки данной работы. Отметим только, что более ранние правосдвиговые перемещения по глубинному разлому, вероятно,

вызваны волной давления со стороны Колымо-Омолонского супертеррейна на структуры Верхоянского складчатого пояса [2], а смена знака на левосдвиговые перемещения – начало давления со стороны Кони-Мургальской дуги [3]. Последующие пострудные деформации, вероятно, определялись становлением Охотско-Чукотского вулканогенного пояса.

Результаты проведённых исследований позволяют сделать ряд выводов.

1. Основные рудоконтролирующие структуры – протяжённые магистральные разломы, которые являются поверхностным выражением региональных (глубинных) разломов (Тенькинского в Центрально-Колымском регионе), относящихся к продольным коллизионно-транспрессионным нарушениям.

2. Первоначальные перемещения по коллизионно-транспрессионным зонам и, соответственно, по магистральным разломам (дорудный этап) – правосдвиговые. Трещинный парагенезис контролирует внедрение дайкового комплекса (спессартиты, риолиты) и дорудные кварцевые жилы. На собственно рудном этапе происходят смена кинематики на левосдвиговую, трансформация ранее образованных опережающих взбросо-надвигов и взбросо-сдвигов в листрические сбросо-сдвиги, что сопровождается отложением золото-сульфидно-кварцевой минерализации.

3. Применение структурных методик даёт возможность значительно расширить перспективы невоскрытой части месторождения Павлик к юго-востоку от Павликовского сдвига до Омчакского разлома (участок Золотая Речка) и наметить места наиболее концентрированного оруденения, соответствующего рудным столбам. Перспективными для выявления рудных столбов представляются участки на северо-восточном и юго-восточном флангах месторождения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ОАО «Золоторудная компания Павлик» – генеральному директору Макарову Василию Павловичу, директору по геологоразведке Троицкому Виктору Владимировичу и др. за оказанную помощь при выполнении работ.

Работа осуществлена по Программе № 48 «Месторождения стратегических и высокотехнологичных металлов Российской Федерации: закономерности размещения, условия формирования, инновационные технологии прогноза и освоения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

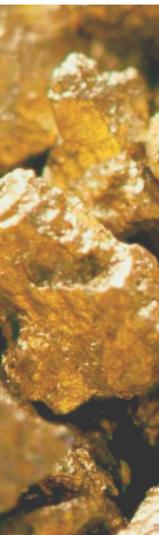
1. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское месторождение – золоторудный гигант России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002.
2. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
3. Золото-сурьмяные месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных золото-кварцевых и эпитептермальных антимонитовых руд / Н.С.Бортников, Г.Н.Гамянин, О.В.Викентьева и др. // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52. № 5. С. 381–417.
4. Месторождение Наталкинское / В.И.Гончаров, Н.А.Горячев, В.А.Сидоров и др. // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т. 3. Стратегические виды рудного сырья Востока России. Кн. 1. М., 2006. С. 213–254.
5. Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.
6. Стружков С.Ф., Наталенко М.В., Цимбалюк Н.В. Уникальные золоторудные регионы Витватерсранд (ЮАР) и Центрально-Колымский (Россия) – сопоставительный анализ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 4. С. 72–81.
7. Фирсов Л.В. Золото-кварцевая формация Яно-Колымского пояса. – Новосибирск: Наука, 1985.
8. Шахтыров В.Г. Тенькинский глубинный разлом: тектоническая позиция, инфраструктура, рудоносность // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии. Магадан, 1997. С. 62–64.

STRUCTURE AND COMPOSITION OF GOLD PAVLIK DEPOSIT

Yu.S.Savchuk¹, A.V.Volkov¹, V.V.Aristov¹, V.A.Sidorov², S.M.Lyamin²
 (¹RAS Institute of Ore Deposit Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Moscow, ²OJSC Pavlik Gold Mining Company, Magadan)

The Central Kolyma gold region hosts major Nataalka and Pavlik deposits, which have a similar structure. Detailed observations in the quarry and in the core of the Pavlik deposit made it possible to outline the stages of structure and mineral formation and compare gold formation process to the left-lateral stage of development when transformation of previously formed feathering uprise-thrusts and uplift-shifts into lustric fault-shifts took place. In the ore-controlled, complex structure zone of tectonic disturbances, rod-like uplift-thrusts and zones of volumetric fracturing between them were identified. Selected areas of the maximum gold values extending from north-east to south-west trace palaeofluid flows, allow to predict ore mineralization development and adjust exploration drilling direction.

Keywords: Central Kolyma, gold, deposit, Pavlik, transpression, overthrust, overshear.



НАТАЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА ФОГЕЛЬМАН – 60 ЛЕТ В ЦНИГРИ (К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



7 июня 2018 года исполнилось 105 лет со дня рождения ведущего специалиста по металлогении золота, одного из «старожилов» ЦНИГРИ – Натальи Александровны Фогельман.

Из официальных источников

В ЦНИГРИ (НИГРИЗолото) Н.А.Фогельман работала с 1938 по 2004 гг. с перерывом в годы Великой Отечественной войны, когда она занимала должность заведующей геолого-поискового бюро треста «Каззолото» в Казахстане.

Творческий путь Натальи Александровны совпал по времени со становлением института, а по сути – с формированием научных школ, решением многих геологических проблем и исполнением крупных государственных задач, обеспечивших страну благородными металлами. Н.А.Фогельман – яркий представитель славной кагорты учёных института, воспитавшей несколько поколений высококлассных геологов. Результаты её глубоких новаторских исследований, проведённых в ряде регионов России и Казахстана, определили «золотой век» отрасли и сейчас способствуют развитию минерально-сырьевой базы нашей страны.

В 1947–1951 гг. Н.А.Фогельман изучена геологическая позиция основных золоторудных месторождений в региональных структурах Северного

Казахстана, составлены геолого-структурные карты рудных полей и районов с выделением рудоконтролирующих дизъюнктивных структур и блоковой тектоники каледонид. С 1952 по 1955 гг. она исследовала золоторудные месторождения Кузнецкого Алатау и выявила при этом процесс предрудной метасоматической диоритизации вмещающих эффузивных толщ, а также этажное строение рудного поля, определяющие размещение золото-сульфидно-кварцевого оруденения штокверкового типа. Последующие десять лет руководила группой по изучению золоторудных районов Забайкалья. Особое внимание на этой территории ей уделено позднемезозойским сводово-глыбовым структурам и разработке критериев поисков близповерхностного оруденения балецкого типа, для которого впервые была выдвинута концепция вулканогенно-гидротермального генезиса в связи с криптовулканическими и взрывными аппаратами раннемелового вулканизма. Накопленный материал лёг в основу докторской диссертации на тему «Мезозойские структуры области активизации Забайкалья и закономерности размещения золотоносных районов», защищённой в 1966 г. С 1967 г. Наталья Александровна занималась изучением золоторудных районов Казахстана, а позднее стала организатором и активным участником крупных работ Мингео СССР по методическому обеспечению прогнозно-металлогенических карт на золото м-ба 1:500 000 и составлению комплекта карт для главнейших золоторудных провинций СССР. В последние годы активно разрабатывала вопросы рудно-формационного анализа применительно к золоторудным месторождениям. Научные исследования Н.А.Фогельман характеризуются глубоким проникновением в суть геологических явлений, умением находить оригинальные творческие решения.

Результаты научной деятельности Н.А.Фогельман отражены в многочисленных публикациях. В 1968 г. издана её монография «Тектоника мезозойского сводового поднятия Забайкалья и закономерности размещения в его пределах золоторудных месторождений». В последующие годы при активном участии Н.А.Фогельман в соавторстве



Сотрудники ЦНИГРИ, 1995 г. Стоят слева направо – А.П.Петров, И.А.Шувальский, Б.В.Рыжов, Г.К.Степанов, Ю.М.Щепотьев, А.Ф.Фоминих, Б.П.Макаров, А.К.Кондратенко, Н.Н.Александров, Л.И.Яковлев, В.А.Хорев, Л.Д.Суслова, А.А.Соловьев, сидят – Н.А.Фогельман, М.Б.Бородаевская, А.И.Дубинчик, Е.Я.Синюгина, А.А.Макарова, Г.П.Воларович, Ф.А.Шохор, Л.Я.Лапина, В.И.Петрова

с ведущими специалистами в ЦНИГРИ выпущены в свет монографии и книги: «Геология и закономерности размещения эндогенных месторождений Забайкалья» (1970), «Типовые условные обозначения и методика составления среднемасштабных прогнозных карт на месторождениях золота для областей активизации и орогенных систем» (1975), «Методические указания по составлению прогнозных карт на золото масштаба 1:200 000–1:500 000» (1982), «Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах» (1986), «Прогнозирование и поиски месторождений золота» (1989), «Методика поисков золоторудных месторождений» (1990). Кроме того, список трудов Н.А.Фогельман содержит около 80 названий статей, опубликованных в различных периодических научных изданиях, и большое число оставшихся в рукописи работ.

Будучи человеком отзывчивым и предельно доброжелательным, Наталья Александровна снискала любовь и уважение коллектива ЦНИГРИ. Она показала себя умелым и ненавязчивым педагогом, искренне увлечённым наукой, подготовила достойную научную смену из своих учеников.

Заслуги Н.А.Фогельман отмечены медалью «За доблестный труд», знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», многочисленными благодарностями в приказах Мингео СССР и ЦНИГРИ.

Из воспоминаний Валентины Симоновны Зориной, старшего научного сотрудника ЦНИГРИ

Мне (вместе с Екатериной Александровной Алекторовой) посчастливилось более 30 лет работать под руководством Натальи Александровны Фогельман.

Обаяние её многогранной личности, эрудированность, широта научных взглядов, увлечённость и преданность любимой Геологии были необыкновенно привлекательными. Поражало её отношение к молодёжи. Каждый из нас чувствовал её интерес и внимание и мог рассчитывать на помощь и поддержку.

Под научным руководством Натальи Александровны сформировалась группа молодых специалистов, владеющих различными методиками исследований, которую она сумела нацелить на решение региональных проблем золотоносности Восточного Забайкалья и Казахстана. Многие из её учеников и коллег выросли в интересных исследователей, защитили диссертации: Е.А.Алекторова, В.С.Зорина, Л.С.Шер, Б.Г.Горелов, Ю.П.Мионов. Сколько статей, авторефератов, диссертаций прошло через неё! Критика всегда была доброжелательной, а ценные советы улучшали работы.

Присущие Наталье Александровне демократичность и уважение к людям особенно ярко проявлялись в экспедиционных условиях. Для неё



Сотрудники отдела благородных металлов, 1980 г. Стоят слева направо – И.Н.Егоров, Г.М.Левитан, ?, Д.А.Тимофеевский, Н.А.Ершова, сидят – Л.В.Михайлова, В.С.Зорина, Н.А.Фогельман, Е.А.Алекторова, Е.П.Миронов

все были равны: рабочие, водители, коллекторы, научные сотрудники. В форс-мажорных ситуациях под проливными дождями она принимала участие в разбивке лагеря, ставила палатки, в длинных маршрутах стремилась разделить тяжёлые образцы с девушками-коллекторами, много часов работала в шахтах. Всё это создавало особую атмосферу в коллективе. Её уважали и любили.

Наталья Александровна – человек глубокой порядочности и особой «питерской» интеллигентности. Рядом с ней все становились чище, добрее, умнее.

Она щедро делилась с нами всем, что знала и любила. Знакомила с новыми книгами, в дождливые дни в мокрой палатке наизусть читала стихи Гумилёва, Ахматовой, Цветаевой, которые в то время были труднодоступны. Зимой мы вместе ходили в консерваторию на концерты. Наша

совместная работа переросла в многолетнюю дружбу, когда невзгоды переживаются легче, а радости и удачи становятся общими.

Наталья Александровна Фогельман была для нас наставником, другом и эталоном нравственности.

Дирекция, учёный совет ЦНИГРИ, редакция журнала «Руды и металлы» выражают искреннюю благодарность сыновьям Н.А.Фогельман – Александру Александровичу и Владимиру Александровичу Гангнусам, Зориной Валентине Симоновне, Яблоковой Светлане Васильевне за предоставленные материалы и всестороннюю помощь.

С воспоминаниями близких людей и мемуарами Н.А.Фогельман можно ознакомиться на сайте www.tsnigri.ru.



13 мая 2018 г. исполнилось 80 лет Мигачёву Игорю Фёдоровичу – главному научному сотруднику ФГБУ «ЦНИГРИ», доктору геолого-минералогических наук, академику РАЕН, академику МАМР, заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации, видному организатору отраслевой геологической науки, одному из лидеров в области металлогении, прогноза, поисков и геолого-экономической оценки месторождений цветных и благородных металлов.

По окончании в 1951 г. Московского института цветных металлов и золота им. М.И.Калинина работал в Краснохолмской экспедиции Первого главного геологоразведочного управления Мингео СССР в лаборатории осадочных полезных ископаемых. С 1964 по 1978 гг. он – сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья. Занимался изучением геологического строения медно-молибденовых месторождений и закономерностей их размещения в вулcano-плутонических формациях Южного Казахстана, Приморья, Кузнецкого Алатау.

С 1978 г. И.Ф.Мигачёв работает в ЦНИГРИ в должностях старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией, заведующего отделом, заместителя директора по научной работе. С 1989 по 2012 гг. – директор института. Возглавив ЦНИГРИ в разгар реорганизации геологической службы страны, он сумел сохранить кадровый состав, обеспечить стабильную деятельность института, высокую эффективность научно-исследовательских и научно-методических работ. Результаты его практической, научной и организационной деятельности широко известны в России, странах СНГ, Монголии, Югославии, Венгрии, Чехословакии, Румынии, Германии, Испании, Чили, Венесуэлле, США и др.

В 80-е годы с коллективом сотрудников им проведены комплексные исследования по оценке перспектив и обоснованию направлений геологоразведочных работ на цветные металлы на территории СССР и России. Полученные данные легли в основу ГРП и текущих оценок прогнозных ресурсов страны. Разработанные эффективные технологии прогноза, поисков и оценки месторождений внедрены в практику ГРП и использованы при обосновании увеличения запасов месторождений Михеевское, Соболиное, Песчанка и др. Выделены новые провинции и зоны, перспективные на выявление месторождений цветных металлов на Урале, в Притрассовой зоне БАМ, Хабаровском крае, Приморье, Магаданской области, на Чукотке. Разработанные под руководством и при участии И.Ф.Мигачёва прогрессивные технологии прогноза, поисков и оценки месторождений цветных металлов обеспечили повышение эффективности ГРП на территории России, Казахстана и Средней Азии, способствовали развитию минерально-сырьевой базы регионов.

В последующие годы И.Ф.Мигачёвым выполнены исследования по морфологической типизации и условиям локализации медно-порфировых месторождений. С учётом режимов геотектонического и металлогенического развития ранжированы вулcano-плутонические пояса, установлены основные эпохи образования медно-порфировых месторождений, созданы их модели, изучена зональность. Эти материалы легли в основу докторской диссертации, защищённой в 1991 г. В составе авторского коллектива И.Ф.Мигачёвым разработаны методические руководства по оценке прогнозных ресурсов, которые служат научно-методической основой прогнозных и поисково-оценочных работ на алмазы, благородные и цветные металлы, выполняемых производственными организациями Роснедра. При его активном участии в ЦНИГРИ выполнена серия работ, посвящённых оценке тенденций развития и перспективам сбалансированного использования и воспроизводства минерально-сырьевых баз благородных и цветных металлов, обеспеченности минерально-сырьевыми ресурсами России с учётом проблем глобализации и минерально-сырьевой безопасности страны.

И.Ф.Мигачёв – автор более 200 научных работ, в том числе 16 монографий, которые отражают широкий спектр его научно-производственных интересов.

Его деятельность отмечена правительственными наградами – орденом Почёта Российской Федерации, орденом «За заслуги перед Отечеством» и медалями. Он – лауреат премии Министерства геологии СССР, дважды лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, награждён медалью Дружбы Социалистической Республики Вьетнам, знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», «За заслуги в развитии науки и экономики России» РАЕН, почётными грамотами Мингео СССР и МПР России.

Поздравляем Игоря Фёдоровича с юбилеем. Желаем крепкого здоровья, творческого долголетия, дальнейших успехов на благо нашего института и российской геологии.

Дирекция, Учёный совет ФГБУ «ЦНИГРИ»



СЕЙМАРТЕК

17–18 ОКТЯБРЯ

**ЧЕЛЯБИНСК
ОТЕЛЬ RADISSON BLU**



**ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И БЕЗОПАСНОСТЬ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ – 2018**

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

**За более подробной информацией
обращаться по контактам:**

тел.: +7 (499) 638 2329;

e-mail: info@seymartec.ru;

www.seymartec.ru