

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕРУНДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ (Северное Забайкалье)

И.В. Четвертаков¹, В.А. Ванин¹, И.А. Демин²

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

²Иркутский государственный университет, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия

Приведены сведения о геологическом строении Нерундинского золоторудного поля, расположенного на площади Нерунда-Мамского рудного района в Северном Забайкалье. Дана краткая характеристика рудных объектов золото-кварцевой малосульфидной формации, а также рудовмещающих карбонатно-терригенных толщ и интрузивных комплексов. Охарактеризован рудоносный комплекс березит-лиственитовых метасоматитов, вмещающий карбонатно-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны. Выделены два этапа рудообразования. Установлены характерные для них аномальные геохимические ассоциации и состав рудной минерализации. Выполненные минералого-геохимические исследования золотоносных метасоматитов Нерундинского рудного поля позволили адаптировать известные геохимические и минералогические поисковые критерии для оценки уровня эрозийного среза золоторудных месторождений к геологическим условиям Нерундинского рудного поля и Нерунда-Мамского золоторудного района в целом. Основным упор в работе сделан на возможность экспрессной оценки уровня эрозийного среза на ранней стадии поисковых работ. Сделаны выводы о перспективности слабоизученных рудных объектов на глубину, и даны рекомендации по продолжению геолого-разведочных работ.

Золоторудное поле, рудоносный комплекс, глубинный разлом, интрузивный комплекс, дайковые серии

GEOLOGIC STRUCTURE, MINERALOGY, AND GEOCHEMISTRY OF THE NERUNDA GOLD ORE FIELD (*northern Transbaikalia*)

I.V. Chetvertakov, V.A. Vanin, I.A. Demin

We consider the geologic structure of the Nerunda gold ore field located in the Nerunda–Mama ore district in northern Transbaikalia. Gold–quartz low-sulfide formation and ore-bearing carbonate-terrigenous strata and intrusive complexes are briefly described. An ore complex of beresite–listvenite metasomatites hosting carbonate–quartz veins and vein–veinlet zones is characterized. Two stages of ore formation have been recognized. Anomalous geochemical associations and the composition of ore mineralization typical of these stages have been established. Mineralogical and geochemical studies of gold-bearing metasomatites of the Nerunda ore field were carried out. The known geochemical and mineralogical search criteria used for the assessment of the erosion zone level of gold deposits were applied to the geologic conditions of the Nerunda ore field and the Nerunda–Mama gold ore district as a whole. The emphasis was made on the express assessment of the erosion zone level at the early stage of prospecting. We draw a conclusion about the gold potential of the poorly studied ore objects at depth and give guidelines for the following geological exploration.

Gold ore field, ore complex, deep fault, intrusive complex, dike series

ВВЕДЕНИЕ

Нерундо-Мамский золоторудный район, включающий Нерундинское золоторудное поле, расположен в центральной части Северо-Байкальского нагорья и охватывает северо-восточную оконечность хр. Сынныр. Суровые природные условия и отсутствие путей сообщения сдерживают освоение природных богатств края. К тому же по масштабам и богатству золотоносных россыпей и коренных месторождений Нерундо-Мамский золоторудный район существенно уступает соседним — Бодайбинскому, Северо-Байкальскому и Муйскому. Не способствовала экономическому освоению района и административная граница республики Бурятия с Иркутской областью, разделившая геологически единый рудный район на две половины.

Только в 80-х годах прошлого столетия, после завершения строительства трассы БАМ, были начаты работы по разведке и разработке золотоносных россыпей в бассейне р. Левая Мама. С конца 1990-х

годов на перспективных рудных полях Нерундо-Мамского золоторудного района были развернуты поисковые работы, в результате которых выявлены два коренных месторождения золота — Мукадек в Иркутской области и Нерундинское в Бурятии.

В настоящее время на Нерундинском месторождении ведется опытно-промышленная разработка смешанным (открытым и подземным) способом. Одновременно на перспективных участках Нерундинского рудного поля ведутся детальные поисково-оценочные работы с целью выделения новых участков для постановки разведочных работ и обеспечения прироста разведанных запасов.

Наша научно-исследовательская работа проводилась с целью изучения минералогических и геохимических особенностей рудных объектов Нерундинского золоторудного поля, чтобы на его примере уточнить поисковые критерии золотого оруденения и способствовать повышению эффективности поисково-оценочных работ на всей территории Нерундо-Мамского золоторудного района.

При описании золоторудных объектов использованы собственные геологические наблюдения авторов, а также данные поисково-оценочных работ артели старателей (а/с) Сининда 1.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НЕРУНДИНСКОГО ЗЛОТОРУДНОГО ПОЛЯ

Нерундинское золоторудное поле (ЗРП) контролируется зоной Абчадского глубинного разлома северо-восточного простирания, который в региональном плане служит шовной зоной на границе двух крупных геологических структур Байкальской складчатой области — Байкало-Патомского и Байкало-Муйского складчатых поясов. В Байкало-Патомском складчатом поясе преобладают карбонатно-терригенные и черносланцевые отложения пассивной континентальной окраины рифей-вендского возраста (рис. 1). Байкало-Муйский пояс включает в себя блоки байкальской коры, сложенные неопротерозойскими островодужными и офиолитовыми комплексами пород, и блоки переработанной протерозойской сиалической коры [Рышк и др., 2007].

Нерундинское ЗРП размером 10×3 км локализовано в юго-восточном борту Олоkitского прогиба — крупной тектонической структуры Байкало-Патомского складчатого пояса, вытянутой вдоль Абчадского разлома в северо-восточном направлении. В пределах Нерундинского ЗРП развито оруденение золото-кварцевого малосульфидного типа в метасоматитах березит-лиственитовой формации (рис. 2). Вмещающие карбонатно-терригенные отложения представлены серыми метапесчаниками, металевросланцами, метаконгломератами с прослоями черных углеродистых сланцев и серых известняков. Они слабо метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев и относятся к ондокской свите среднего—верхнего рифея. Эти отложения имеют моноклинальное северо-западное падение под углом 50—80°, осложненное мелкими складками второго порядка. В терригенных отложениях встречаются силлообразные тела и линзы метагабброидов, которые местными геологами условно отнесены к довыренскому интрузивному комплексу позднерифейского возраста.

Юго-восточнее Абчадского разлома расположена Кичерская зона (блок), входящая в состав Байкало-Муйского складчатого пояса (см. рис. 1). Она представлена серией крутопадающих тектонических пластин, сложенных гетерогенными разновозрастными образованиями: 1) глубокометаморфизованными породами нюрундуканского метаморфогенного комплекса (ортоамфиболитами, гнейсами, плагиогнейсами и плагиогнейсогранитами); 2) рифей-вендскими отложениями маноканской свиты (филлитовидными сланцами металевролитами и метапесчаниками с горизонтами углеродистых сланцев, метабазальтов и линзами мраморов). Более поздними исследованиями был установлен гетерогенный состав и самого нюрундуканского комплекса. Субстратом ортоамфиболитов считается позднерифейский офиолитовый комплекс с возрастом 1.0—0.9 млрд лет. Плагиогнейсы и плагиогнейсограниты имеют возраст 762 млн лет, а прорывающие их пироксенит-габбро-нориты и плагиограниты с надсубдукционными характеристиками имеют ранневендский возраст [Рышк и др., 2007].

В зоне Абчадского разлома среди рифейских карбонатно-терригенных отложений Олоkitского прогиба встречаются тектонические линзы и блок-пластины глубокометаморфизованных образований Кичерского блока, к которым приурочены проявления золоторудной минерализации (см. рис. 2).

Породы обоих граничащих блоков прорываются массивами конкудеро-мамаканского граносиенит-гранитного комплекса, внедрившимися в среднем—позднем палеозое, в период отраженной активизации Байкальской складчатой области. В центральных частях массивов распространены лейкократовые граниты, которые ближе к периферии постепенно, через фациальные переходы, сменяются более меланократовыми породами — граносиенитами, сиенитами и диоритами. Контакты гранитоидов с вмещающими породами дискордантные — резкие и секущие. Во вмещающих породах развиты ореолы ороговикования и скарнирования в зависимости от состава вмещающих пород. Крупные массивы гранитоидов сопровождаются мелкими сателлитами штокообразной формы площадью 0.1—0.2 км².

В пределах Нерундинского ЗРП широко распространены дайки пестрого состава, которые расчлениаются на несколько разновозрастных комплексов. Наиболее ранние догранитоидные дайки сиенит- и

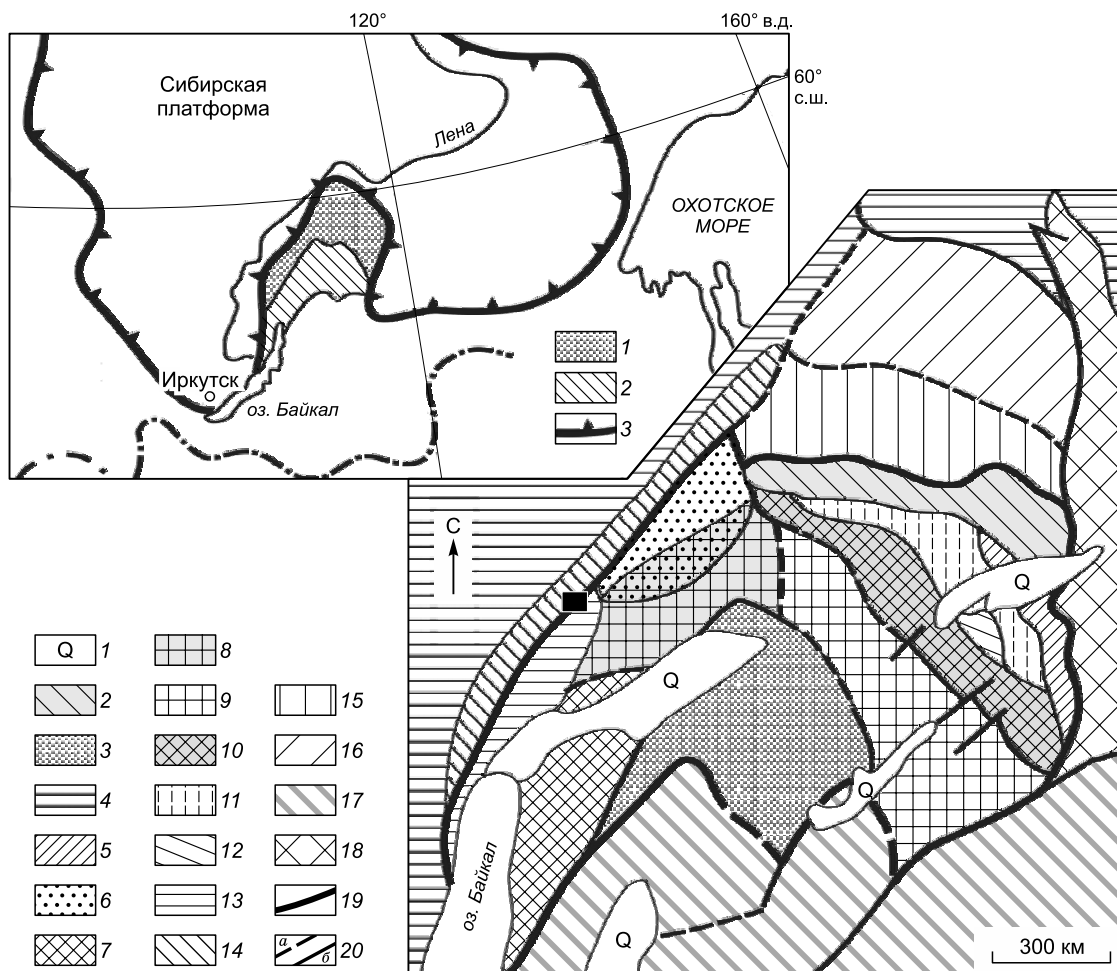


Рис. 1. Тектоническая схема Байкальской складчатой области, по [Рыцк и др., 2007].

1 — четвертичные впадины; 2—12 — Байкало-Муйский складчатый пояс: 2 — Каралон-Мамаканская зона, 3 — Катеро-Уакитская зона, 4 — Кичерская зона, 5 — Парамо-Шаманская зона, 6 — Янская зона, 7—11 — Анамакит-Муйская зона и ее подзоны (7 — Светлинская, 8 — Угдокитская, 9 — Бамбуйско-Олиндинская, 10 — Келяно-Ирокиндинская, 11 — Муйская); 12 — Киндиканский блок Муйской подзоны; 13—16 — Байкало-Патомский складчатый пояс: 13 — Кутимская, Мамская, Патомская зоны, 14 — Олокильская зона, 15 — Делюн-Уранская зона, 16 — Бодайбинская зона; 17 — Баргузино-Витимский супертеррейн; 18 — Алдано-Становой щит; 19 — тектонические границы Байкало-Муйского пояса; 20 — граничные разломы; черным прямоугольником обозначено Нерундинское рудное поле.

На врезке показаны положение и структура Байкальской складчатой области. 1 — Байкало-Патомский складчатый пояс; 2 — Байкало-Муйский складчатый пояс; 3 — тектоническая граница Сибирской платформы.

граносиенит-порфиров слагают протяженные дайковые пояса северо-восточного простирания, вытянутые вдоль швов Абчадского глубинного разлома. Многие из них изменены и содержат вкрапленную золото-сульфидную минерализацию.

Эти дайки считаются внутрирудными, связанными с золотым оруденением парагенетически. Они контролируются теми же тектоническими нарушениями, что и золоторудные зоны. Внутри рудных зон дайки березитизированны и содержат рассеянную золото-сульфидную минерализацию. Однако взаимоотношения даек и карбонат-кварцевых жил неоднозначны. Часть жил сечется контактами даек, часть — наоборот, пересекает их и проникает в дайки.

Более поздние мезозойские дайки гранит-лампрофировой формации прорывают гранитоидные массивы конкудеро-мамakanского комплекса, зоны золотоносных метасоматитов и являются пострудными.

В пределах Нерундинского ЗРП выделяются три рудных зоны: Главная, Безымянная и Габбровая, приуроченные к тектоническим швам Абчадского глубинного разлома (см. рис. 2). В их пределах развиты тела березит-лиственитовых метасоматитов, вмещающих карбонат-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны.

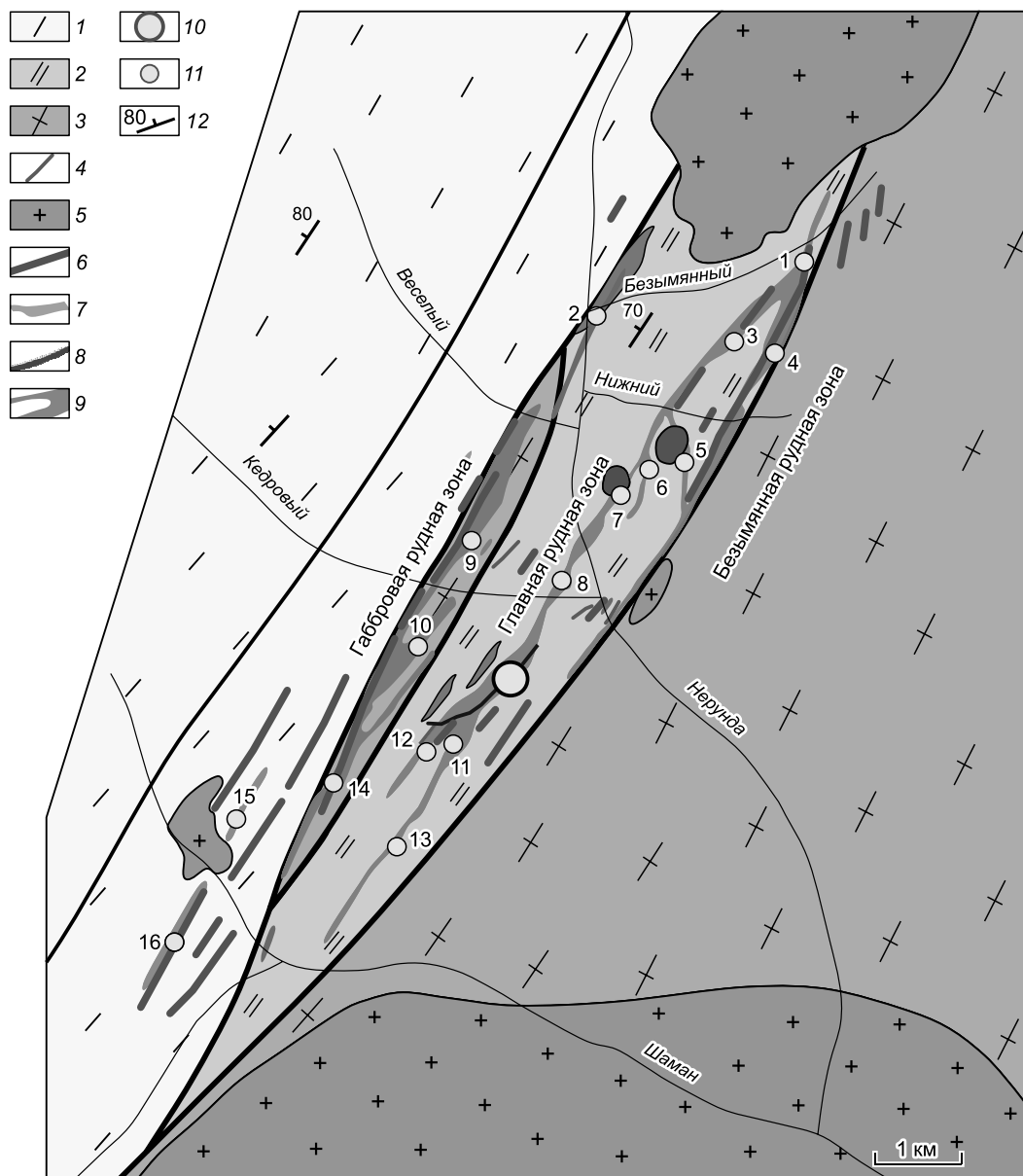


Рис. 2. Схема геологического строения Нерундинского рудного поля (по материалам а/с Сининда 1).

1 — метапесчаники, металевролиты, филитовидные сланцы манюканской свиты (R_3); 2 — карбонатно-терригенные породы ондокской свиты (R_{2-3}); 3 — гнейсы, гнейсограниты, амфиболиты нюрнудуканского комплекса (R_3); 4 — лампрофиры (MZ); 5 — граносиениты, граниты, лейкограниты конкудеро-мамаканского комплекса (PZ_{2-3}); 6 — дайки граносиенит-порфиоров (PZ_2); 7 — метагаббро довыренского комплекса (R_3); 8 — тектонические нарушения; 9 — золотоносные метасоматиты; 10 — месторождение Нерунда; 11 — проявления; 12 — элементы залегания.

Цифры на карте — номера проявлений: 1 — Вершина Безымянного, 2 — Плотиковое, 3 — Северо-Восточное, 4 — Безымянное, 5 — Полиметаллическое, 6 — Аллохтон, 7 — Центральное, 8 — Стрелка, 9 — Веселое, 10 — Габбровое, 11 — Промежуточное, 12 — Штокверковое, 13 — Юго-Западное, 14 — Аномальное, 15 — Левый Шаман, 16 — Правый Шаман.

Установлено несколько разновидностей метасоматитов: карбонат-кварцевые, хлорит-карбонат-кварцевые, карбонат-сланцисто-кварцевые березиты и березитизированные породы с содержанием сульфидов до 1—3 %. Железистые карбонаты (анкерит-сидерит) в зоне окисления частично замещены лимонитом с образованием так называемого «бурого шпата». Мощности метасоматических тел достигает 40—70 м. Содержания золота в них низкие, в пределах 0.1—0.5 г/т, и только в карбонат-кварцевых жилах и жильно-прожилковых зонах достигают промышленных.

Главная рудная зона локализована в рифейских карбонатно-терригенных отложениях ондокской свиты. При средней мощности 100—150 м она вытянута в северо-восточном направлении на 9 км,

имеет крутое северо-западное падение и залегает субсогласно с вмещающими породами. Характерными особенностями Главной рудной зоны являются широкое развитие пострудных лампрофиров и почти полное отсутствие ранних даек граносиенит-порфиров.

В пределах Главной рудной зоны разведано Нерундинское месторождение и выявлен целый ряд перспективных проявлений: Юго-Западное, Промежуточное, Стрелка, Центральное, Аллохтон, Северо-Восточное (см. рис. 2).

Безымянная рудная зона приурочена к тектоническому шву, непосредственно разделяющему рифейские карбонатно-терригенные отложения и глубоко метаморфизованные породы Кичерского блока. В пределах Безымянной рудной зоны широко распространены догранитные дайки граносиенит-порфиров, образующие дайковую серию большой протяженности. Дайки сопровождаются обширными ореолами карбонатизации (бурошпатизации) и окварцевания вмещающих пород, в различной степени золотоносными. В пределах Безымянной рудной зоны известны два перспективных проявления: Безымянное и Вершина Безымянного.

Габбровая рудная зона проходит в 500 м северо-западнее Главной, параллельно ей. Она характеризуется структурной приуроченностью к крупной тектонической пластине кристаллических пород — отторженце от Кичерского блока. В результате высокотемпературного метаморфизма и динамометаморфизма породы субстрата превращены в амфибол-биотитовые гнейсы и гнейсограниты. При петрографических исследованиях шлифов в составе блок-пластины устанавливаются разгнейсованные реликты гранитов, плагиогранитов, амфиболовых габбро. Вся пластина пронизана серией даек граносиенит-порфиров, внедрение которых сопровождалось интенсивной карбонатизацией и окварцеванием вмещающих пород. Габбровая рудная зона прослежена на расстояние более 10 км, при ширине 100—200 м. В ее пределах установлены Аномальное, Габбровое, Веселое и Плотиковое проявления.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для геохимической характеристики золотоносных метасоматитов Нерундинского рудного поля нами выполнено опробование рудных зон точечными пробами, отобранными по полотну поисковых горных выработок из расчета получить 2—3 пересечения рудных зон на каждом проявлении. В точечную пробу объединялись сколки измененных пород и мелких прожилков. Крупные жилы опробовались отдельными пробами.

Определение содержания Au, Ag в пробах проводилось с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с дуговым разрядом и сцинтилляционной регистрацией спектров (САЭС) в ЦКП ИГХ СО РАН г. Иркутска по аттестованной методике (СТЭ-1 с высокоскоростными фотодиодными линейками МАЭС; устройство «Поток») [Шабанова и др., 2012]. Количество параллельных измерений $n = 2—4$, аналитическая навеска 150 мг, расчет частиц выполнен для $150 \cdot 4 = 600$ мг, вклад в валовые содержания частиц размером < 2 мкм не учтен. Ответственный исполнитель Е.В. Шабанова, руководитель группы ОСА и СО И.Е. Васильева.

Атомно-эмиссионный анализ (АЭА) геохимических проб на 48 элементов выполнен в лаборатории ИЗК СО РАН с использованием спектрометра TIGER с дуговым разрядом по способу испарения из канала электрода. В связи с низкой чувствительностью спектрального анализа на As, Bi, Sb, все пробы дополнительно проанализированы на эти элементы рентгенофлуоресцентным методом.

Для характеристики рудной минерализации составлены объединенные пробы-протоочки из хвостов точечных проб по отдельным рудным пересечениям. Сокращенный минанализ протоочек на золото и минералы-спутники выполнен в лаборатории ООО ПК «Спирит» руководителем минеральной группы Т.А. Чикишевой.

Из тел золотоносных метасоматитов отобраны образцы для изготовления шлифов и аншлифов. Описание шлифов выполнено в ИЗК СО РАН на поляризационном микроскопе Orto-LUX (ведущий петрограф Г.В. Орлова).

Минераграфические исследования аншлифов проводились при помощи рудного микроскопа «Полар 3» и электронного сканирующего микроскопа с энергодисперсионным спектрометром (EDS): LEO 1430 (система микроанализа INCA Energy 300, Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ). Условия: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток электронного пучка 1.5 нА, время набора спектров 60 с. Для количественной оптимизации (нормировка на ток зонда и калибровка спектрометра по энергии) применялся металлический Co. Аналитик Е.А. Хромова.

Геохимическая характеристика золотоносных метасоматитов выполнена статистическим методом на базе собственных аналитических данных с привлечением результатов геохимического опробования поисковых горных выработок. Для каждого перспективного проявления составлены выборки объемом не менее 25—30 проб. В выборку объединялись пробы по двум—трем пересечениям рудных зон, контурных по содержанию золота 0.01 г/т.

Таблица 1. Аномальные геохимические ассоциации (мажоритарные ряды распределения химических элементов) в золотоносных метасоматитах Нерундинского рудного поля

Месторождения (м), проявления (п)	Аномальные геохимические ассоциации	Ag/Au
Главная рудная зона		
п. Юго-Западное	Au _{67,3} , As _{21,2} , Cu _{5,5} , Ag _{4,5} , Ni _{3,8} , Co _{2,9} , Bi _{1,9} , Cr _{1,5} , Pb _{1,4} , Zn _{1,3} , W _{1,3} (V _{0,4})	0.11
п. Промежуточное	Au _{30,8} , Bi _{10,6} , Ni _{3,6} , Y _{2,6} , Co _{2,2} , Cu _{1,8} , Zn _{1,8} , Ag _{1,9} (V _{0,7} , Mo _{0,6} , W _{0,6})	0.10
м. Нерунда	Au _{57,1} , Ni _{5,1} , Co _{3,7} , Cu _{2,4} , As _{2,0} , Bi _{2,0} , Ag _{1,5} , W _{1,5}	0.07
п. Стрелка	Au _{2,6} , Ni _{7,9} , Sb _{7,3} , Co _{3,7} , Cu _{2,2} , Zn _{2,0} , Sn _{1,8} , V _{1,7} , Pb _{1,6} , Cr _{1,5}	0.71
п. Центральное (в осадочных п.)	Au _{58,1} , Cu _{8,3} , Mo _{8,5} , Bi _{5,9} , Zn _{5,8} , Ni _{4,1} , Ag _{3,8} , Mn _{2,5} , Co _{2,4} , Pb _{2,0} , As _{1,9} , Ba _{1,7} , W _{1,7}	0.18
п. Центральное (в граносиенитах)	Au _{71,1} , Ba _{5,2} , Mo _{3,8} , Sr _{2,5} , W _{2,1} , Pb _{2,0} , La _{1,7} , (Ni _{0,6} , V _{0,4} , Mn _{0,4})	0.29
п. Аллохтон	Au _{127,8} , Bi _{30,6} , Mo _{23,4} , W _{6,2} , Ag _{5,8} , Ba _{4,2} , Cu _{4,0} , Pb _{3,0} , Co _{2,2} (V _{0,6})	0.08
Безымянная рудная зона		
п. Безымянное	Au _{179,5} , Co _{4,0} , Ni _{2,7} , Ag _{2,5} , Bi _{2,1} , Mo _{1,6} , Cu _{1,6} , Zn _{1,5} (V _{0,4})	0.02
Габбровая рудная зона		
п. Аномальное	Au _{122,6} , Cu _{7,8} , As _{2,3} , Ni _{2,5} , Pb _{2,1} , Sn _{1,9} , Co _{1,8} , Bi _{1,8} , Zn _{1,6} , Ba _{1,5} , (Mo _{0,7} , Cr _{0,4})	0.26
п. Габбровое	Au _{9,5} , Cu _{2,5} , As _{2,2} , Y _{2,2} , Co _{2,0} (V _{0,5} , Cr _{0,3})	0.22
п. Веселое	Au _{96,1} , Pb _{6,3} , Cr _{4,8} , As _{2,8} , Ag _{2,6} , Co _{2,3} , Mo _{1,9} , Ni _{1,8} , Y _{1,8} , Zn _{1,3} (Sn _{0,6})	0,72
п. Плотиковое	Ni _{4,3} , Cr _{22,7} , Co _{9,5} , Ag _{7,6} , Cu _{3,4} , As _{3,3} , Au _{2,3} , Zn _{2,3} , V _{1,9} , Sb _{1,4}	22.0
Вне рудных зон		
п. Штокверковое	Au _{424,8} , Bi _{139,8} , Ag _{83,0} , As _{18,0} , Cu _{15,4} , Pb _{2,0} , Zn _{1,9} , Ni _{1,6} , Co _{1,5} , Ba _{1,5} (V _{0,6})	0.32
п. «жила Полиметаллическая»	Au _{54,3} , Pb _{75,1} , Ag _{64,2} , Cu _{34,0} , Bi _{14,2} , Zn _{5,6} , Sb _{5,2} , Ba _{4,5} , Mo _{2,6} , W _{1,9} (V _{0,3} , Cr _{0,2})	1.97

Примечание. В нижнем индексе указаны коэффициенты концентрации (K_k) элементов. В скобках — элементы группы выноса с $K_k \leq 0.7$.

По выборкам проводилась статистическая обработка результатов анализов на золото и его спутники при гидротермальном типе оруденения (Ag, As, Bi, Sb, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Cr, Ti, V, Mn, Sn, Mo, W, Be, Ba). В процессе статистической обработки определялись состав аномальной геохимической ассоциации (АГА) и отношение серебра к золоту (табл. 1).

Для определения АГА вычислялись местный фон, средние содержания каждого элемента в выборке и его коэффициент концентрации (K_k) по отношению к местному фону. Местный фон определялся в соответствии с рекомендациями инструкции по геохимическим методам поисков [Инструкция..., 1983, §238—246]. Далее составлялись мажоритарные ряды элементов, ранжированные по величине K_k . В АГА включались элементы с $K_k \geq 1.5$ (элементы группы привноса) и $K_k \leq 0.7$ (элементы группы выноса).

Для среднетемпературных золоторудных месторождений М.С. Рафаиловичем установлен следующий ряд вертикальной геохимической зональности (снизу вверх):

Co, Ni—W—Mo; Bi, Cu—As, Au—Zn; Pb—Ag; Ba—Sb—Hg [Рафаилович, 1989].

В упрощенном виде его можно представить следующим образом: нижнерудные элементы (Co, Ni, W, Mo) — среднерудные (Bi, Cu, As, Au, Zn) — верхнерудные (Pb, Ag) — надрудные (Ba, Sb, Hg).

Сопоставляя состав АГА рудных объектов Нерундинского ЗРП с рядом вертикальной геохимической зональности М.С. Рафаиловича, делался вывод об уровне эрозионного среза конкретных рудных объектов (табл. 2).

По данным С.В. Григоряна, отношение Ag/Au на среднетемпературных месторождениях золото-кварцевой формации меняется от Ag/Au > 1 на верхнерудных срезах до << 1 — на нижнерудных [Григорян, 1987]. Поэтому отношение Ag/Au можно использовать как дополнительный геохимический критерий уровня эрозионного среза. По этим же данным, признаком верхнерудного среза является наличие отрицательных ореолов сидерофильных элементов (ореолов выноса).

В качестве минералогического критерия рекомендуется использовать минеральный ряд, отражающий вертикальную геохимическую зональность. Галенит, антимонит, блеклые руды, барит служат индикатором верхнерудного эрозионного среза, халькопирит, арсенопирит и сфалерит — рудного (среднерудного), а молибденит, вольфрамит, шеелит, Ni-Co минералы — нижнерудного.

В качестве минералогического критерия можно использовать и состав карбонатов в березитах. Кальцит и доломит характерны для глубоких горизонтов рудно-метасоматической колонны, анкерит,

Таблица 2. **Петрографический и минеральный состав золотоносных метасоматитов Нерундинского рудного поля**

Образец	Петрографическое определение и минеральный состав	Au, г/т
Месторождение Нерунда		
30 а	«Жила 1» (карбонатно-кварцевая стержневая жила). Состав: кварц — 90 %, сидерит — 8—10 %, рудные минералы — <1 % (пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, галенит, золото)	3.0
30-2	Сланец березитизированный. Состав: кварц (I, II) — 50—55 %, серицит — 30 %, сидерит + анкерит — 15 %. Рудные минералы: пирит, халькопирит. Реликтовый аксессуарный: монацит	0.52
Проявление Аллохтон		
19	Карбонатно-слюдисто-кварцевый метасоматит по металавролиту. Состав: кварц — 40 %, мусковит, биотит — 30 %, сидерит — 20 %, хлорит — 1—3 %, эпидот — 1—3 %, рудные минералы — 3—7 % (пирит, пирротин, халькопирит, вольфскит, эмпрессит, шеелит). Реликтовые аксессуарные: апатит, ксенотим, нагелит	0.12
20-1	Кварц-серицит-мусковитовый метасоматит по граносиениту. Состав: кварц — 40 % (кварц I — м/з, гранобластовый, в основной массе; кварц II — наложенный, пятнисто-прожилковый, к/з), серицит, мусковит — 55 %, рудные минералы — 3—5 % (пирит, халькопирит, молибденит). Реликтовые аксессуарные: ксенотим, апатит, рутил, циркон	10.0
Проявление «жила Полиметаллическая»		
12-4	Кварц-карбонатная жила, брекчированная, окварцованная. Состав: сидерит + анкерит — 45—50 %, кварц — 45 %, рудные минералы — 3—7 % (пирит, халькопирит, галенит, платнерит, штольцит, пентландит, халькозин, шеелит, золото)	4.1
Проявление Безымянное		
76-4	Граносиенит-порфир березитизированный. Состав: кварц-полевошпатовый агрегат — 45 %, вкрапленники полевого шпата — 10 %, кварца — 5 %, серицит + мусковит — 25 %, кальцит — 10 %. Рудные минералы: пирит, халькопирит, магнетит, барит. Аксессуарные: монацит, циркон, апатит	0.25
Проявление Габровое		
34	Бластокатаклазит по граниту окварцованный, карбонатизированный. Состав: кварц — 40 % (кварц I + кварц II), анкерит — 15—20 %, плагиоклаз — 40 %, мусковит + серицит — 6 %, рудные минералы — 3—7 % (пирит, пирротин, халькопирит). Реликтовые аксессуарные: магнетит, ильменит, циркон, монацит	0.33
Проявление Веселое		
25	Карбонат-кварц-серицитовый сланец. Состав: кварц — 30 %, сидерит + анкерит — 15 %, серицит — 45 %, мусковит — 5 %, рудные минералы — 3—5 % (пирит, пирротин, халькопирит, галенит, кобальтин). Аксессуарные: монацит, абакумалит, ториацит	0.19

сидерит и брейнерит — для средних и верхних горизонтов. Максимальные концентрации полезных компонентов тяготеют к интервалам развития анкеритсодержащих парагенезисов [Жариков и др., 2008].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Месторождение Нерунда локализовано в центральной части Главной рудной зоны, в карбонатно-терригенных породах ондокской свиты. Золоторудные тела представлены кварцевыми и карбонат-кварцевыми жильно-прожилковыми зонами, локализованными в лиственит-березитовых метасоматитах. В метасоматитах, жилах и прожилках содержится бедная сульфидная минерализация в количестве 1—3 %. Золото мелкое, высокопробное, неравномерно распределенное. На поверхности месторождения выявлены четыре рудных тела, которые традиционно называются жилами (рис. 3).

Наиболее крупное рудное тело, так называемая «жила 1», представляет собой жильно-прожилковую зону мощностью 1.0—3.0 м, в раздувах до 12 м, с ясно выраженной стержневой жилой мощностью до 1.5 м. На поверхности рудное тело прослежено на 680 м по азимуту 20—25°. Оно является кососекущим по отношению к простираению вмещающих пород. Падение жилы крутое (50—70°), также кососекущее (рис. 4). Поперечной пострудной тектонической жила разбита на ряд блоков с амплитудой смещения 3—5 м, редко до 20 м. Внутреннее строение рудного тела достаточно сложное и крайне изменчивое как по простираению, так и по падению, при бонанцевом характере распределения золота и наличии рудных столбов. Среднее содержание золота в «жиле» 6 г/т, в рудных столбах до 20 г/т.

На глубине подсечено еще одно, слепое рудное тело — «жила 5». По падению Главная рудная зона в пределах месторождения прослежена подземными горными выработками и буровыми скважинами до глубины 200 м без признаков выклинивания (см. рис. 4).

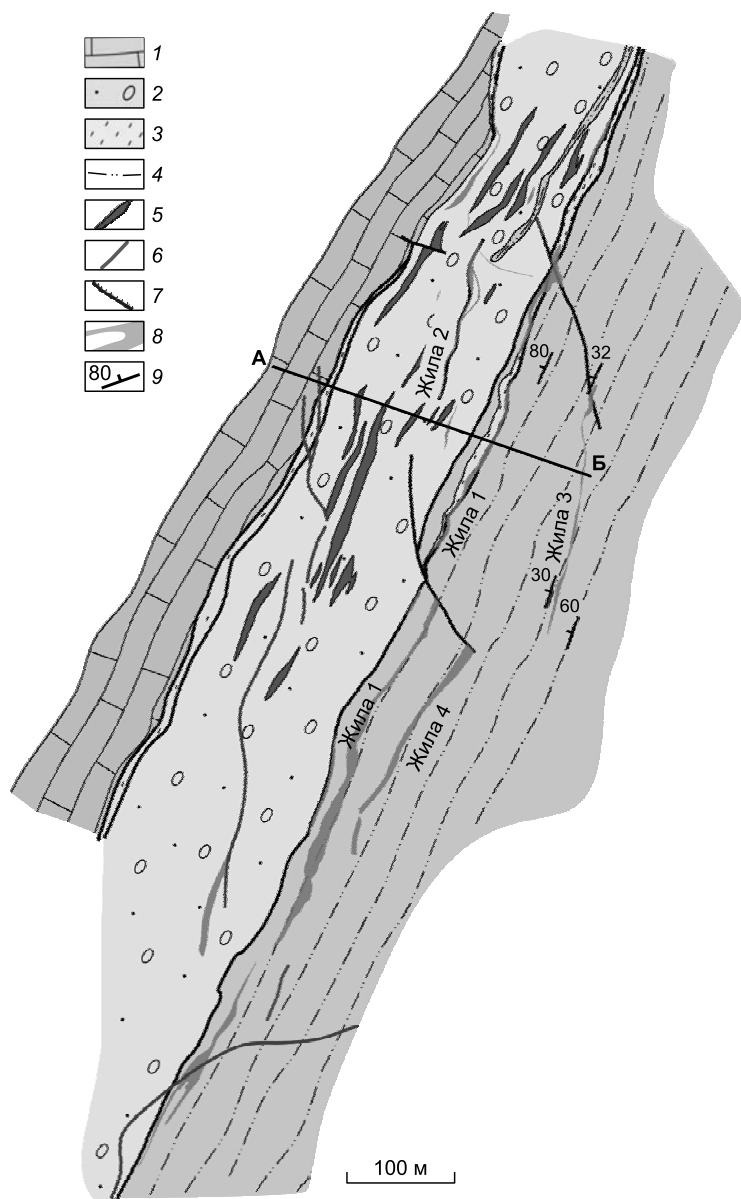


Рис. 3. Геологическая карта Нерундинского месторождения (по материалам а/с Синида 1).

1—4 — ондская свита (R_{2-3}): 1 — кристаллические известняки, 2 — метаконгломераты, 3 — углеродистые сланцы, 4 — метапесчаники, алевросланцы; 5 — метагаббро довыренского комплекса (R_3); 6 — лампрофиры (MZ); 7 — тектонические нарушения; 8 — березиты, карбонатно-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны; 9 — элементы залегания.

Фактически «жилы» — это типичные жильно-прожилковые зоны в березитовых метасоматитах. Они представляют собой стержневые карбонат-кварцевые жилы мощностью до 1.5 м с ореолами более мелких жил и прожилков того же состава. По объему рудных тел жильный материал составляет около 60 %, березиты — 33 %, березитизированные сланцы — 7 %, при этом основная масса золота (80.2 %) связана с жильным материалом.

Жилы и прожилки сложены кварцем — 70—80 %, карбонатом (сидерит + доломит) — 10—20 %, мелкочешуйчатым серицитом — 10 %, рудными минералами — 0.5—1.0 %. Кварц крупнозернистый деформированный, имеет волнистое угасание. Карбонат образует крупнозернистые полосовидные пятнисто-прожилковые обособления. Мелкие чешуйки серицита образуют струйчато-полосовидные обособления, собранные в нечетко выраженные складочки.

Из рудных минералов установлены пирит, пирротин, магнетит, халькопирит, галенит, пентландит, самородное

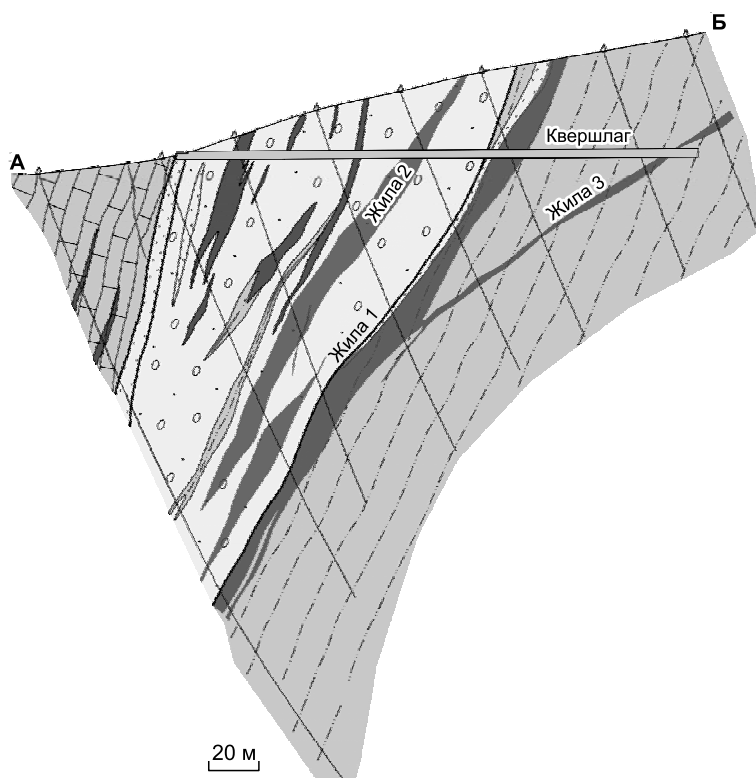
золото. Сульфидная минерализация образует мелкую (<0.3 мм), неравномерно распределенную вкрапленность (рис. 5). Идиоморфные зерна пирита насыщены пойкилитовыми вростками кварца и сидерита. Встречаются зерна пирита гексагональной формы с многочисленными вростками кварца по граням роста вплоть до образования «скелетных» кристаллов. Ni-содержащие сульфиды, в том числе крупные идиоморфные зерна никельсодержащего пирита ($Ni = 1.10—1.17 \%$), свободны от пойкилитовых вросток и, по-видимому, сформировались на ранней стадии метасоматоза (см. рис. 5, а). Об этом же свидетельствует наличие мелких корродированных вростков Ni-содержащего пирита в крупных зернах сидерита (см. рис. 5, в). Халькопирит содержится в виде мелких червеобразных вростков в пирите, образуя с ним типичные структуры распада (см. рис. 5, б).

Березиты и березитизированные алевросланцы — серые до светло-серых с зеленоватым оттенком породы, осветление которых увеличивается по мере их гидротермально-метасоматической проработки. Они заполняют пространство между жилами, прожилками и линзами карбонат-кварцевого состава. Сульфидная минерализация в метасоматитах присутствует в виде мелких гнезд и просечек по сланцеватости. В березитизированных породах (обр. 30-2) из сульфидов преобладает пирит в виде сложных корродированных зерен, насыщенных пойкилитовыми вростками кварца и карбоната. Более ранний пирротин содержит примесь Ni и Co (табл. 3).

В составе рудной минерализации преобладает пирит. Его зерна имеют неправильную, удлиненную форму и насыщены пойкилитовыми вростками кварца и карбонатов (см. рис. 5, з). Отдельные зерна

Рис. 4. Геологический разрез по линии А—Б.

Усл. обозначения см. на рис. 3.



пирита содержат значительную изоморфную примесь Ni и Co (см. табл. 3) и червеобразные вроски халькопирита.

Золото в основном самородное и содержится в сростках с кварцем, реже — в сульфидах. Форма золотинок — комковатая, комковато-пластинчатая, пластинчатая. Размер золотинок от долей до 10 мм и более, распределение их в рудах неравномерное. Пробность высокая (914—960).

Аномальная геохимическая ассоциация (АГА) месторождения имеет вид $Au_{571}, Ni_{5.1}, Co_{3.7}, Cu_{2.4}, As_{2.0}, Bi_{2.0}, Ag_{1.5}, W_{1.5}$ (см. табл. 1). При сравнении ее с рядом зональности М.С. Рафаиловича следует отметить, что в составе этой ассоциации ведущие позиции после золота занимают нижнерудные (никель, кобальт) и среднерудные (мышьяк, медь, висмут) элементы. Из верхнерудных присутствует только серебро с низким коэффициентом накопления. Отношение серебра к золоту очень низкое (0.07). Свинец в состав аномальной ассоциации не вошел, хотя присутствует его собственный минерал — галенит. Отрицательных ореолов сидерофильных элементов нет. Все признаки свидетельствуют о достаточно глубоком уровне эрозионного среза. С учетом того, что горно-буровыми работами оруденение прослежено до глубины 200 м без признаков выклинивания, уровень эрозионного среза Нерундинского месторождения можно считать нижнесреднерудным.

Поисковый участок Центральный расположен на левом берегу р. Нерунда, в 1.5 км северо-восточнее Нерундинского месторождения и включает в себя три проявления: Центральное, Аллохтон и «жила Полиметаллическая» (рис. 6).

Проявление Центральное установлено на северо-восточном продолжении Главной рудной зоны, которая в пределах Центрального участка имеет мощность 30—50 м и прослежена на 1.5 км согласно общему простираанию вмещающих пород. Как и на Нерундинском месторождении, она представляет собой серию крутопадающих жил и жильно-прожилковых зон карбонат-кварцевого состава, залегаю-

Таблица 3. Химический состав рудных минералов в «жиле 1» Нерундинского месторождения

Компонент	30а	30-2	30а	30-2	30а	30-2	30а	30а	30-2	30а
	(3)	(4)	(3)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	47.03	47.22	46.31	45.77	59.66	60.55	29.96	31.85	31.87	—
Co	—	—	—	1.15	—	—	1.10	—	—	—
Ni	—	—	1.10	0.73	1.17	—	36.36	—	—	—
Cu	—	—	—	—	—	—	—	33.45	33.01	—
Pb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	88.06
S	52.97	52.78	52.59	52.36	39.17	39.46	32.59	34.69	35.10	11.94

Примечание. После номера образцов в скобках дано количество СЭМ ЭДС анализов, по которым рассчитаны средние составы. 1—10 — номер анализа; 2 — пирит, 3 — пирит с Ni, 4 — пирит с Ni, Co, 5 — пирротин с Ni, 6 — пирротин, 7 — пентландит, 8, 9 — халькопирит, 10 — галенит. Составы нормированы к 100 %. Прочерк — концентрации ниже предела обнаружения методом СЭМ ЭДС.

пих согласно с вмещающими терригенными породами, в различной степени березитизированными. Мощность отдельных жил достигает 1.0—1.5 м, а длина — 50—100 м. В жилах, жильно-прожилковых зонах и березитизированных породах содержится неравномерно распределенная сульфидная минерализация в количестве 1—3 %. Горными работами установлены кондиционные рудные пересечения мощностью 0.8—3.9 м при содержаниях золота от 1.7 до 11.5 г/т.

Линейно-параллельное расположение золотоносных жильно-прожилковых зон нарушается небольшим штоком граносиенитов около 200 м в поперечнике, внедрившимся в карбонатно-терригенную толщу ондокской свиты (см. рис. 6).

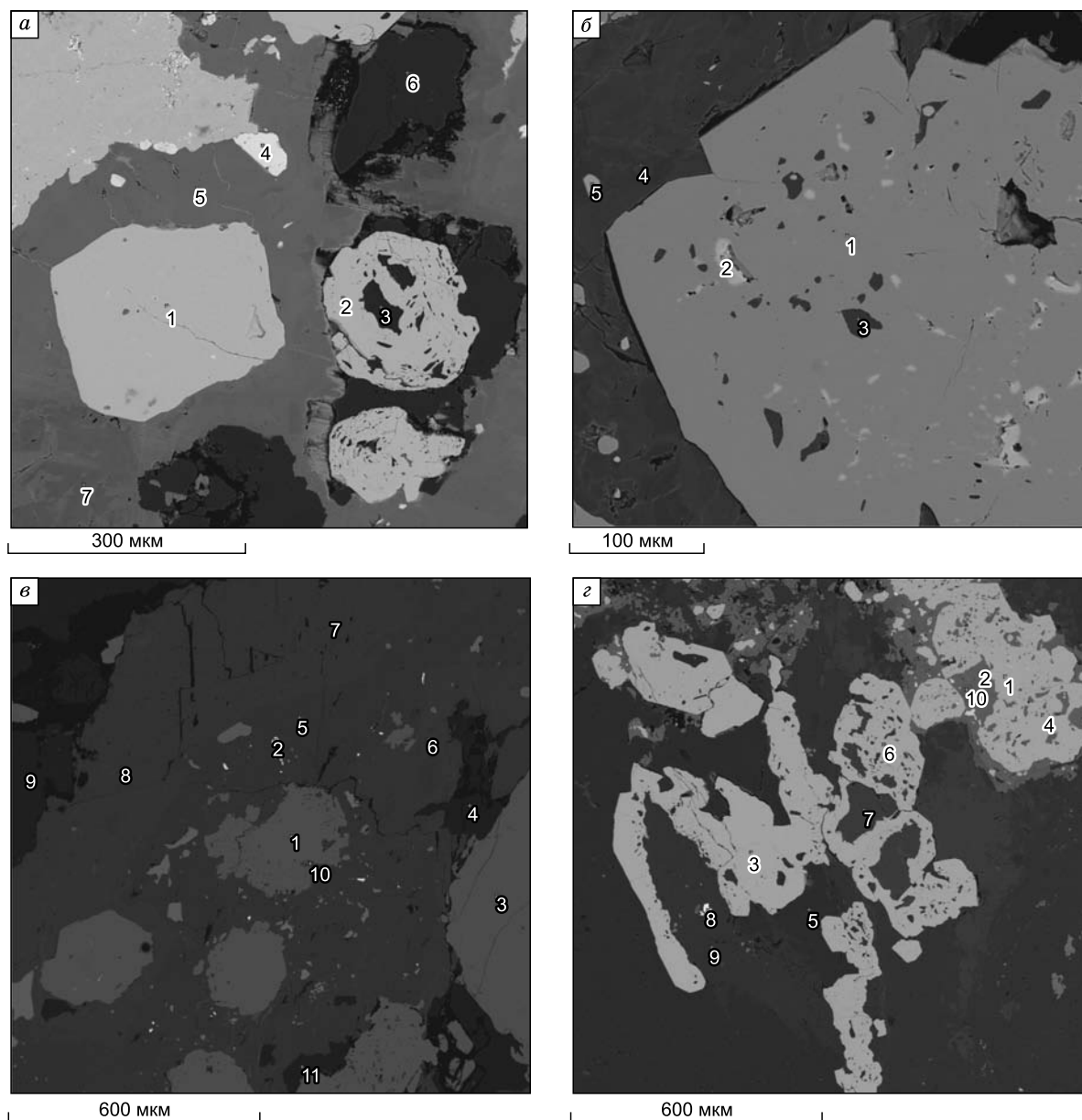


Рис. 5. Минеральный состав «жилы 1» Нерундинского месторождения.

Обр. 30а — карбонат-кварцевая стержневая жила: а — ранние Ni, Co-содержащие сульфиды, свободные от пойкилитовых вростков; гексагональные кристаллы пирита с многочисленными вростками кварца по граням роста (1 — пирит с Co; 2 — пирит; 3, 6 — кварц; 4 — пентландит; 5, 7 — сидерит); б — пирит поздней генерации, насыщенный пойкилитовыми вростками сидерита; структуры распада — халькопирит в виде мелких червеобразных вростков в пирите (1 — пирит; 2 — халькопирит; 3, 4 — сидерит; 5 — пирротин с Ni); в — зерна Ni-содержащего пирита в виде корродированных вростков в крупных зернах сидерита (1 — пирит с Ni; 2 — галенит; 3 — пирит; 4, 9, 11 — кварц; 5, 6, 7, 8, 10 — сидерит). Обр. 30-2 — металавроволит окварцованный, березитизированный: з — зерна пирита неправильной удлиненной формы, насыщенные пойкилитовыми вростками кварца и карбонатов: 1 — пирит с Ni, Co; 3, 6 — пирит; 2 — сидерит; 4 — халькопирит; 5 — кварц; 7 — анкерит; 8 — монацит; 9 — серицит; 10 — сидерит.

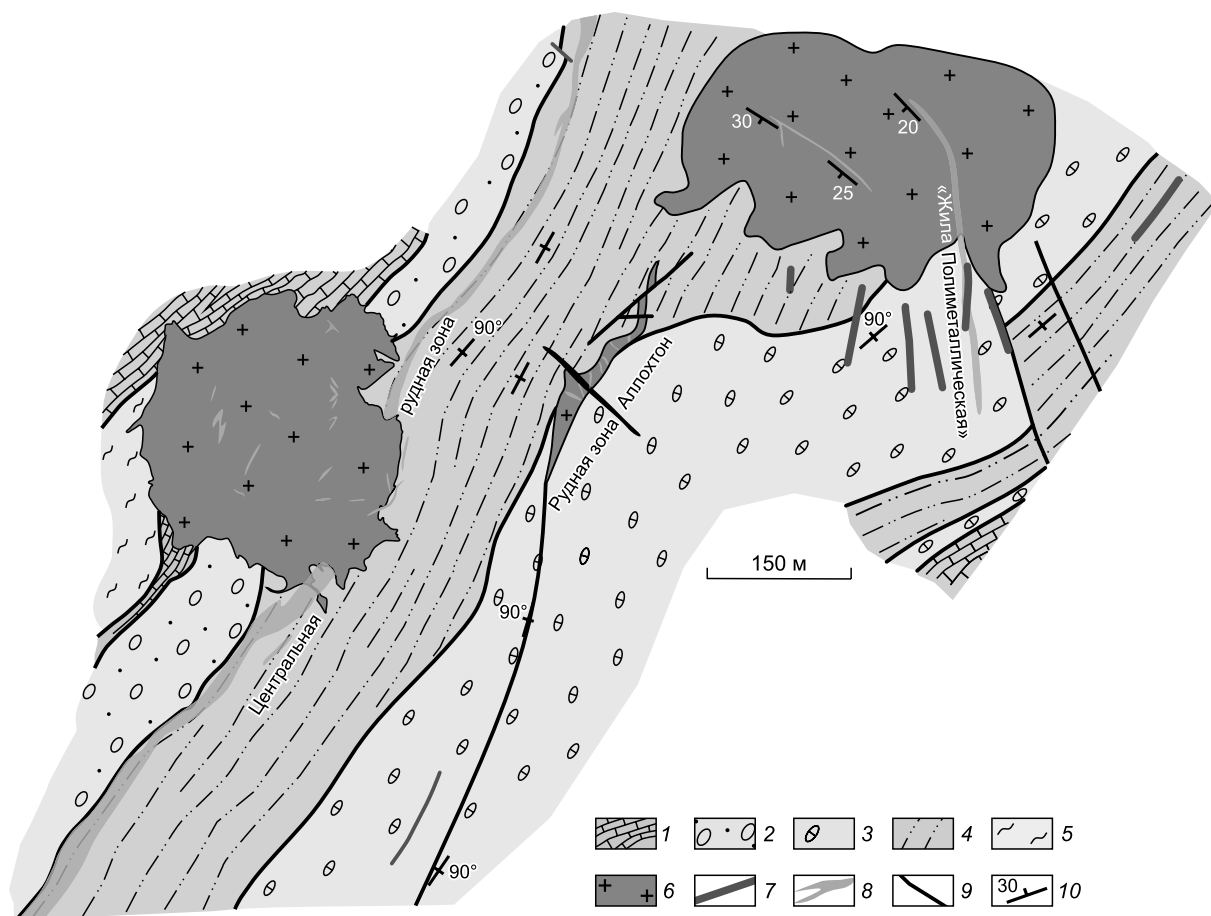


Рис. 6. Геологическая карта участка Центральный (по материалам а/с Синида 1).

1—5 — ондокская свита ($R_{2,3}$): 1 — кристаллические известняки, 2 — полимиктовые метаконгломераты, 3 — карбонатные метаконгломераты, 4 — метапесчаники, метаалевросланцы, 5 — углеродистые сланцы; 6 — граносиениты конклюдеро-мамаканского комплекса ($PZ_{2,3}$); 7 — дайки граносиенит-порфиров (PZ_2); 8 — березиты, карбонатно-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны; 9 — тектонические нарушения; 10 — элементы залегания.

В штоке граносиенитов установлены участки метасоматически измененных пород с жильно-прожилковым окварцеванием и наложенной золото-молибден-вольфрамовой минерализацией. По времени формирования эти метасоматиты являются более поздними по отношению к золотоносным метасоматитам Главной рудной зоны — граносиениты прорывают и деформируют тела золотоносных метасоматитов первого этапа вместе с вмещающими их пластами осадочных пород.

Таким образом, на Центральном проявлении установлены два типа метасоматитов, разделенных во времени процессом внедрения и раскристаллизации граносиенитового штока. Они характеризуют собой два последовательных этапа рудообразования. Нами изучены АГА и состав рудной минерализации в золотоносных метасоматитах разных этапов.

Тела метасоматитов первого этапа, залегающие в Главной рудной зоне, вмещают протяженные карбонат-кварцевые жилы и имеют типичный для березитов пирит-кварц-карбонатный состав. АГА этой рудной зоны имеет очень длинный мажоритарный ряд: $Au_{58,1}$, $Cu_{8,3}$, $Mo_{8,5}$, $Bi_{5,9}$, $Zn_{5,8}$, $Ni_{4,1}$, $Ag_{3,8}$, $Mn_{2,5}$, $Co_{2,4}$, $Pb_{2,0}$, $As_{1,9}$, $Ba_{1,7}$, $W_{1,7}$ (см. табл. 1). Он характеризуется преобладанием среднерудных (Cu , Bi , Zn) при наличии нижнерудных (Mo , Ni , Co) и верхнерудных (Ag , Pb) элементов. Отношение Ag/Au , равное 0,18, несколько выше, чем на Нерундинском месторождении. С учетом всех признаков можно сделать вывод о среднерудном уровне среза Главной рудной зоны.

Поздние метасоматиты обрамляют кварцевые жилы с золото-вольфрам-молибденовой минерализацией, залегающие внутри штока граносиенитов. По своему составу эти метасоматиты соответствуют бескарбонатным кварц-серицит-мусковитовым метасоматитам (филлизитам), которые развиваются в верхней части метасоматической колонны месторождений порфирового типа. С глубиной филлизиты

обычно сменяются кварц-калишпатовыми метасоматитами с вольфрам-молибденовым оруденением [Жариков и др., 2008]. Исходя из этого можно предположить, что с глубиной золотосодержащая минерализация сменится незолотоносной молибден-вольфрамовой.

Проявление Аллохтон локализовано в трещинном массиве граносиенитов, который контролируется субмеридиональным, оперяющим по отношению к Главной рудной зоне, тектоническим нарушением (см. рис. 6). Тело граносиенитов имеет вытянутую линзовидную форму и прослеживается по простиранию более 300 м при максимальной мощности до 50 м. Падение контактов интрузии крутое северо-западное. В осевой части массива граносиениты интенсивно березитизированы и насыщены поперечными («лестничными») кварцевыми жилами и прожилками мощностью от нескольких мм до 0.3 м. Кварцевые жилы, прожилки и измененные граносиениты содержат гнездово-вкрапленную сульфидную минерализацию (3—5 %). Протяженность минерализованной зоны более 120 м при максимальной мощности до 15 м и содержаниях золота 0.1—0.7 г/т, в отдельных пробах до 120 г/т.

Северо-западный фланг массива перекрыт аллохтонной пластиной малоамплитудного надвига. Аллохтон надвига сложен метаалевролитами с секущими зонками березитизации мощностью 0.5—2.0 м с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Содержания золота в этих зонках 0.1—0.5 г/т, но в отдельных пробах до 80 г/т. Общая площадь минерализованного аллохтона 100×70 м. Поверхностными горными выработками рудных тел с промышленными содержаниями золота в ее пределах не выявлено. Буровыми скважинами под автохтонной пластиной, ниже поверхности надвига, золоторудная минерализация не прослеживается.

При исследовании шлифов и аншлифов установлено, что состав и структура метасоматитов по разному субстрату резко различаются (рис. 7).

В автохтоне пятнисто-полосчатые метасоматиты по метаалевролитам имеют березитовый состав, характерный для метасоматитов первого этапа. В них присутствуют кварц (30 %), серицит (30 %), кальцит, сидерит (20 %), биотит, эпидот, хлорит, пирит, пирротин, пентландит, теллуриды серебра (волинскит, эмпрессит). Четко видно, что пирротин замещается пиритом, а кальцит — сидеритом (см. рис. 7, а, б). Кварц и сидерит образуют тонкозернистый агрегат субграфической структуры, послыжно замещающий исходную породу. Минеральные признаки: высокожелезистый состав карбоната и наличие теллуридов серебра ясно указывают на средневерхнерудный уровень эрозионного среза.

В метасоматитах второго этапа по граносиенитам установлены кварц (25 %), серицит-мусковит (60 %), биотит (5—10 %), халькопирит, молибденит, а также реликтовые минералы: циркон, апатит, рутил, ксенотим (см. рис. 7, в, г). По своему составу эти метасоматиты соответствуют высокотемпературным бескарбонатным кварц-биотит-серицитовым метасоматитам (филлизитам), как и метасоматиты Центрального штока, и также на глубине могут смениться кварц-ортоклазовыми метасоматитами с молибден-вольфрамовой минерализацией.

Таблица 4. Химический состав рудных минералов в рудной зоне Аллохтон

Компонент	20-1	19	19	19	19	20-1	19	19	20-1	19
	(1)	(2)	(7)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(3)	(1)
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fe	47.53	46.89	60.68	60.97	30.46	30.49	2.32	2.28	—	—
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13.92
Co	—	—	—	0.74	—	—	—	—	—	—
Ni	—	—	—	0.45	—	—	—	—	—	—
Cu	—	—	—	—	35.24	34.33	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	49.20	15.88	—	—
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	56.90	—
W	—	—	—	—	—	—	—	—	—	66.71
Pb	—	—	—	—	—	—	1.83	6.47	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	36.33	—	—
Te	—	—	—	—	—	—	46.65	39.03	—	—
S	52.48	53.11	39.32	37.84	34.30	35.18	—	—	43.10	—
O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19.37

Примечание. После номера образцов в скобках дано количество СЭМ ЭДС анализов, по которым рассчитаны средние составы. 11—20 — номер анализа: 11, 12 — пирит, 13 — пирротин, 14 — пирротин с Ni, Co, 15, 16 — халькопирит, 17 — эмпрессит, 18 — волинскит, 19 — молибденит, 20 — шеелит. Составы нормированы к 100 %. Прочерк — концентрации ниже предела обнаружения методом СЭМ ЭДС.

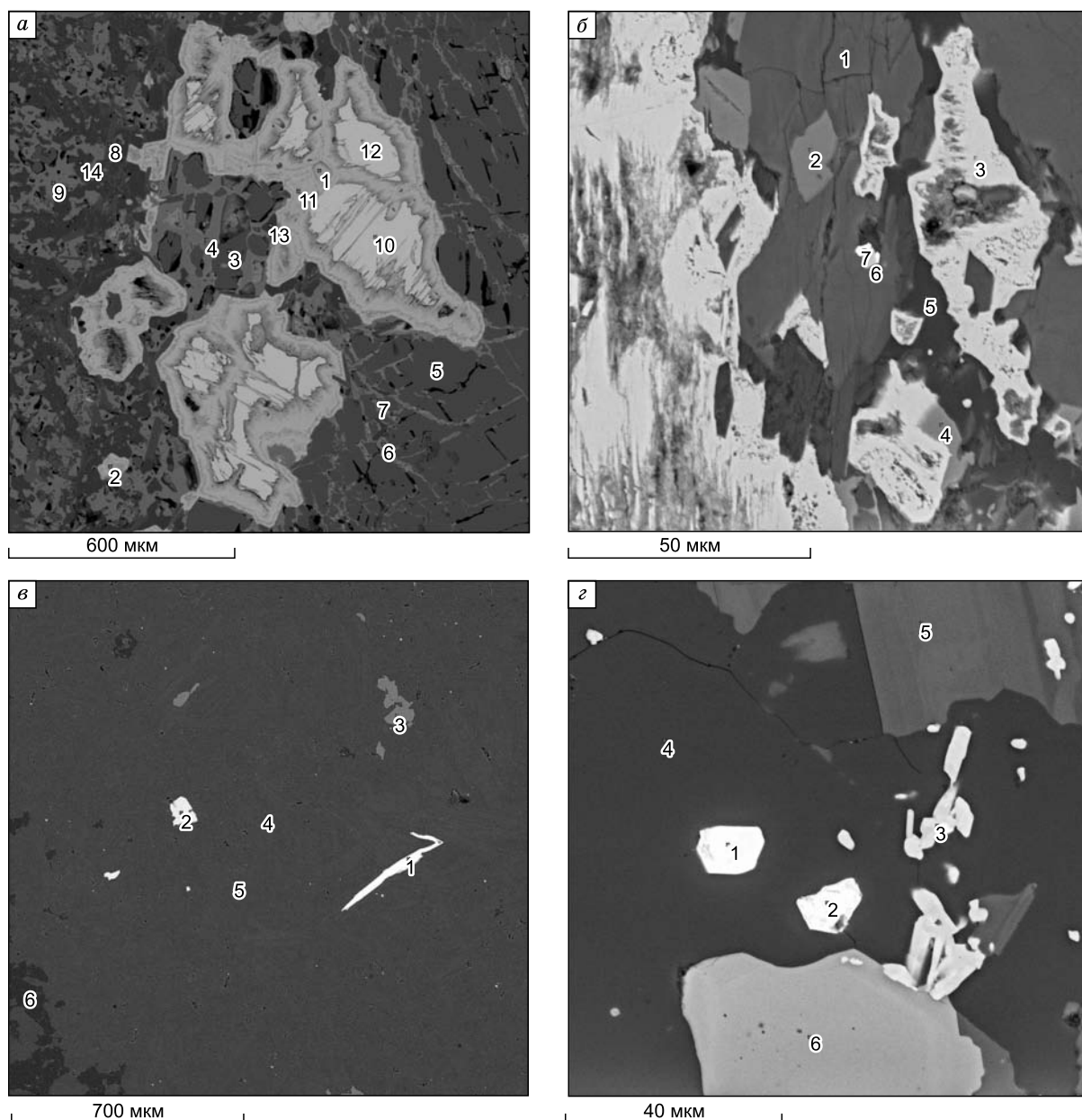


Рис. 7. Минеральный состав рудной зоны Аллохтон.

Обр. 19 — березит по метаалевролиту: *а* — пирротин замещается пиритом, кальцит — сидеритом (1, 2, 11 — пирит, 3, 5 — кальцит, 4, 6, 7, 9 — сидерит, 8 — хлорит, 10, 12 — пирротин, 13, 14 — кварц); *б* — 1 — амфибол, 2, 4 — сидерит, 3 — пирит, 5 — кварц, 6 — волинскит, 7 — эмпрессит.

Обр. 20-1 — кварц-серицит-мусковитовый метасоматит (филлизит) по граносиениту: *в* — 1 — молибденит, 2 — ксенотим, 3 — апатит, 4, 5 — мусковит, 6 — кварц; *г* — 1 — халькопирит, 2 — циркон, 3 — рутил, 4 — кварц, 5 — мусковит, 6 — апатит.

АГА минерализованной зоны Аллохтон:

$Au_{1278}, Bi_{30.6}, Mo_{23.4}, W_{6.2}, Ag_{5.8}, Ba_{4.2}, Cu_{4.0}, Pb_{3.0}, Co_{2.2} (V_{0.6})$ (см. табл. 1).

В ее составе высокие концентрации нижнерудных элементов (Mo, W) сочетаются с высокими концентрациями верхнерудных и надрудных элементов (Ag, Pb, Ba). Вероятно, в этой рудной зоне произошло телескопирование различных этапов метасоматоза. Высокие концентрации Mo, W, скорее всего, связаны с высокотемпературным оруденением второго этапа. А высокие концентрации Ag, Pb, не характерные для метасоматитов второго этапа, указывают высокий эрозийный срез ранней метасоматической колонны (табл. 4).

Таблица 5. Химический состав рудных минералов в «жиле Полиметаллической»

Компонент	12-4а	12-4а	12-4а	12-4а	12-4а	12-4а	12-4а
	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)	(2)
	22	23	24	25	26	27	28
Fe	30.78	—	—	0.32	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	13.89	—
Ni	—	—	—	—	—	—	—
Cu	34.85	77.24	—	—	—	—	—
Au	—	—	—	—	—	—	70.20
Ag	—	—	—	—	—	—	29.80
W	—	—	—	—	41.47	67.00	—
Pb	—	—	87.39	82.93	46.62	—	—
S	34.37	22.76	12.61	—	—	—	—
O	—	—	—	16.75	11.91	19.10	—

Примечание. После номера образцов в скобках дано количество СЭМ ЭДС анализов, по которым рассчитаны средние составы. 22—28 — номер анализа: 22 — халькопирит, 23 — халькозин, 24 — галенит, 25 — платтнерит, 26 — штольцит, 27 — шеелит, 28 — золото. Составы нормированы к 100 %. Прочерк — концентрации ниже предела обнаружения методом СЭМ ЭДС.

Проявление «жила Полиметаллическая» приурочена к пологому диагональному разлому между Главной и Безымянной рудными зонами (см. рис. 6). «Жила Полиметаллическая» — историческое название проявления. Фактически это не жила, а жильно-прожилковая зона кварц-карбонатного состава мощностью 1.0—1.5 м, рассекающая пачку крутопадающих карбонатных конгломератов и полого падающая на запад под углом 30—55°. Зона содержит прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию в количестве 3—7 %. Средняя мощность зоны 1.3 м при содержании золота 12.1 г/т. Вмещающие катаклазированные карбонатные породы интенсивно окварцованы и сидеритизированы.

На северном фланге «жила Полиметаллическая» упирается в контакт граносиенитового штока и на контакте образует раздув до 3 м мощности с богатой сульфидной минерализацией (до 15 %). В граносиенитах на продолжении рудоконтролирующего разлома также установлены мелкие участки березитизации и прожилкового окварцевания. Однако минерализация в них убогая, а содержания золота редко превышают 1 г/т.

При исследовании шлифов в составе рудной минерализации установлены галенит, платтнерит (PbO), штольцит (PbWO₄), халькопирит, халькозин, шеелит, электрум (Ag = 29.6 %) (табл. 5). Рудные минералы совместно с сидеритом выполняют интерстиции между крупными зернами кварца (рис. 8, а, б). Штольцит замещает более ранний шеелит (см. рис. 8, в).

АГА «жила Полиметаллической» имеет очень длинный мажоритарный ряд:

Au_{54.3}, Pb_{75.1}, Ag_{64.2}, Cu_{34.0}, Bi_{14.2}, Zn_{5.6}, Sb_{5.2}, Ba_{4.5}, Mo_{2.6}, W_{1.9} (V_{0.3}, Cr_{0.2}) (см. табл. 1).

Она характеризуется высокими концентрациями элементов средневерхнерудного среза (Pb, Ag, Cu, Zn, Sb, Ba), расположенными в начале мажоритарного ряда, и высоким отношением Ag/Au = 1.97. Однако верхнерудный срез не подтверждается результатами бурения — на глубине 100 м так называемая «жила Полиметаллическая» выклинивается.

Проявление Безымянное расположено на северо-восточном фланге Безымянной рудной зоны (см. рис. 2). Вмещающими породами являются расланцованные карбонатные метапесчаники ондокской свиты, прорванные серией крутопадающих параллельных даек граносиенит-порфириров и преобразованные в березитовые метасоматиты. Последние представляют собой хлорит-серицит-карбонатные сланцы, в разной степени насыщенные послойными и кососекущими сидерит-кварцевыми прожилками. В составе рудной минерализации установлены пирит, халькопирит, магнетит. Общее количество рудных минералов не превышает 1—2 %. Во внутрирудных граносиенитовых дайках, кроме этого, установлены галенит, барит и реликтовые акцессории: монацит, апатит, циркон.

Зона метасоматически измененных пород имеет мощность 100—150 м и прослеживается по простиранию на 1200 м. Границы рудных тел устанавливаются только по данным опробования. Мощность тел колеблется от 0.1 до 1.6 м при содержаниях золота 1.0—5.0 г/т, в отдельных пробах — до 127.4 г/т. Замечено, чем больше в метасоматитах кварцевых прожилков и меньше кварц-сидеритовых, тем выше содержания золота. В минерализованных дайках содержания золота низкие, непромышленные (0.1—0.7 г/т), хотя в их экзоконтактах встречаются пробы с высокими и даже «ураганскими» содержаниями.

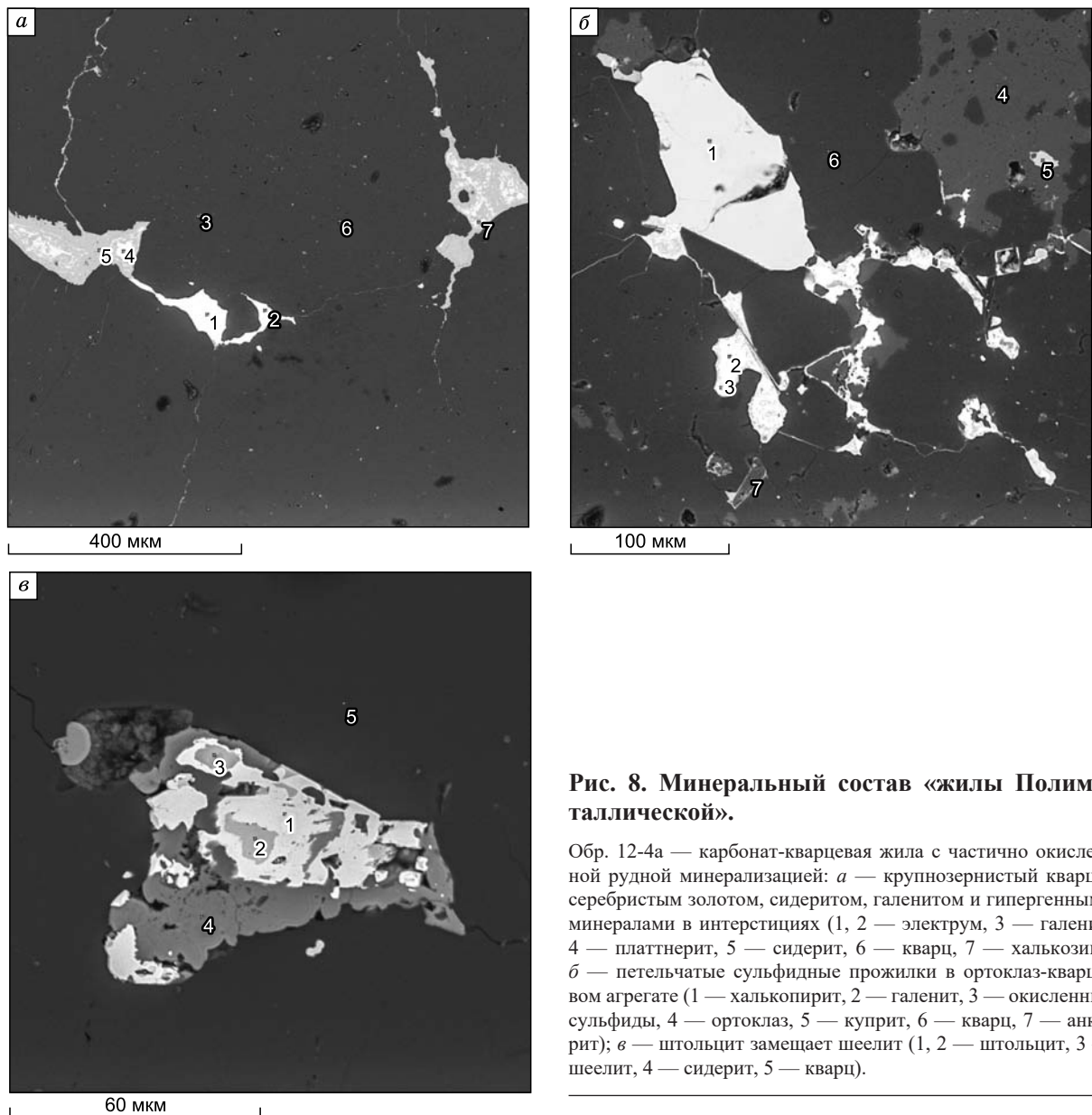
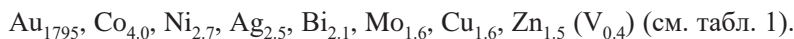


Рис. 8. Минеральный состав «жилы Полиметаллической».

Обр. 12-4а — карбонат-кварцевая жила с частично окисленной рудной минерализацией: а — крупнозернистый кварц с серебристым золотом, сидеритом, галенитом и гипергенными минералами в интерстициях (1, 2 — электрум, 3 — галенит, 4 — платтнерит, 5 — сидерит, 6 — кварц, 7 — халькозин); б — петельчатые сульфидные прожилки в ортоклаз-кварцевом агрегате (1 — халькопирит, 2 — галенит, 3 — окисленные сульфиды, 4 — ортоклаз, 5 — куприт, 6 — кварц, 7 — анкерит); в — штольцит замещает шеелит (1, 2 — штольцит, 3 — шеелит, 4 — сидерит, 5 — кварц).

АГА проявления Безымянное имеет относительно короткий мажоритарный ряд:



В его составе лидируют элементы нижнерудного среза (Co, Ni), расположенные в начале мажоритарного ряда. Отношение серебра к золоту — 0.02, что значительно ниже, чем на Нерундинском месторождении (см. табл. 1). На более глубокий эрозионный срез указывает и магнетит. Все признаки свидетельствуют о глубоком эрозионном срезе, который подтверждается данными бурения. Буровыми скважинами рудная зона прослежена до глубины 200 м, однако кондиционных рудных пересечений в ней не установлено.

Проявления Габбровой рудной зоны вмещаются глубокометаморфизованными породами нюрундуканского комплекса: гнейсами, гнейсогранитами, амфиболитами. При петрографических исследованиях в составе рудовмещающих пород устанавливаются разгнейсованные реликты гранитов, плагиогранитов, амфиболовых габбро.

В пределах Габбровой рудной зоны, как и в Безымянной, развиты серии внутрирудных даек граносиенит-порфиров, которые сопровождаются карбонат-кварцевыми жильно-прожилковыми зонами ореолами березитизации различной мощности и интенсивности. Содержания сульфидов (пирит, пирротин, редко халькопирит) в жилах, прожилках и березитизированных породах 1—2 %.

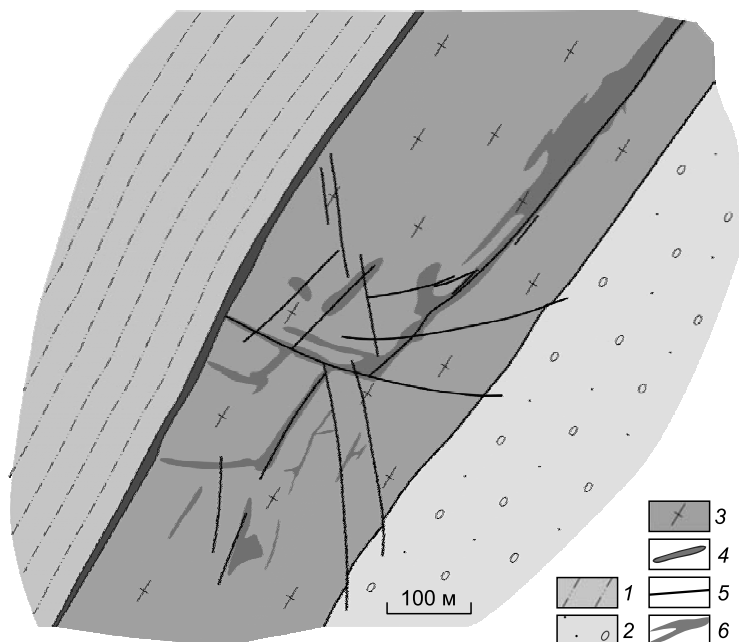


Рис. 9. Схема геологического строения участка Габбровый (по материалам а/с Синида 1).

1 — филлитовидные сланцы манюканской свиты (R_3); 2 — метаконгломераты ондокской свиты (R_{2-3}); 3 — гнейсы, гнейсограниты нюрундуканского комплекса (R_3); 4 — дайки граносиенитпорфиров (PZ_{2-3}); 5 — тектонические нарушения; 6 — березиты, карбонат-кварцевые жилы и жильно-прожилковые зоны.

Проявление Габбровое расположено в центральной части Габбровой рудной зоны. В катаклазированных гнейсогранитах одиночными канавами вскрыта рудная зона мощностью 30—50 м, в раздувах до 100 м (рис. 9). В пределах зоны гнейсограниты интенсивно березитизированы и прорваны сетью карбонат-кварцевых жил и прожилков мощностью до 1.5 м и различной, часто

ортогональной ориентировки. Содержание золота 0.1—0.7 г/т, в отдельных пробах до 5.0 г/т.

Рудная зона имеет северо-восточное простирание и прослеживается по карбонат-кварцевым глыбам в дельювии на 1.5 км. По данным металлотрического опробования, перспективы выявления в ее пределах вскрытых эрозией промышленных рудных тел представляются сомнительными. Однако наши исследования показывают, что АГА в метасоматитах Габбрового проявления имеет короткий мажоритарный ряд (см. табл. 1), в котором лидируют среднерудные элементы (Cu, As) и отмечается более высокое отношение серебра к золоту (0.22), чем в метасоматитах Нерундинского месторождения (0.07). Это свидетельствует о возможности выявления слепых рудных тел на глубине.

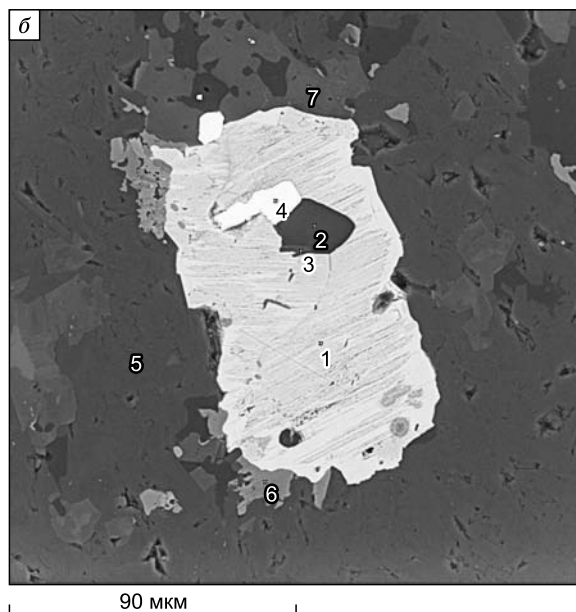
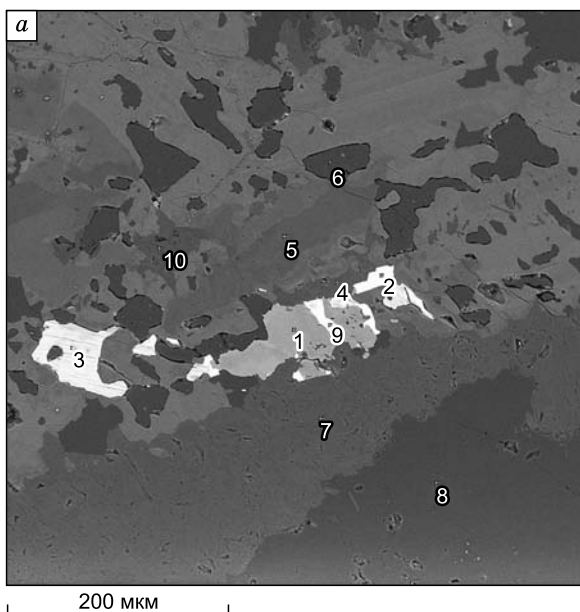


Рис. 10. Минеральный состав метасоматитов проявления Веселое.

Обр. 25 — карбонат-кварц-серицитовый метасоматит (березит): а — сидерит-сульфидные гнезда и скопления гребенчатой структуры в мелкозернистом анкерит-кварц-альбит-серицитовом агрегате (1 — сидерит, 2, 9 — халькопирит, 3 — пирротин, 4, 7, 10 — серицит, 5 — анкерит, 6 — плагиоклаз, 8 — кварц); б — поздний пирротин с пойкилитовыми вростками кварца и кобальтина (1 — пирротин, 2 — кварц, 3, 5 — серицит, 4 — кобальтин, 6 — сидерит, 7 — анкерит).

На проявлении Веселое рудная зона мощностью до 45 м, прослеженная по свалам на 1500 м, вскрыта в центральной части тремя одиночными канавами. В рудной зоне отмечается серия внутрирудных минерализованных даек граносиенит-порфиров северо-восточного простирания мощностью 1—10 м, которые сопровождаются карбонат-кварцевыми жильно-прожилковыми зонами с ореолами березитизации мощностью 2—5 м. Содержания золота в рудной зоне 0.1—0.7 г/т, в отдельных пробах до 9 г/т. Однако кондиционных рудных пересечений в зоне не выявлено.

В аншлифах из метасоматитов установлены кварц, плагиоклаз, доломит, сидерит, серицит, пирит, пирротин, халькопирит, кобальтин (рис. 10). Ранняя кварц (I)-альбит-серицитовая ассоциация представлена аллотриоморфно-зернистым агрегатом неясно полосчатой текстуры. На нее накладывается кварц (II)-сидерит-сульфидная ассоциация в виде мелкозернистых тонких прожилков, линзочек и гнезд с нечеткими границами, иногда гребенчатой структуры. Из сульфидов наиболее поздним является пирротин, крупные зерна которого замещают кварц-сидеритовые гнезда и содержат пойкилитовые вроски кварца и кобальтина (см. рис. 10, б).

В составе АГА проявления Веселое лидируют среднерудные и надрудные элементы (Pb, Ag, As). Отношение серебра к золоту высокое (0.72), значительно выше, чем на Нерундинском месторождении. Высокие концентрации Cr свидетельствуют о наличии в субстрате метасоматитов пород основного—ультраосновного состава. В целом состав АГА указывает на верхнерудный уровень эрозионного среза и на возможность выявления промышленных рудных тел как на флангах, так и на более глубоких горизонтах рудной зоны (табл. 6).

Проявление Плотиковое, расположенное на пересечении Габбровой рудной зоны с долиной р. Нерунда, имеет необычное геологическое строение. Здесь карьером в плотике россыпи вскрыты пестроокрашенные выветрелые апобазитовые породы хлорит-серпентинитового состава, прорванные дайками граносиенит-порфиров и лампрофиров.

Судя по высокой концентрации Mg (10—15 %), Cr (0.4 %), Ni (0.06—0.10 %), Co (0.01 %) и наличию серпентина, субстратом этих пород служили силлообразные тела метабазитов довыренского комплекса.

В результате гидротермальной проработки апобазитовые хлорит-серпентинитовые породы превращены в метасоматиты хлорит-серицит-анкеритового состава. Содержания золота в метасоматитах 0.01—0.02 г/т, серебра — 0.1—0.4 г/т, никеля — 0.1 %, мышьяка — 0.02 %, кобальта — 0.01 %.

АГА метасоматитов Плотикового проявления: Ni₄₃, Cr_{22.7}, Co_{9.5}, Ag_{7.6}, Cu_{3.4}, As_{3.3}, Au_{2.3}, Zn_{2.3}, V_{1.9}, Sb_{1.4} — также имеет необычный состав. Высокие концентрации Ni, Co в ассоциации с Cr следует признать реликтовыми, унаследованными от метабазитов. Учитывать их при определении уровня эрозионного среза не стоит. Остальные элементы (Ag, Cu, As) указывают на средневверхнерудный эрозионный срез. Отношение Ag/Au очень высокое (22), что также свидетельствует в пользу высокого уровня эрозионного среза.

Геолого-структурная приуроченность Плотикового проявления напоминает Зун-Холбинское месторождение Восточного Саяна. Там наиболее богатые рудные залежи сформировались по линзе метасоматитов, залегающей среди рифей-вендских карбонатно-терригенных отложений. Ожидаемый тип оруденения — золото-сульфидно-кварцевый, как на Зун-Холбинском месторождении.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате выполненных минералого-геохимических исследований определены геохимические и минеральные ассоциации Нерундинского месторождения и перспективных проявлений Нерундинского золоторудного поля. Это позволило авторам разработать геохимические и минералогические критерии для оперативной оценки уровня эрозионного среза исследуемых рудопроявлений.

В основу геохимического критерия положен ряд осевой геохимической зональности, определенный М.С. Рафаиловичем для среднетемпературных золоторудных месторождений [Рафаилович, 1989]. В упрощенном виде он выглядит следующим образом: элементы нижнерудного среза Co, Ni, W, Mo, среднерудного — Cu, As, Au, Zn, верхнерудного — Pb, Ag, надрудного — Ba, Sb, Hg.

Таблица 6. Химический состав рудных минералов в жильно-прожилковой зоне проявления Веселое

Компонент	25	25	25
	(6)	(1)	(2)
	29	30	31
Fe	59.78	5.34	31.19
Co	0.20	29.21	—
Ni	0.07	2.79	—
Cu	—	—	33.98
As	—	42.89	—
S	39.95	19.77	34.83

Примечание. После номера образцов в скобках дано количество СЭМ ЭДС анализов, по которым рассчитаны средние составы. 29—31 — номер анализа: 29 — пирротин, 30 — кобальтин, 31 — халькопирит. Составы нормированы к 100%. Прочерк — концентрации ниже предела обнаружения методом СЭМ ЭДС.

В качестве основного геохимического критерия авторами предлагается применять мажоритарные (ранжированные по убыванию) геохимические ряды рудопоявлений. Для их построения использована методика Н.Т. Каменихина [2010]. Однако нормирование средних концентраций элементов выполнено не на кларк в земной коре, как рекомендует Н.Т. Каменихин, а на местный геохимический фон. По мнению авторов, нормирование на местный геохимический фон более объективно отражает степень концентрации элемента на исследуемой территории. Положение элементов, возглавляющих мажоритарные ряды, в ряду вертикальной зональности М.С. Рафаиловича, указывает на уровень эрозионного среза.

Дополнительным геохимическим критерием может служить отношение Ag/Au , которое на среднетемпературных месторождениях золото-кварцевой формации меняется от >1 на верхнерудных срезах до $\ll 1$ — на нижнерудных [Григорян, 1987]. Результаты проведенных исследований в целом подтверждают данные С.В. Григоряна — отношение Ag/Au на различных проявлениях Нерундинского рудного поля изменяется в широком диапазоне и с глубиной имеет тенденцию понижаться. Поэтому отношение Ag/Au можно использовать как дополнительный критерий уровня эрозионного среза.

Минералогические исследования золотоносных метасоматитов показали, что повышение концентраций информативных элементов до 3—5 фонов сопровождается появлением в метасоматитах собственных минералов этих элементов. Поэтому логично предположить, что состав рудной минерализации в метасоматитах отражает уровень эрозионного среза. Исходя из этого предположения можно составить ряд вертикальной минеральной зональности, который будет отражением вертикальной геохимической зональности. Минералогический критерий может служить хорошим поисковым критерием уровня эрозионного среза как визуально, на стадии полевых работ, так и после проведения специальных минералогических анализов.

Точные определения химического состава карбонатов в золотоносных метасоматитах Нерундинского ЗРП подтверждают теоретические представления В.А. Жарикова [Жариков и др., 2008]. Кальцит и доломит характерны для метасоматитов Безымянного проявления, нижнерудный срез которого подтвержден буровыми работами. Анкерит и сидерит развиты в метасоматитах Нерундинского месторождения со среднерудным уровнем среза. Рудные тела с максимальными концентрациями золота («жила 1») содержат максимально железистый карбонат—сидерит, а вмещающие его березиты характеризуются сидерит-анкеритовым парагенезисом (см. рис. 5).

При интерпретации минералого-геохимических данных необходимо учитывать состав субстрата, по которому формировались метасоматиты. Например, на Плотиковом проявлении в составе субстрата присутствуют метабазиты довыренского комплекса с никель-кобальтовой специализацией. Вероятно, поэтому в АГА этого проявления лидирующее положение занимают нижнерудные элементы никель и кобальт. Хотя высокая концентрация серебра, высокое отношение Ag/Au (22) и повышенные концентрации сурьмы свидетельствуют в пользу верхнерудного среза.

В пределах Нерундинского ЗРП с учетом геолого-структурных факторов выделены два этапа рудообразования. Золотоносные метасоматиты первого этапа развивались по рифейским карбонатно-терригенным породам до внедрения интрузивных массивов конкудеро-мамаканского комплекса. Время их образования совпадает с внедрением ранних догранитных даек сиенит- и граносиенит-порфиоров. Это основной продуктивный этап метасоматоза, во время которого сформировались все золотоносные жильно-прожилковые зоны Нерундинского рудного поля. Метасоматиты первого этапа относятся к формации среднетемпературных березитов-лиственитов и имеют кварц-карбонат-серицитовый состав с содержанием сульфидов 1—3 %.

Метасоматиты второго этапа накладываются на апикальные части интрузивных массивов конкудеро-мамаканского комплекса и на их экзоконтакты. Они имеют бескарбонатный кварц-серицит-мусковитовый состав и вмещают кварцевые жилы с золото-вольфрам-молибденовой минерализацией. Метасоматиты подобного состава более высокотемпературные, чем березиты, и формируются при температуре выше 320° [Жариков и др., 2008]. Они характерны для верхней части метасоматической колонны на месторождениях порфиорового типа. На глубину кварц-серицитовые метасоматиты быстро сменяются кварц-калишпатовыми метасоматитами с вольфрам-молибденовым оруденением без золота.

Метасоматиты разных этапов сформировались в различных тектонических условиях. Метасоматиты первого этапа сопровождаются внутрирудными дайками граносиенитов, плитообразной формы, прямолинейными и вытянутыми на расстояние до 5—7 км. Это дает основание считать, что первый этап метасоматоза происходил в условиях тектонического растяжения.

Рудоносные интрузии граносиенитов с метасоматитами второго этапа образуют цепочку мелких граносиенитовых штоков, ориентированную в кососекущем направлении относительно минерализованных швов Абчадского разлома (см. рис. 2). Смена форм малых интрузий с протяженных параллельных даек на изометричные штоки свидетельствует, что в промежутке времени между двумя этапами метасоматоза произошла смена вектора тектонических напряжений — растяжение в зоне Абчадского разлома сменилось кососекущим сжатием.

Полученные данные о взаимоотношениях руд и гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса соответствуют данным о двухэтапном формировании оруденения на площади Мукодекского рудного поля (320 и 280 млн лет), приведенным в работе [Ivanov et al., 2015]. Оба этих рудных поля локализованы в зоне Абчадского разлома в 25 км друг от друга. На Нерундинском ЗРП рудные зоны первого этапа, вероятно, имеют возраст начального этапа формирования гранитоидных интрузий конкудеро-мамаканского комплекса (320 млн лет), как и на рудном поле Мукодек. Возраст руд второго этапа на обоих рудных полях, вероятно, соответствует возрасту заключительной стадии становления гранитоидных массивов конкудеро-мамаканского комплекса, который составляет ориентировочно 280 млн лет [Ярмолюк и др., 1997; Цыганков и др., 2010; Litvinovsky et al., 2011; и др.].

На некоторых проявлениях произошло телескопирование (наложение) двух разновозрастных этапов рудообразования, что значительно осложняет интерпретацию минералого-геохимических данных. Так, на участке Центральный, высокие концентрации молибдена в метасоматитах Главной рудной зоны, возможно, не свидетельствуют о ее глубоком эрозионном срезе, а являются результатом наложения высокотемпературного оруденения второго этапа на более раннее среднетемпературное.

Примененный авторами статистический метод оценки уровня эрозионного среза гидротермального золотого оруденения по мажоритарным геохимическим рядам может быть использован на ранней стадии поисковых работ. Результат может быть получен по 20—30 случайным пробам метасоматитов с золоторудной минерализацией, отобранных из коренных пород или даже из рудных свалов. Статистический метод не требует оконтуривания первичных ореолов и определение их продуктивности. Он позволяет использовать даже экспресс-анализы, хотя для большей достоверности желательнее применять современные прецизионные методы. Особенно на такие элементы, как As, Sb, Bi, Hg, для которых чувствительность спектрального анализа низкая.

Экспрессная оценка уровня эрозионного среза по геохимическим и минералогическим критериям способствует более целенаправленному проведению поисковых работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные минералого-геохимические исследования золотоносных метасоматитов Нерундинского рудного поля позволили адаптировать известные геохимические и минералогические поисковые критерии для оценки уровня эрозионного среза золоторудных месторождений к геологическим условиям Нерундинского рудного поля и Нерунда-Мамского золоторудного района в целом. Основной упор в работе сделан на возможность экспрессной оценки уровня эрозионного среза на ранней стадии поисковых работ.

В качестве основного геохимического критерия предлагается использовать мажоритарные геохимические ряды элементов-спутников золота, определенные статистическим методом по результатам анализов 25—30 случайных проб с исследуемого проявления. Ряды строятся в порядке убывания коэффициентов концентрации элементов по отношению к местному геохимическому фону. В основу методики положен известный ряд вертикальной геохимической зональности гидротермальных среднетемпературных месторождений золота [Рафаилович, 1989]. Согласно этому ряду, элементами нижнерудного среза являются Co, Ni, W, Mo, среднерудного — Cu, As, Au, Zn, верхнерудного — Pb, Ag, надрудного — Ba, Sb, Hg. Положение элементов, возглавляющих мажоритарные ряды конкретного участка или проявления в ряду вертикальной зональности М.С. Рафаиловича, указывает на уровень эрозионного среза данного проявления.

Дополнительным геохимическим критерием может служить отношение Ag/Au, которое на гидротермальных золоторудных месторождениях имеет тенденцию уменьшаться с глубиной. При этом данное отношение рекомендуется использовать в сравнении с его значением на эталонном месторождении, расположенном в пределах этого же рудного поля или района.

В качестве минералогического критерия рекомендуется использовать минеральный ряд, отражающий вертикальную геохимическую зональность. Галенит, антимонит, барит служат индикаторами верхнерудного эрозионного среза, халькопирит, арсенопирит и сфалерит — рудного (среднерудного), а молибденит, вольфрамит, шеелит — нижнерудного.

В качестве минералогического критерия можно использовать и состав карбонатов в березитовых метасоматитах. Кальцит и доломит характерны для глубоких горизонтов рудно-метасоматической колонны, анкерит и сидерит — для средних и верхних горизонтов. Максимальные концентрации полезных компонентов тяготеют к интервалам развития анкерит-сидеритовых парагенезисов.

При использовании разработанных геохимических и минералогических критериев рекомендуется учитывать геолого-структурную позицию проявлений относительно рудных зон, состав вмещающих пород и возможность телескопирования разновозрастных этапов метасоматоза с различной рудной специализацией.

В работе выполнена разбраковка перспективных проявлений Нерундинского рудного поля по уровню эрозионного среза с использованием полученных геохимических и минералогических признаков. Продолжение поисковых работ рекомендовано на слабоизученных проявлениях Габбровой рудной зоны, имеющих геохимические и минералогические характеристики средневерхнерудного эрозионного среза.

Особый интерес представляет Плотиковое проявление, рудная зона которого сформировалась по катаклазированной метабазитам довыренского комплекса. Плотиковое проявление по своей геологоструктурной позиции напоминает Зун-Холбинское месторождение Восточного Саяна, локализованное в обрамлении блока древних кристаллических пород. Там наиболее крупные и богатые рудные залежи приурочены к контактам тела метаультрабазитов, залегающего среди рифей-вендских терригенных отложений.

Для постановки оценочных работ рекомендовано проявление Юго-Западное, расположенное в пределах Главной рудной зоны. По геохимическим признакам его уровень эрозионного среза оценивается как средневерхнерудный.

Проявления Штокверковое и «жила Полиметаллическая», расположенные за пределами рудных зон, характеризуются геохимическими свойствами верхнерудного эрозионного среза, однако имеют мелкие размеры и, по данным бурения, не прослеживаются на глубину. По-видимому, за пределами рудных зон, условий для объемной циркуляции гидротермальных растворов и формирования промышленных рудных тел не существовало.

Изучение геохимических характеристик золоторудных метасоматитов на ранних стадиях ГРП с определением уровня предполагаемого эрозионного среза позволит проводить их более целенаправленно и эффективно.

Авторы выражают глубокую благодарность за содействие в проведении исследований коллективу геологов артели старателей Сининда 1 и лично главному геологу Юрию Дмитриевичу Буинову за ценные консультации и организационную помощь.

ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. М., Недра, 1987, 408 с.

Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А. Метасоматизм и метасоматические породы. М., Научный мир, 2008, 478 с.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983.

Каменихин Н.Т. Определение уровня эрозионного среза оруденения способами корреляционного анализа и ранжированных рядов // Геохимия, 2010, № 2, с. 176—191.

Рафаилович М.С. Вертикальная геохимическая зональность ведущих геолого-промышленных типов месторождений золота и ее использование при поисковых работах. Алма-Ата, КазИМС, 1989, 69 с.

Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. Структура и эволюция континентальной коры Байкальской складчатой области // Геотектоника, 2007, № 6, с. 23—51.

Цыганков А.А., Литвиновский Б.А., Джань Б.М., Рейков М., Лю Д.И., Ларионов А.Н., Пресняков С.Л., Лепехина Е.Н., Сергеев С.А. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (9), с. 1249—1276.

Шабанова Е.В., Бусько А.Е., Васильева И.Е. Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2012, т. 78, № 1, ч. 2, с. 24—33.

Ярмолюк В.В., Будников С.В., Коваленко В.И., Антипин В.С., Горегляд А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Козаков И.А., Ковач В.П., Яковлева З.С., Бережная Н.Г. Геохронология и геодинамическая позиция Ангаро-Витимского батолита // Петрология, 1997, т. 5, № 5, с. 451—466.

Ivanov A.V., Vanin V.A., Demonterova E.I., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Gorovoy V.A. Application of the 'no fool's clock' to dating the Mukodek gold field, Siberia, Russia // Ore Geol. Rev., 2015, v. 69, p. 352—359.

Litvinovsky B.A., Tsygankov A.A., Jahn B.M., Katzir Y., Be'eri-Shlevin Y. Origin and evolution of overlapping calc-alkaline and alkaline magmas: The Late Palaeozoic postcollisional igneous province of Transbaikalia (Russia) // Lithos, 2011, v. 125, p. 845—874.

*Поступила в редакцию 15 августа 2019 г.,
принята в печать 5 февраля 2021 г.*