

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН). Ч. 2. ПЕТРОЛОГИЯ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА

И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко*, А.В. Верховзин*

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: Martynenko VG@polyusgold.com

Приведены результаты реконструкции минералого-петрохимической зональности рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Сухой Лог. Обосновывается принадлежность ореола к березитовой метасоматической формации в сочетании ее с пропилитовой. Обсуждаются особенности околорудного метасоматизма в черных сланцах.

Ключевые слова:

Сухой Лог, месторождение, черные сланцы, петрологические, геохимические исследования, проблемные вопросы.

Key words:

Sykhoi Log, deposit, black shales rocks, petrologic, geochemic research, problem questions.

Введение

Как было показано в [1], с проблемой источников рудного вещества в месторождении Сухой Лог органически связана также дискуссионная проблема происхождения метасоматического ореола с его жильно-прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-карбонатно-кварцевой минерализацией. Диапазон мнений включает ранние представления о принадлежности метасоматитов к березитам и генетической связи гидротермального рудообразующего процесса с гранитоидным магматизмом, более позднюю наиболее популярную до сих пор квалификацию гидротермальных изменений сланцев как следствие регионального метаморфизма на регрессивном его этапе в рамках метаморфогенно-гидротермальной концепции рудообразования и отрицание гидротермальных изменений вообще.

При сравнительном изучении геологической истории горных пород и металлов в них в ряде золоторудных полей юго-восточного горно-складчатого обрамления Сибирского кратона, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате, с использованием методических приемов принятой методологии петролого-геохимических исследований [1–3] получена петрологическая информация, использование которой полезно, чтобы понять, в чем и в какой степени рудовмещающие метасоматиты Сухого Лога специфичны в сравнении с типовыми универсальными чертами метасоматических ореолов других мезотермальных месторождений, и насколько справедливо противопоставление этого месторождения другим, считающимся магматогенно-гидротермальными.

Обращается внимание на то, что порядок минеральной зональности и направленность, сущность преобразований минералого-химического состава пород в минеральных зонах апосланцевых метасоматических ореолов согласуются с таковыми в рудных полях, образованных в любом другом субстрате, а минеральные зоны околорудных метасомати-

ческих ореолов аналогичны субфациям «регрессивного регионального метаморфизма»: биотит-хлоритовая субфация отвечает фронтальной зоне, хлорит-серицитовая — хлоритовой (эпидот-хлоритовой), альбит-серицитовая — альбитовой, серицит-карбонатная — тыловой (березитовой) [2, 3].

Каких-либо промежуточных минеральных ассоциаций, образованных после регионального метаморфизма нагревания (мусковит-биотитовой с турмалином, альмандин-биотитовой, альмандин-диопсидовой и других), но до начала околорудного метасоматизма в сланцевых толщах региона не обнаружено. Поэтому дискуссия о слабости или интенсивности околорудных изменений в черных сланцах и о сходстве-различии минеральных ассоциаций регионального регрессивного метаморфизма и околорудного метасоматизма по крайней мере в золоторудных районах носит по существу терминологический характер: различными терминами обозначается одно и то же. Субфации «зеленосланцевого регрессивного метаморфизма» и соответствующие им минеральные зоны околорудных метасоматических ореолов — это следствие одного процесса — крупнообъемного, но относительно локального сопровождаемого рудообразованием метасоматизма.

Поскольку мы имеем дело в сланцах с околорудным метасоматизмом в его конкретном формационном выражении, представляется корректным использовать терминологическую базу, применяемую при исследованиях метасоматических формаций с их зональными ореолами, в обсуждаемых месторождениях сложенными метасоматитами тыловой (березитовой) и периферийных (пропилитовых) зон. Это целесообразно сделать и по другим причинам. «Регрессивный метаморфизм» — это не изохимический процесс, каковым по определению должен быть метасоматизм, — процесс аллохимический.

В наше время по-прежнему называть аллохимический гидротермальный процесс метаморфизмом

— это нонсенс. Гидротермальный метасоматизм на «регрессивном этапе регионального метаморфизма», как правило, происходит через сотни или многие сотни млн лет после прогрессивного собственно регионального зонального метаморфизма, овеществленного в минеральных зонах, занимающих обширные пространства со стабильными минеральными составами. Минеральные зоны позднего метасоматизма, в том числе сопровождаемого оруденением, контролируются иными и более локальными структурами, чем минеральные зоны прогрессивного регионального метаморфизма. Поздний метасоматизм не связан с последним причинно-следственными связями, о чем можно судить по ряду признаков — значительным временным интервалам, отделяющим один процесс от другого, происхождению флюидов и другим.

С учетом приведенных соображений к наиболее низкотемпературной фации зонального регионального метаморфизма нагревания, в частности, черносланцевых толщ Бодайбинского и Марокано-Илигирского прогибов следует относить регионально распространенные породы, содержащие мусковит-биотитовый метаморфический парагенезис, а все более низкотемпературные ассоциации, на него наложенные (хлорит, эпидот, альбит и пр.), квалифицировать как производные позднего гидротермального метасоматизма, большей частью не имеющего отношения к предшествующему региональному метаморфизму. По существу, эта идея овеществлена выделением региональных метасоматических формаций [4].

Вместе с тем, при стандартной минералого-петрохимической зональности апочерносланцевых околорудных (рудовмещающих) метасоматических ореолов тыловая березитовая и смежная с ней альбитовая зоны с окислением в них керогена и, как следствие, осветлением пород до нормальных светло-серых березитов и березитоидов (с альбитом) образованы эпизодически. Они слагают и обрамляют некоторые минерализованные зоны прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварцевых руд и образуют мощные, до десятков метров, залежи массивных метасоматитов с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией. Напротив, в экзоконтактах подавляющего большинства крупных золотоносных кварцевых жил и множества мелких прожилков сланцы не осветлены и изменены на уровне разных зон. Очевидно, требуются поиски причин и объяснение этой особенности околорудного метасоматизма в черных сланцах.

В связи с сохраняющимся состоянием неопределенности в проблеме обусловленности околорудного метасоматизма и рудообразования в месторождении Сухой Лог более масштабным геологическим процессом выполнено петрологическое исследование рудовмещающего субстрата, которое опирается на описанный альтернативный подход. Материалом послужил керн скважин, пройденных на Западном участке месторождения, детально

(0,2...2,0 м) опробованный вкрест простирания рудовмещающих толщ и метасоматического ореола. Получены альтернативные существующим представлениям результаты, которые приведены и обсуждаются в статье.

Краткий очерк геологического строения Западного участка месторождения Сухой Лог

Месторождение Сухой Лог находится на севере Иркутской области в центральной части Бодайбинского района в пределах Витимо-Патомского нагорья.

Западный участок месторождения приурочен к западной части Сухоложской антиклинали, сложенной переслаивающимися филлитовидными сланцами, алевролитами, тонко-мелкозернистыми песчаниками верхней подсвиты хомолхинской свиты и нижней подсвиты имняхской свиты позднего рифея. Рудовмещающая складка вытянута в субширотном направлении, имеет асимметричное строение и запрокинута на юг. Северное и южное крылья антиклинали падают под углами 15...20 и 30...45° соответственно. Складка осложнена мелкими флексурами, нарушениями высоких порядков (взбросы, надвиги и др.), которые и являются структурами, вмещающими основную часть оруденения. Рудные минерализованные зоны Западного участка являются продолжением рудных залежей центрального участка и также залегают в обрамлении Кадали-Сухоложского глубинного разлома.

Породы содержат углеродистое вещество до 3,5 мас. %, подверглись региональному метаморфизму и гидротермально-метасоматическим преобразованиям. Основная масса золота связана с жильно-прожилково-вкрапленной карбонатно-сульфидно-кварцевой минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, пирротинном с примесью халькопирита, галенита, сфалерита. Руды содержат также микропримеси нескольких десятков минералов, в основном сульфидов [5].

Рудные тела характеризуются субпослойным залеганием. Они имеют сложную конфигурацию с частыми раздувами, достигающими десятков метров, пережимами, выклиниванием и разветвлением на несколько минерализованных зон. От осевой части антиклинали к ее крыльям прослеживается закономерное снижение содержания золота от промышленных концентраций до фоновых значений. Распределение золота в рудных телах крайне неравномерно. Средняя проба золота на месторождении составляет 879 ‰.

Минеральная зональность околорудного метасоматического ореола

Как следует из приведенных в [1] материалов, минеральный состав околорудно измененных пород месторождения Сухой Лог изучен детально с использованием современной диагностической и аналитической аппаратуры. Вместе с тем, не достигнуто единого понимания происхождения но-

вообразованных минеральных ассоциаций, то есть сущности геологического процесса, инициировавшего и обусловившего гидротермальные изменения сланцев в околорудном пространстве и в рудных телах. Полная картина строения (минеральной зональности) рудовмещающего метасоматического ореола Сухого Лога до сих пор не создана.

Между тем, ореол месторождения структурирован в соответствии с типовой универсальной, то есть приложимой и к апочерносланцевым околорудным метасоматическим ореолам схемой, приведенной в [2, 3]. От других он отличается гигантскими размерами, значительно превышающими размеры составляющих часть его объема рудных залежей, но не внутренним устройством. Даже на Западном участке месторождения с относительно небольшими рудными телами и сопровождающими минерализованными зонами на обширной площади скважинами вскрыты только две минеральные зоны — альбитовая, вмещающая промышленную рудную минерализацию, и смежная с ней хлоритовая. Околорудные метасоматические изменения кончаются на значительном удалении от рудных тел. Сменяющая хлоритовую зону на периферии обширная область слабых изменений в типовой схеме названа фронтальной, и от хлоритовой зоны она отличается по минеральному составу. Породы, слагающие фронтальную и тыловую зоны, описаны предшественниками. С использованием их результатов рудовмещающий ореол Сухого Лога реконструирован в полном объеме.

Состав минеральных новообразований этапов регионального метаморфизма и околорудного метасоматизма принципиально отличается.

Как известно, Сухой Лог и соседние месторождения залегают в терригенных и терригенно-карбонатных сланцах, представляющих обширную мусковит-биотитовую зону ареала регионального метаморфизма нагревания, занимающую значительную часть территории Бодайбинского и Марокано-Илигирского прогибов, которая сменяется зонами с более высокотемпературными и высокобарическими минеральными ассоциациями в составе ультраметаморфитов на окраинах и в обрамлении прогибов — Нечерском, Тонодском и других поднятиях очагово-купольного типа.

За пределами и во фронтальной зоне околорудного метасоматического ореола месторождения в процессе регионального метаморфизма, охватившего отложения обоих прогибов в венде, терригенные и карбонатно-терригенные массивные, скрыто сланцеватые и сланцеватые породы обеих свит сохранили в основном первоначальное обломочное и слоистое строение, а также полевошпатовый и полимиктовый состав обломочной фракции. Напротив, глинистый и известковый (глинисто-известковый) цемент осадков подвергся раскристаллизации с образованием зернистых агрегатов кальцита, биотита, мусковита и, вероятно, серицита, парагонита, турмалина при эпизодиче-

ском участии незначительной примеси метакристаллов роговой обманки. Этот метаморфический комплекс одновременно образованных минералов не несет признаков взаимных замещений и квалифицирован как минеральный парагенезис, более или менее равномерно распределенный на территории обоих прогибов.

На первично осадочный и регионально-метаморфический парагенезисы в рудоконтролирующих, рудовмещающих разломно-трещинных структурах и их обрамлении после значительного (250 млн л) [6] временного перерыва наложен обширный набор минералов позднепалеозойского [5] этапа околорудного метасоматизма и рудообразования.

Обобщенная схема минеральной зональности рудовмещающего метасоматического ореола месторождения в составе минеральных зон включает следующие новообразованные минералы (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловой зоне).

Фронтальная зона [7]: Песчаники	кварц+серицит+альбит+эпидот+хлорит+пирротин; исходные кварц, олигоклаз, <u>роговая обманка</u>
Фронтальная зона [8]: Песчаники	кварц+серицит+альбит+доломит+сидерит+эпидот+хлорит; исходные кварц, андезин, микроклин, <u>роговая обманка</u>
Фронтальная зона [9]: Песчано-, алевросланцы догалдынской и хомолхинской свит	кварц+серицит+кальцит+доломит+эпидот+хлорит; исходные кварц, полевые шпаты, кероген, мусковит, <u>биотит</u>
Хлоритовая зона : Песчано-, алевросланцы имнянской и хомолхинской свит	кварц+серицит+рутил+лейкоксен+магнетит+пирит±кальцит+анкерит±сидерит+альбит+ <u>хлорит</u>
Альбитовая зона :	кварц+серицит+рутил+лейкоксен+магнетит+пирит±кальцит+анкерит±сидерит+ <u>альбит</u>
Тыловая зона [7]:	кварц+серицит+рутил+пирит+анкерит+сидерит
Тыловая зона [8]:	кварц+серицит+кальцит+анкерит
Тыловая зона [9]:	кварц+серицит+рутил (лейкоксен) +пирит+Mg-Fe карбонаты+апатит
Тыловая зона [10]:	кварц+мусковит+пирит+анкерит+сидерит

Фронтальной зоне мощностью предположительно до многих сотен метров свойствен полный набор перечисленных в метасоматической колонке минералов, но в незначительном объеме, не превышающем, как правило, 20...30 об. %. Породы подверглись частичной перекристаллизации с образованием лепидогранобластовой структуры, усложняющей обломочную структуру исходных пород. Биотит, роговая обманка в разной степени замещены хлоритом, хлорит — серицитом-мусковитом в сростании с рутилом, лейкоксеном, кальцитом, магнезиально-железистыми карбонатами. Зерна плагиоклазов частично серицитизированы, с периферии подверглись деанортизации в виде узких каемок альбита. В обломках основного состава диагностируется эпидот.

На границе полного замещения биотита и/или роговой обманки фронтальная зона сменяется более тыловой хлоритовой (редко эпидот-хлоритовой) зоной.

В хлоритовой зоне все породы полностью перекристаллизованы, но унаследовали алеврито-мелкопесчаную (до 0,25 мм) размерность зерен.

Породы темно-серые до черных массивные или тонкослойчатые, как правило, со слабо выраженным слоистостью, обусловленной чередованием в разных сочетаниях существенно кварцевых, карбонатных, мусковит-серицитовых слоев мощностью до первых...многих мм. Слоистость горизонтальная, иногда косая. Массивные породы чередуются со скрыто сланцеватыми, которые внешне выглядят массивными, но раскалываются на плитки. В скрыто сланцеватых породах зерна основных минералов – кварца, карбонатов вместе с чешуйками серицита-мусковита имеют удлиненную форму с соотношением сторон от 1:2...3 (кварц, карбонаты) до 1:10 (серицит-мусковит). Чешуйки и зерна ориентированы удлинением в одном направлении – вдоль сланцеватости и в согласии со слоистостью. В массивных породах зерна более или менее изометричные, чешуйки слюды ориентированы беспорядочно.

Структура пород лепидогранобластовая, гранолепидобластовая, существенно лепидобластовая в метааргиллитах (филлитах), пойкило-порфириобластовая.

Ведущие минералы пород – кварц, карбонаты, серицит (+мусковит), присутствующие в разных количественных соотношениях. Содержания каждого из них изменяются от несущественной (1...2 об. %) примеси до заметного преобладания над другими. В качестве постоянной несущественной примеси присутствуют хлорит, кероген, турмалин, полевые шпаты, пирит (сульфиды), рутил, лейкоксен. Большинство перечисленных минералов образовалось до и в процессе метасоматизма.

Основная масса кварца, слагающего зернистые агрегаты в слоях-полосках, автономные или в сростаниях с другими минералами, имеет седиментогенно-метаморфическое происхождение. Его зерна имеют обычно сложную конфигурацию, резкие или «лапчатые» и в последнем случае «размытые» очертания. Вместе с тем, кварц присутствует в форме линзовидных порфириобласт, удлиненных вдоль полосчатости и/или сланцеватости, размером до 1,5...2,0 мм и с крупнозернистым (0,5...0,7 мм) строением, иногда в сростании с хлоритом и карбонатом. Кварц в таких «глазках» охотно аккумулирует каплевидные выделения сульфидов, в основном пирротина, и мелкие метакристаллы пирита. Кварц также участвует в пойкилитовых включениях в крупных (до 5 мм) метакристаллах-порфириобластах карбоната, представленного, согласно диагностике [11], исключительно магнезиосидеритом. Кварц присутствует в виде включений в метакристаллах-порфириобластах пирита и хлорита.

Обычны агрегаты «пламенеvidных» зерен кварца в обрамлении метакристаллов-порфириобласт пирита, часто не по всему периметру, ориентированных удлинением нормально к его граням. В сростаниях с хлоритом в таких полосках обрамления кварц занимает тыловую зону, смежную с пиритом, а хлорит в удлиненных («пламенеvidных») чешуйках, согласных с «пламенеvidными» выделениями кварца и во взаимных прорастаниях с ними, занимает преимущественно периферию обрамления. В других случаях удлиненные чешуйки хлорита ограничивают с периферии обрамляющие метакристаллы пирита полосы «пламенеvidного» кварца на всем протяжении граней пирита, но ориентированы удлинением вдоль граней и непрерывно следуют последним синхронно с изменением их ориентировки на 90°. В оторочках обрамления метакристаллов пирита кварц также обычен в сростаниях с удлиненными зернами анкерита.

Карбонаты в соразмерных кварцу зернах и полных кристаллах участвуют в сложении основной массы породы и присутствуют в форме кристаллов-порфириобласт. Зернам свойственны неправильные очертания, но обычные и ромбовидные срезы с острыми углами. Среди этих карбонатов диагностированы кальцит (редко, вероятно, реликты седиментогенно-метаморфического кальцита), а повсеместно – анкерит [11] (табл. 1).

Таблица 1. Минеральный состав околорудно измененных углеродистых карбонатно-терригенных сланцев имняхской свиты (по данным рентгеновского анализа)

Номера проб	Минеральные зоны околорудного метасоматического ореола	Диагностированные минералы
76-3-163,0	Хлоритовая	Анкерит, кварц, мусковит, плагиоклаз, хлорит
76-3-168,8	Хлоритовая	Анкерит, кварц, хлорит, мусковит, плагиоклаз, пирит
82-11-65,7	Хлоритовая	Анкерит, кварц, кальцит, мусковит, плагиоклаз, хлорит
75-2-32,1	Альбитовая	Анкерит, кварц, плагиоклаз, мусковит
76-3-62,4	Альбитовая	Анкерит, кварц, плагиоклаз, кальцит, мусковит
76-3-62,7	Альбитовая	Анкерит, кварц, плагиоклаз, мусковит
76-3-133,7	Альбитовая	Анкерит, кварц, мусковит, плагиоклаз
76-3-134,3	Альбитовая	Анкерит, мусковит, кварц, плагиоклаз, пирит

Примечание. 1) Подчеркнуты преобладающие минералы. 2) Анализ выполнен в Аккредитованной испытательной лаборатории ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк), аналитик Г.М. Тираков. Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21АЯ.07.

В метакристаллах-порфириобластах размером до 5 мм линзовидной формы («глазках») диагностирован, как отмечалось, магнезиосидерит [11].

Удлиненными «глазками» ориентированы согласно сланцеватости пород и сосредоточены в полосах мощностью до нескольких десятков метров, чередующихся в разрезе. Порфириобласты часто имеют «рваные» контакты, разорваны на части, погасающие при включенном анализаторе одновременно, следовательно — представляющие один кристалл. Содержание порфириобласт не превышает 20 об. % от объема пород. Содержат многочисленные пойкилитовые включения мелких (до 0,1 мм) ромбоздров анкерита, зерен кварца, чешуек серицита и хлорита, микропризм желто-бурого турмалина, скоплений керогена, микровключений пирита. Некоторые порфириобласты пересекаются полосками (прожилками) керогена.

Серицит-мусковит присутствует в двух разновидностях при том, что сравнительно крупных пластинок, более 0,1...0,2 мм, мало. Чистые пластинки мусковита с размерностью до 0,5 мм представляют реликты метаморфического мусковита, как, впрочем, и часть серицита. Мусковит, который замещает хлорит и представляет конечный минерал в цепочке биотит—хлорит—мусковит, «загрязнен» примесью рутила-лейкоксена, образованных в связи с высвобождением титана из биотита и фиксацией его в промежуточном хлорите.

Основная масса мусковита серицитовой размерности представлена рассеянной разной густоты вкрапленностью различно ориентированных чешуек, или сосредоточена в полосках мощностью от долей мм до многих мм, чередующихся с полосками кварц-карбонатного состава. В этом случае многочисленные чешуйки его в моно- или поликомпонентном агрегате ориентированы в одном направлении согласно общей полосчатости пород, погасая при включенном анализаторе одновременно как единый кристалл. При этом зерна окружающих минералов не всегда уплощены. Очевидно, серицит более чувствителен к давлению, при раскристаллизации цемента осадочных пород или перекристаллизации ориентируясь удлинением своих чешуек поперек направления сжимающих усилий. В полосках минерал не всегда, но охотно ассоциирует с керогеном, образуя совместные агрегаты с переменным содержанием компонентов.

Магнезиально-железистый с примесью (до 0,5 %) Ni [12] хлорит, помимо описанных сростаний с другими минералами, обычно присутствует в форме удлиненных или субизометричных метакристаллов-порфириобласт и агрегатов чешуек размером до 0,5 мм. Иногда порфириобласты хлорита имеют ромбовидную форму, напоминающую фрагменты кристаллов роговой обманки. Содержание его не превышает 3 об. %. Порфириобласты хлорита, как правило, занимают секущее положение по отношению к ориентировке чешуек серицита-мусковита и удлиненных зерен других минералов. Содержат многочисленные включения кварца, карбонатов, серицита, при этом в разной степени замещены мусковитом.

Призматические кристаллы турмалина грязно-зеленого и желто-бурого цветов, как правило, сочетающихся в одном кристалле, более или менее равномерно рассеяны в породах и достигают размера 0,3...0,4 мм, хотя в большинстве пород размер их не превышает 0,1 мм. Обычно наблюдаемая независимость распределения минерала от интенсивности метасоматических преобразований пород при отсутствии признаков окатанности его идиоморфных кристаллов рассматривается как результат образования при региональном метаморфизме. Вместе с тем, обнаружены факты, которые указывают на неоднородное образование турмалина. Заполняющий промежуток между соседними метакристаллами пирита прожилки мощностью 0,1 мм сложен агрегатом взаимно прорастающих «пламеневидных» зерен кварца и чешуек хлорита, ориентированных, как обычно, нормально к граням пирита. Удлиненный метакристалл турмалина с соотношением сторон 1:7 пересекает прожилки и прилегающие к нему области обоих метакристаллов пирита, углубляясь в каждый из них на расстояния до 0,2 мм без признаков смещения. Это срастание доказывает более позднее сравнительно с кварц-хлоритовым прожилком и пиритом образование турмалина, то есть послеметаморфическую его генерацию. С этим фактом согласуется другой — эпизодически наблюдаемое увеличение количества микрокристаллов турмалина в альбитовой зоне сравнительно с хлоритовой.

Распределение керогена в породах чрезвычайно неравномерное при содержании в полосках или участках сгущения до 10 об. % и, вероятно, более. Особенно охотно кероген кооперируется с серицитом, участвуя в сложении совместных полосок или чередуясь с ними. В самом общем виде существует обратная зависимость содержания керогена от размерности зерен, — чем более тонкозернистая порода, тем выше содержание керогена. При этом, фиксируются слюдистые аргиллиты — филлитовидные сланцы и не содержащие или почти не содержащие кероген.

Полоски керогена мощностью в тысячные доли мм до первых мм имеют сложную конфигурацию, — они волнистые, с флексурными перегибами, ветвятся, огибают зерна кварца и полевых шпатов, образуют неправильные сетки, но часто пересекают порфириобласты сидерита. Обычна также вкрапленность, гнездовые выделения керогена, как и в полосках разной густоты — от рассеянной до сплошной. С использованием рентгено-структурного анализа кероген диагностирован как неструктурированное графитоподобное вещество или неупорядоченная форма графита с незначительной примесью хлороформенных и спиртобензольных битумоидов [10].

Состав керогена и его происхождение детально изучались ранее [13 и др.].

Полевых шпатов сравнительно мало (до 5...10 об. %). Среди них диагностированы реликтовые плагиоклазы, подвергшиеся в разной степени

альбитизации и структурной перестройке, вследствие чего, вероятно, частично утратившие полисинтетическое двойникование. О частичном замещении кристаллов плагиоклазов кварцем свидетельствуют «размытые» границы между ними. Вместе с тем, преобладают кристаллы новообразованного альбита.

Разнообразны формы соотношений с другими минералами сульфидов, среди которых резко преобладает пирит в агрегатах зерен и в метакристаллах размерами от долей мм до 50 мм в поперечнике. Обычен также пирротин в агрегатах ксеноморфных зерен. Принадлежность большей части сульфидов к этапу метасоматизма и рудообразования доказывается увеличением их массы и расширением номенклатуры по мере усиления метасоматических преобразований пород при переходе от хлоритовой к альбитовой зоне.

Метакристаллы пирита, как отмечалось выше, сопровождаются оторочками новообразованного кварца, иногда в сростании с хлоритом, карбонатами, как правило, не по всему периметру. В тех участках периметра, где оторочки кварца отсутствуют, в экзоконтактах метакристаллов пирита также отсутствуют какие-либо видимые изменения минералов, отличные от основной массы пород. В других случаях в обрамлении метакристаллов пирита или агрегатов пирита, пирротина можно наблюдать укрупнение до многих десятых долей мм зерен кварца, карбонатов, чешуек слюд, до 0,3...0,4 мм призм турмалина, объединенных в порфиробласты, как правило, линзовидной или короткопрожилковой формы, достигающие размеров по удлинению 4...5 мм. Вместе с тем, в некоторых подобных порфиробластах сульфиды отсутствуют.

В более тыловой альбитовой зоне, лишенной хлорита, сохраняются, как и в хлоритовой зоне, кварц, чистый мусковит, турмалин, кероген исходных для околорудного метасоматизма осадочных регионально метаморфизованных пород, а также при сохранении их текстур и структур все, кроме хлорита, минералы этапа метасоматизма и рудообразования. Вместе с тем, отмечается локальное осветление пород до серого, светло-серого цвета. Границы осветленных участков резкие (волосовидные), часто имеют причудливую конфигурацию, пересекают полосчатость и согласную ей сланцеватость пород. Объемы осветленных метасоматитов незначительны — ширина осветленных участков на поверхности зерна, как правило, не превышает десятков см. Осветление пород обусловлено уменьшением содержания керогена вследствие, вероятно, его окисления.

Пород, представляющих тыловую зону, в районе Западной залежи рудного поля, нами пока не обнаружено, поэтому воспользуемся данными предшественников. Как отмечалось выше, наиболее измененные породы рудного поля зафиксированы в центральной его части в районе Главной рудной

залежи и сложены кварцем, мусковитом, серицитом, Mg-Fe карбонатами с примесью рутила (лейкоксена) и с переменным количеством сульфидов, в основном пирита [7–9, 14, 15]. Этот состав подтвержден в последнее время [10] и естественным образом, хотя и в ограниченном объеме, формируется, согласно теории метасоматической зональности Д.С. Коржинского, вследствие перехода в подвижное состояние очередного элемента — натрия и растворения очередного минерала, в данном случае альбита, при переходе в более тыловую минеральную зону метасоматического ореола, которая и завершает метасоматическую колонку.

Порядок минеральной зональности нарушается многократным чередованием хлоритовой и альбитовой минеральных зон вследствие усиления гидротермальных изменений пород вдоль оперяющих «стволовые» рудовмещающие разломы зон дробления и расщепления — структур повышенной проницаемости. Весьма вероятно, что по размеру других месторождений тыловая зона также участвует в этом чередовании. Мощность минеральных зон в таких частях разреза рудовмещающего метасоматического ореола снижается до первых...многих метров. Поскольку промышленная минерализация приурочена к альбитовой и тыловой минеральным зонам, что доказывается отсутствием хлорита и незначительным содержанием альбита в рудных технологических пробах [16], в обрамлении наиболее крупных рудных залежей присутствуют относительно маломощные (метры) минерализованные зоны, сложенные метасоматитами альбитовой зоны с продуктивной золото-кварц-сульфидной и золото-сульфидной минерализацией.

Петрохимические черты околорудного метасоматического ореола

При дефиците пригодных для химического силикатного анализа невыветрелых образцов исходных осадочных пород можно, тем не менее, констатировать, что межзональные изменения химического состава пород в метасоматическом ореоле выражаются в существенном возрастании (вдвое...втрое) массы магния и железа в процессе охватившего значительные объемы рудовмещающих толщ магнезиально-железистого метасоматизма и замещения кальцита известкового цемента осадочных метаморфизованных пород анкеритом — главным карбонатом метасоматически измененных пород. Содержания в исходных осадочных породах магния, например, на уровне 1...2 мас. % [17], в метасоматитах хлоритовой и альбитовой зон увеличиваются до 3,5...4 мас. % (табл. 2). Вместе с тем, вероятно поступление с растворами углекислоты в малокарбонатные породы хомолхинской свиты, поскольку содержание анкерита в образованных по ним метасоматитах сопоставимо с количеством анкерита в метасоматитах, образованных за счет карбонатно-терригенных сланцев имняхской свиты.

Таблица 2. Химические составы гидротермально измененных углеродистых алевро-песчаносланцев и апосланцевых метасоматитов рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Сухой Лог

Минеральные зоны, номера проб	Содержание, мас. %															Σ
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	S*	CO ₂	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	H ₂ O+	H ₂ O	
Имнянская свита, R ₃ . Исходные – метаморфические двуслюдяные полевошпат-кварцевые карбонатно-терригенные сланцы алевро-мелкопесчаной размерности																
Хлоритовая																
60-6-338,0	45,20	9,62	2,00	1,00	0,053	16,17	16,05	3,15	3,95	0,46	0,60	0,13	0,09	–	–	98,47
60-6-338,5	53,70	10,60	2,02	0,96	0,011	10,90	9,96	3,40	4,53	0,78	0,66	0,13	0,07	–	–	97,72
82-11-36,0	58,93	9,81	1,50	1,48	0,046	9,13	9,30	3,49	3,88	0,52	0,64	0,14	0,06	–	–	98,93
82-11-60,3	51,99	10,72	1,93	1,31	0,011	11,00	11,32	3,52	4,42	0,48	0,65	0,12	0,05	–	–	97,52
82-11-65,7	48,50	9,04	1,69	1,47	0,057	15,63	15,86	3,00	3,09	0,28	0,64	0,14	0,05	–	–	99,45
Среднее	51,66	9,96	1,83	1,24	0,04	12,57	12,50	3,31	3,97	0,50	0,64	0,13	0,06	–	–	98,41
76-3-163,0	47,48	9,50	1,90	1,08	2,46	12,84	8,25	3,94	6,97	4,26	0,55	0,15	0,12	–	–	99,50
76-3-165,3	40,65	13,63	2,70	1,48	2,51	10,67	6,14	3,99	11,13	4,51	0,53	0,12	0,08	–	–	98,14
76-3-168,8	45,90	9,80	1,60	0,98	4,11	10,68	6,84	3,83	6,75	7,74	0,34	0,12	0,09	–	–	98,78
82-11-13,2	47,83	8,51	1,20	1,48	0,15	15,13	17,06	2,99	3,59	0,58	0,50	0,13	0,09	–	–	99,24
Среднее	45,47	10,36	1,85	1,26	2,31	12,33	9,57	3,69	7,11	4,27	0,48	0,13	0,10	–	–	98,93
Альбитовая																
60-6-336,0	51,30	10,12	2,09	1,13	0,011	14,19	11,47	3,37	4,17	0,05	0,57	0,13	0,06	–	–	98,66
60-6-339,5	59,40	10,93	1,92	1,34	0,011	7,81	6,40	3,17	4,38	0,71	0,70	0,13	0,20	–	–	97,10
75-2-32,1	62,00	8,30	1,32	1,43	0,011	10,89	7,30	2,70	4,24	0,07	0,57	0,12	0,06	–	–	99,01
76-3-62,4	55,08	8,63	1,28	1,72	0,011	13,97	11,47	2,45	3,81	0,20	0,58	0,12	0,06	–	–	99,38
76-3-62,7	59,02	9,42	1,40	1,90	0,023	11,00	8,00	3,01	4,31	0,30	0,63	0,13	0,08	–	–	99,22
Среднее	57,36	9,48	1,60	1,50	0,013	11,57	8,93	2,94	4,18	0,27	0,61	0,13	0,09	–	–	98,67
76-3-133,7	47,92	12,99	2,60	1,09	0,46	13,75	9,06	4,58	4,31	0,88	0,81	0,22	0,12	–	–	98,79
76-3-134,3	54,68	9,25	1,76	1,50	0,25	13,16	8,76	3,96	4,38	0,64	0,57	0,24	0,12	–	–	99,27
Среднее	51,30	11,12	2,18	1,30	0,36	13,46	8,91	4,27	4,35	0,76	0,69	0,23	0,12	–	–	99,05
Догалдынская свита, R ₃ , исходный – песчаник [9]																
Фронтальная	62,23	12,35	1,50	3,50	–	4,64	2,66	2,10	2,66	5,04	0,55	0,17	0,12	2,12	0,08	99,72
Альбитовая	46,06	22,50	3,60	3,64	–	5,28	0,56	4,00	6,47	1,84	0,94	0,30	0,06	4,78	0,24	100,27
Хомолхинская свита, R ₃ , исходный – песчаник [9]																
Фронтальная	80,09	5,65	1,07	0,67	–	0,32	1,40	1,12	2,02	3,12	0,08	0,58	0,06	3,38	–	99,56
Альбитовая	52,00	5,65	1,13	0,57	–	14,08	0,84	6,60	14,08	2,86	0,36	0,27	0,31	0,70	0,22	99,67

Примечание. 1) S* – сера сульфидная, – не определялась. 2) Полный химический силикатный анализ проб горных пород выполнен в Аккредитованной испытательной лаборатории ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк), аналитик Н.Н. Земцова. Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21АЯ.07.

Как можно видеть в табл. 2, не обнаруживаются значимые изменения химических составов пород в смежных хлоритовой и альбитовой зонах, вмещающих Западную рудную залежь. Фиксируется только чрезвычайно неравномерное распределение восстановленной серы, отражающее распределение сульфидов, главным образом пирита. Даже в метасоматитах одной зоны оно изменяется от субкларковых значений до процентов, а по визуальной оценке в отдельных образцах – до десятков процентов.

Более дифференцированную картину демонстрируют сокращенные метасоматические колонки, представляющие центральную часть месторождения, где метасоматический рудообразующий процесс получил наиболее полное крупномасштабное выражение (табл. 2) [9]. В обеих колонках участвуют исходные умеренно- и малокарбонатные песчаники догалдынской и хомолхинской свит, а наиболее измененные породы представляют осветленные метасоматиты альбитовой зоны, со-

стоящие из кварца, серицита, магнезиально-железистых карбонатов, альбита, рутила, сульфидов.

Согласно приведенным данным, в метасоматическом процессе кремнезем частично удалялся из пород, но увеличилось содержание углекислоты (до 50 раз), оксидов калия (до 2,5 раз), магния (до 6 раз), суммарного железа (до 3 раз), титана (до 4 раз). Поступление фосфора зафиксировано образованием голубого и розового апатита в золотоносных кварцевых жилах [18]. Сохранение в метасоматитах натрия объясняется участием в их составе альбита при том, что установлен вынос натрия из рудной зоны, пересеченной, например, скважиной SRK97-6, при заметном привносе калия [11]. Пониженные содержания в рудах, а следовательно, в тыловых зонах метасоматического ореола кремнезема, но повышенные – железа, магния, углекислоты, восстановленной серы и органического углерода отмечены в [16]. Обилие пирита дополняет минералого-петрохимическую характеристику процесса, который квалифицирован ав-

торами [9] как калиево-сернисто-углекислотный метасоматизм, то есть березитизация, с обогащением метасоматитов элементами фемофильной специализации (K, Mg, Fe, Ti).

Обсуждение результатов и выводы

Минералого-петрохимические черты обычного в мезотермальных месторождениях золота метасоматического процесса, называемого березитизацией, с которым идентифицировали метасоматические преобразования пород в золотых месторождениях Сухого Лога и Ленского района исследователи раннего периода изучения месторождения до начала триумфального шествия метаморфогенной гипотезы рудообразования, обобщены сравнительно давно [19] и получают подтверждение накапливающимися фактическими данными вплоть до последнего времени. Было показано, что кварц-серицит-анкеритовые с пиритом метасоматиты тыловой зоны метасоматических колонок — березиты образуются в условиях средне-низкотемпературного гидротермального калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма с частичным выносом кремнезема и заменой сильным основанием калием более слабого натрия, привносом восстановленной серы и углекислоты. Отмечалось, что остальные петрогенные компоненты мигрируют незакономерно.

Именно эти черты обнаружили в месторождении Сухой Лог один из авторов цитируемой статьи, С.Д. Шер, и исследователи более позднего времени [8, 9, 15], данные которых приведены в [1]. Всеобщее увлечение в последующие десятилетия метаморфогенно-гидротермальной гипотезой рудообразования в черных сланцах вообще и в Сухом Логу, в частности, с ее идеями породных источников золота и принадлежности рудовмещающих метасоматитов к субфациям регионального регрессивного метаморфизма положило конец употреблению термина березит.

Популярное и поныне противопоставление золотых месторождений, образованных в черных сланцах, магматогенно-гидротермальным, образованным в «кристаллическом» субстрате, опирается в том числе и на представление о принципиальных отличиях минералого-петрохимической сущности околорудных изменений в той и другой среде. Квалификация околорудного метасоматического процесса в Сухом Логу как березитизация означала бы признание еще одного факта, в дополнение к другим доказывающего геолого-генетическую однородность и этого уникального месторождения с другими, образованными, скажем, в гранитах, ультраметаморфитах, метаморфогенно-гидротермальное происхождение которым пока, как-будто, никто не приписывал, а магматогенно-гидротермальный генезис которых доказывается многими фактами [3, 20].

Минеральный состав и минералого-петрохимическая зональность рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Сухой Лог соот-

ветствуют типовым универсальным чертам околорудных метасоматических ореолов золоторудных месторождений «несланцевого» и «черносланцевого» типов пропилит-березитового профиля, описанным в [3]. Это соответствие доказывают следующие факты, характеризующие метасоматический ореол месторождения:

- сочетание в ореоле метасоматитов березитовой формации (березита и березитоида — березита с альбитом) в тыловых зонах и пропиловитовой формации — в периферийных при минеральных замещениях в последних преобладающе за счет внутренних ресурсов петрогенных компонентов;
- аналогичная с ореолами других мезотермальных месторождений схема минералого-петрохимической зональности рудовмещающего метасоматического ореола;
- уменьшение числа минеральных фаз при увеличении массы минеральных новообразований от фронтальной зоны к тыловой;
- поликомпонентный кварц-серицит (мусковит)-анкерит (Mg-Fe карбонат) с пиритом (сульфидами) состав тыловой зоны ореола (березита), в том числе в жильных месторождениях, в которых осевая зона — сульфидно-карбонатно-кварцевая жила тоже поликомпонентна;
- перераспределение в тыловой зоне щелочей с заменой более сильным основанием калием более слабого основания натрия, частичный вынос из нее кремния и отложение его в форме кварца в жилах и прожилках, поступление в ореолы восстановленной серы, углекислоты;
- фемофильная специализация золотоносных березитов с образованием контрастных аномалий P, Ti, Mg, Fe, Mn, Ca в тыловых зонах наиболее активной миграции компонентов.

Отметим замечание В.Л. Русинова с соавторами [10] о том, что метасоматически преобразованные породы месторождения можно было бы отнести к березитоподобным, но нельзя этого сделать по причинам отсутствия околорудного окварцевания, типичного для березитов парагенезиса кварц+мусковит и слабо щелочного режима Na-Ca бикарбонатного раствора. Эти возражения неадекватны реальной ситуации, на которую обращал ранее внимание и сам В.Л. Русинов [21]. Поликомпонентный состав березита, как отмечалось, — обычное явление и не наблюдается оторочек окварцевания в контактах кварцевой жилы с березитом. Ассоциация кварц+мусковит, слагающая еще более тыловую, чем березит, зону, представляет в березит-пропиловитовых колонках большую редкость, хотя и достигается в теории.

Причины несоответствия эмпирических, наблюдаемых в природе и эксперименте данных теоретическим построениям [22] обсуждается давно, существуют разные версии на сей счет [23 и др.]. Показатель Ph растворов, как известно, меняется со временем, и ранее на примере реконструкции метасоматического процесса в черных сланцах при

образовании месторождения Чертово Корыто [24] был установлен щелочной режим ранних порций растворов, испытавших инверсию в ходе процесса в кислотный. Щелочной режим обеспечивал растворение в бескарбонатных существенно кварцевых сланцах рудовмещающей михайловской свиты кварца до 800 кг в 1 м³ породы, вынос этой массы SiO₂ из тыловой зоны метасоматического ореола и подготовку пространства для отложения анкерита, содержание которого в местных апочерносланцевых березитах достигает многих десятков %. Последующий кислотный режим обеспечивал отложение кремнезема в жилах и прожилках. Участие в золотоносных кварцевых жилах новообразованных полевых шпатов также фиксируется, образование их связано с выносом глинозема из высокоглиноземистых боковых пород и переходом в твердую фазу вместе с кремнеземом и катионами [25].

На двух ключевых особенностях апочерносланцевых рудовмещающих метасоматических ореолов следует акцентировать внимание, поскольку эти общеизвестные особенности создают мощный импульс тому, чтобы считать золотые месторождения в черных сланцах отличными по геолого-генетическим показателям от месторождений, залегающих в других породах. Представляется, что эти две особенности сыграли решающую роль в том, чтобы отдать предпочтение метаморфизму как рудогенерирующему процессу. Первая заключается в отсутствии признаков окисления углерода керогена в экзоконтактах кварцевых жил и прожилков и существенных гидротермальных изменений в их зальбандах на уровне хотя бы альбитовой, тем более березитовой зон, вторая — в неразвитости тыловой зоны апочерносланцевых ореолов вообще.

Для объяснения первого распространенного в черносланцевых толщах многих золоторудных районов явления представляют интерес факты утяжеления изотопно легкого углерода керогена от $\delta^{13}\text{C} = -(20,0 \dots 25,0) \text{‰}$ до $\delta^{13}\text{C} = -(12,0 \dots 15,0) \text{‰}$ в новообразованных карбонатах березитов (данные Е.А. Вагиной) при обычных значениях $\delta^{13}\text{C}$ в жильных карбонатах и $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов в кедровской и водораздельной свитах, например, близких к метеоритному стандарту ($\delta^{13}\text{C} = -7,0 \pm 2,0 \text{‰}$ и $\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 5,0 \text{‰}$) [26]. Вероятно, изотопно относительно тяжелый углерод с мантийными изотопными отношениями, поступавший с металлоносными растворами в тех струях общего потока, в которых возникал окислительный режим, смешивался с окислявшимся изотопно легким углеродом керогена, вследствие чего изотопные отношения углерода образовавшихся в березитах карбонатов приобретали промежуточные значения. Тем не менее, восстановленный режим основной массы поступавших металлоносных растворов, обеспечивавший образование сульфидов,

и инверсия окислительного режима на восстановительный в отдельных струях поддерживались обилием в среде метасоматизма восстановленного углерода керогена, который в этих условиях, естественно, не окислялся.

В золоторудных полях, в которых сочетаются мощные толщи углеродистых терригенных сланцев с прорывающими их телами гранитоидов или с вмещающими их телами ультраметаморфитов и магматитов зрелых очагово-купольных построек (Кедровском, Каралонском, Уряхском, Холбинском и др.), залегающие в черных сланцах мощные золотоносные кварцевые жилы и мелкие прожилки в экзоконтактах, как обычно, не сопровождаются окислением керогена, осветлением зальбандов и существенными околожилными изменениями пород. Между тем, соседние золотоносные жилы, локализованные в гранитах, ультраметаморфитах, обрамлены зонами хорошо проработанных березитов, составляющих тыловую зону околожилных метасоматических ореолов.

В Кедровском рудном поле, например, к первым принадлежат Пинегинские, Шаманские, Осиновые, Промежуточные жилы, ко вторым — Жиганская, Баргузинские и другие. С учетом приведенных материалов это означает, что ответ на вопрос о причинах явления заключается не в принципиальных геолого-генетических отличиях процессов рудообразования в черносланцевом, с одной стороны, и несланцевом, с другой, субстрате, а в избирательном влиянии черносланцевой среды на физико-химическое состояние металлоносных растворов. Очевидно, дефицит березитов в апочерносланцевых метасоматических ореолах — следствие такого влияния. Причина может заключаться в том, что в черносланцевой среде необходимый для образования березитов кислотный режим растворов достигался лишь в отдельных струях общего потока, большей частью в ослабленном варианте. Слабокислый режим заполнявших трещины растворов обеспечивал осаждение кремнезема, но был недостаточен для образования березитов. Требуется дальнейшее исследование этого вопроса.

Таким образом, выполненная реконструкция структуры рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Сухой Лог обеспечила идентификацию его с пропилит-березитовой метасоматическими формациями. Это подчеркивает геолого-генетическую однородность месторождения с другими мезотермальными золотыми месторождениями «несланцевого» и «черносланцевого» типов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 1. Обзор петролого-геохимических исследований рудовмещающего субстрата // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 319. — № 1. — С. 35–41.
2. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в околорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 309. — № 2. — С. 23–30.
3. Кучеренко И.В. Петролого-геохимические свидетельства геолого-генетической однородности гидротермальных месторождений золота, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311. — № 1. — С. 25–35.
4. Плющев Е.В. Гидротермально-метасоматическое минералообразование как региональное геологическое явление и его металлогеническое значение // Геохимические методы при поисках скрытого оруденения. — М.: Наука, 1984. — С. 11–20.
5. Лавров Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Доклады Академии наук. — 2000. — Т. 371. — № 1. — С. 88–92.
6. Вилор Н.В., Казьмин Л.А. Физико-химическое моделирование метаморфогенного гидротермального золотого оруденения // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование / под ред. Я.Н. Белевцева. — Киев: Наукова думка, 1984. — С. 179–188.
7. Шер С.Д. Околорудные изменения, сопутствующие золото-кварцевым жилам в Ленском золотоносном районе // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании / под ред. Н.И. Наковника. — М.: Недра, 1966. — С. 282–291.
8. Коновалов И.В. Околорудная зональность одного золоторудного месторождения (Ленский район) // Геология и геофизика. — 1973. — № 1. — С. 123–125.
9. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов И.В. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. — Новосибирск: Наука, 1978. — 103 с.
10. Русинов В.Л., Русинова О.В., Кряжев С.Г. и др. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе // Геология рудных месторождений. — 2008. — Т. 50. — № 1. — С. 3–46.
11. Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионов Н.В. и др. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования аксессуарных минералов // Геология рудных месторождений. — 2011. — Т. 53. — № 1. — С. 32–64.
12. Русинов В.Л., Русинова О.В., Борисовский С.Е. и др. Состав метасоматических минералов золоторудного месторождения Сухой Лог как критерий его генетической связи с базит-гипербазитовым магматизмом // Доклады Академии наук. — 2005. — Т. 405. — № 5. — С. 661–665.
13. Развозжаева Э.А., Немеров В.К., Плотникова Л.П. Органическое вещество и геохимическая специализация углеродсодержащих пород Патомского нагорья // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. — Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1986. — С. 177–179.
14. Шер С.Д., Кондратенко А.К. О метаморфических преобразованиях пород южной части Ленского золотоносного района // Труды Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института. Вып. 48. — 1962. — С. 75–101.
15. Шмотов А.П. Тектонические деформации и сопряженные с ними гидротермально-метасоматические преобразования вмещающих пород (Ленский золотоносный район) // Доклады АН СССР. — 1974. — Т. 218. — № 1. — С. 178–181.
16. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 8. — С. 3–16.
17. Буряк В.А., Львова Н.А. О генезисе магнезиально-железистых карбонатов Ленского золотоносного района // Эндогенное оруденение Прибайкалья / под ред. М.М. Одинцова. — М.: Наука, 1969. — С. 46–62.
18. Намолов Е.А., Чиркова В.М. Типоморфные ассоциации и региональная минеральная зональность золото-кварцевых жил Бодайбинского рудного района // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири: Тез. докл. регион. научной конф. — Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1986. — С. 62–63.
19. Бородаевский Н.И., Шер С.Д. Об околорудных изменениях в месторождениях золота // Труды Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института. — 1967. — Вып. 76. — С. 113–126.
20. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu. Femophilic elements in wallrock metasomatites and in ores of mesothermal gold deposits — newsletter of mantle deep // International Journal of applied and fundamental research. — 2011. — № 1. — P. 37–43.
21. Русинов В.Л., Тронева Н.В. Железо-марганцевая фация околорудных безрезитов // Доклады АН СССР. — 1985. — Т. 280. — № 3. — С. 730–733.
22. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. — М.: Наука, 1982. — 104 с.
23. Коренбаум С.А. Типы метасоматических пород и принципы их фациального расчленения // Доклады АН СССР. — 1985. — Т. 280. — № 1. — С. 194–197.
24. Кучеренко И. В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 312. — № 1. — С. 11–20.
25. Кучеренко И.В. Гидродинамика трещинно-поровых породно-флюидных взаимодействий и механизм массопереноса в процессах околотрещинного гидротермального метасоматизма // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 11. — С. 37–43.
26. Кучеренко И. В. Концепция мезотермального рудообразования в золоторудных районах складчатых сооружений Южной Сибири // Известия Томского политехнического университета. — 2001. — Т. 304. — № 1. — С. 182–197.

Поступила 07.09.2011 г.