

3. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. — М.: Недра, 1982. — 256 с.
4. 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.
5. 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.
6. Laverov N., Chernyshev J., Chugaev A. et al. Geochronology and the Pb, Sr and Nd isotope signatures for crustal source of the Sukhoi Log Highland, Russia // Proc. Intern. Geol. Congress, Oslo, 6–14 Aug. 2008 г. — Oslo, 2008. — MRD 04217P. www.33.org.
7. 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. 308. — № 2. — С. 23–30.
8. Кучеренко И.В. Петрогеохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // Разведка и охрана недр. — 1986. — № 12. — С. 24–28.
9. Кучеренко И.В. Металлогения золота: приложение к мезотермальным месторождениям, образованным в несланцевом и черносланцевом субстрате горно-складчатых сооружений южной Сибири // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Матер. Междунар. конф., г. Томск, 5–8 окт. 2010 г. — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — С. 241–256.
10. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Новые данные о фемофильной специализации золотоносных березитов // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 315. — № 1. — С. 26–29.
11. 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.
12. 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.

Поступила 20.01.2012 г.

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН). Ч. 3. ГЕОХИМИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

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

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenco.o@sibmail.com

*ОАО «Первенец», г. Бодайбо

E-mail: MartynenkoVG@polyusgold.com

**ООО «Золото Евразии», г. Москва

Приведены данные о статистических параметрах распределения геохимических и металлогенических спутников золота и серебра в минеральных зонах рудовмещающего апочерносланцевого метасоматического ореола березит-пропилитового профиля на Западном участке месторождения Сухой Лог (Ленский район). Средние содержания металлов на уровне первых мг/т (Au), десятков мг/т (Ag) и дисперсия их распределения (стандартный множитель, стандартное отклонение) минимальны в доступных для изучения метасоматитах промежуточной хлоритовой и более тыловой альбитовой зон, не содержащих сульфидов. Упомянутые параметры распределения и Au/Ag-отношение существенно возрастают в сульфидизированных при рудообразовании метасоматитах обеих зон. Результаты обсуждаются в сравнении с аналогичными данными по другим золотым месторождениям, образованным в черносланцевом и кристаллическом субстрате.

Ключевые слова:

Месторождение Сухой Лог, черные сланцы, околорудные метасоматические, геохимические ореолы, березиты, пропилиты, золото, серебро.

Key words:

Sukhoi Log deposit, black shale rocks, metasomatic, geochemic haloes, beresites, propilites, gold, silver.

Введение

Многовариантные оценки разными авторами дорудной исходной золотоносности одних и тех же рудовмещающих толщ черных сланцев в золоторудных районах и в одних и тех же месторождениях, в том числе в месторождении Сухой Лог, в диапазоне от первых мг/т до первых ... многих г/т [1] давно актуализировали потребность понять

причины этого. Потребность определяется не только очевидной значимостью решения проблемы для совершенствования теории гидротермального рудообразования в аспекте уточнения представлений об источниках сосредоточенного в рудах профильного металла, но и соображениями прикладной (прогнозной) направленности, следующими из необходимости решения вопроса о повышенной

золотоносности черных сланцев как причине или следствии рудообразования. Поскольку речь идет об одних и тех же объектах, постольку явления конвергенции исключаются, а выводы приобрели статус противоречивых.

Объяснение этой сохраняющейся в течение более пятидесяти лет, а потому парадоксальной ситуации предложено в [2, 3]. Причина противоречий заключается в использовании многими авторами не адекватных цели исследования методов, не пригодных для реконструкции геологической истории химических элементов в горных породах, испытавших после седиментации преобразования при региональном метаморфизме и околорудном метасоматизме. В последние годы эффективность предложенных подходов петролого-геохимических исследований, призванных обеспечить корректное решение проблемы, подтверждена на многих золотых месторождениях, образованных в черных сланцах и кристаллическом субстрате [4].

Петрологическая составляющая этих исследований имеет целью дифференциацию минерального состава горных пород на ассоциации (комплексы), отвечающие этапу их образования и каждому этапу последующих преобразований. Это обеспечивает посредством формирования выборок возможности оценки статистических параметров распределения (средних, дисперсии) и расчета баланса металлов, то есть изменения их массы в единице объема, от этапа к этапу геологической эволюции вмещающей руды субстрата, в том числе, что особенно важно, регионально метаморфизованных до рудообразования черных сланцев. Такого рода исследования выполнены на Западном участке Сухого Лога и результаты приведены в [5].

В предшествующих статьях цикла [1, 5] также обращено внимание на то, что золотые месторождения, образованные в толщах углеродистых сланцев разного возраста, обладают признаками сходства с золотыми месторождениями, залегающими в кристаллическом субстрате и считающимися магматогенно-гидротермальными (мезотермальными), но и некоторыми особенностями, не свойственными последним. Перечисленные ниже черты сходства и различий обнаружены в месторождениях Когадыр (Южный Казахстан), Советском (Енисейский край), Центральном, Берикульском (Кузнецкий Алатау), Холбинском (Восточный Саян), Ирокиндинском, Кедровском, Каралонском, Уряхском (Северное Забайкалье), Сухоложском, Вернинском (Ленский район), Чертово Корыто (Патомское нагорье) и в ряде других той и другой совокупности. Месторождения образованы во временном диапазоне от позднего рифея (Советское) до позднего палеозоя (Ирокиндинское, Каралонское, Сухой Лог и другие). Знание этих признаков полезно в оценке корректности выполненного геохимического исследования [6].

С учетом сделанных замечаний обсуждаются результаты и формулируются выводы, приведенные в статье.

1. Признаки сходства и различий в золотых месторождениях, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате

К числу признаков сходства относятся:

- 1) тектонический контроль месторождений, выражающийся в образовании их в сфере деформационного воздействия глубинных разломов в геодинамических режимах коллизии активных континентальных окраин и в рифтовых структурах континентов на этапах активизации;
- 2) морфология рудных тел, представленных кварцевыми жилами, штокверками, минерализованными зонами и залежами жильно-прожилково-вкрапленных руд, определяемая конфигурацией и соотношениями зон высокой проницаемости для металлоносных растворов;
- 3) составы минеральных комплексов руд, последовательность, термодинамические и физико-химические режимы их образования, усложняемые в отдельных месторождениях лишь частными отклонениями от общей генерализованной схемы, обусловленными явлениями моноасцендентной и полиасцендентной минеральной зональности, количественными соотношениями участвующих в металлоносных растворах катионов, анионов, газов, фазовым состоянием растворов и другими подобными естественными в индивидуальных процессах флуктуациями, не связанными с принципиальными различиями в геолого-генетической сущности и обусловленности рудообразования;
- 4) участие в месторождениях околорудных (рудомещающих) метасоматических и геохимических ореолов, связанных с рудами единством процессов образования;
- 5) близкие к мантийным изотопные отношения ряда химических элементов с переменной валентностью — углерода керогена и карбонатов, кислорода карбонатов, серы сульфидов и других;
- 6) присутствие в месторождениях внутрирудных даек умеренно щелочных базальтоидов, выполняющих в горячем состоянии функцию тепловых флюидопроводников, превращенных среди слабо измененных пород в метасоматиты с участием типоморфных для них высокотемпературных биотита и/или роговой обманки и деформирующих чередующееся порционное внедрение в формирующиеся месторождения металлоносных растворов и умеренно щелочных базальтовых расплавов как следствие генетических связей рудообразования с базальтоидным магматизмом;
- 7) контрастные аномалии постоянно повторяющейся наряду с Au, As, Hg и другими металлами группы фемофильных элементов в околорудных метасоматитах, рудах и внутрирудных дайках — флюидопроводниках в составе P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn — вестников мантийных глубин, доказывающих генерацию металлоносных растворов в базальтовых очагах аномальной мантии.

Все эти факты удовлетворительно описываются базальтогенной концепцией рудообразования.

Особенности получивших статус метаморфогенно-гидротермальных золотых месторождений «черносланцевого» типа, очевидно, послужившие основанием для возникших в шестидесятых годах [7–9 и др.] на волне опровергнутых в восьмидесятые годы [10–12 и др.], но до сих пор популярных [13, 14 и др.] представлений о повышенной дорудной золотоносности исходных черных сланцев как необходимой предпосылке рудообразования, заключаются в следующем:

- 1) месторождения обладают крупными и уникальными, до многих сотен ... первых тысяч тонн запасами, но низкими, на уровне первых г/т, содержаниями золота против десятков ... первых сотен тонн, но с высокими, до десятков г/т, содержаниями металла в магматогенных месторождениях;
- 2) в отличие от умеренных по объемам зональных околорудных метасоматических ореолов, сложенных обычным сочетанием метасоматитов березитовой формации в тыловых зонах и пропилитовой формации на периферии, образованных в мезотермальных месторождениях среди кристаллических пород, руды и вмещающие их несопоставимо более крупнообъемные также зональные ореолы гидротермально измененных пород в месторождениях «черносланцевого» типа образованы, по мнению разработчиков метаморфогенно-гидротермальной концепции, в условиях регионального метаморфизма зеленосланцевой фации со сменой не минералогическими, а петрохимическими зонами метасоматических ореолов, а субфаций зеленосланцевой фации [15 и др.], по минеральному составу, как известно, аутентичных пропилитам; присутствие березитов при этом отрицается, как это ни странно, вопреки очевидным фактам [5];
- 3) кварц-пирит-серицит-анкеритовые породы – березиты, производные калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма [16], в том числе с контрастными аномалиями феофильных элементов [6], присутствуют в апочерносланцевых метасоматических ореолах обычно эпизодически, часто с участием минерала смежной зоны альбита, в маломощных (до десятков см) зонах полного или частичного окисления углерода керогена и перевода его в карбонатную форму, сопровождаемого осветлением пород, но в метасоматических колонках некоторых месторождений слагают в полнопроявленном составе тыловую зону с присущими им минералогическими и геохимическими типовыми чертами [4];
- 4) весьма крупнообъемные ореолы гидротермально измененных черных сланцев в обрамлении оконтуренных внутри них также крупнообъемных залежей жильно-прожилково-вкрапленных руд мощностью до многих десятков метров и до первых км по протяженности (Главная зал-

ежь Сухого Лога) сложены хлорит (эпидот)-альбит-серицит-кварц-карбонатно-сульфидными комплексами; как правило, в крупных и уникальных месторождениях обозначенные комплексы выходят за пределы контуров площадей разведочных работ и типовые минералы, образованные на дорудных этапах регионального метаморфизма нагревания биотит и роговая обманка, знаменующие переход во фронтальную зону более слабых изменений околорудных ореолов, фиксируются только за пределами разведочных полигонов; напротив, внутри метасоматических ореолов исчезновение хлорита, а иногда альбита по причине усиления метасоматических преобразований сланцев и означающее согласно типовой универсальной схеме минералогическо-петрохимической зональности околорудных метасоматических ореолов в кристаллическом и черносланцевом субстрате [4] переход от промежуточной хлоритовой зоны к более тыловым альбитовой и далее березитовой зонам, сопровождается усилением золотоносности пород и трансформацией их в руды; это зафиксировано, например, при изучении крупнотоннажных технологических проб Сухого Лога [17];

- 5) зальбанды большинства золотоносных кварцевых жил и прожилков, представляющих результат переотложения при инверсии щелочного режима растворов в кислотный экстрагированного из пород тыловых зон ореолов кремнезема при их березитизации (до 50 об. % от его массы в исходных кристаллических породах и черных сланцах), — явлении, не характерном для пропилитизации и регионального метаморфизма дегидратации, не осветлены, следовательно, их образование не сопровождается окислением углерода керогена.

Некоторые из перечисленных особенностей рудообразования в черных сланцах объяснимы вполне очевидными причинами, другие требуют дополнительных исследований.

Нередкие гигантские размеры рудных тел и сопровождающих метасоматических ореолов в черных сланцах в отличие от массивных кристаллических пород определяются высокой проницаемостью для поступающих металлоносных растворов черносланцевых толщ и, как следствие, проникновение их в обширные объемы пород, разделение общего потока металлоносных растворов по разломам на множество струй, формирующих разномастные рудно-минерализованные зоны согласно их каркасу, масштабам и соподчиненности. Неизбежное при этом разубоживание растворов вследствие смешения их с повышенными объемами метеорных вод влечет итоговые низкие содержания металла. Вероятно, не происходит многократного повторения путей движения последовательных порций растворов и концентрирования руд, в отличие от локальных менее многочисленных путей движения растворов в кристаллических породах.

Дефицит в последних растворораспределяющих и рудовмещающих разломах может рассматриваться как причина излияния «излишков» металлоносных растворов из раствороподводящих каналов — глубинных разломов, выходящих на дневную поверхность и, как следствие, относительно малых запасов руд.

Отрицание в апочерносланцевых метасоматических ореолах метасоматитов березитовой формации — это нонсенс, обусловленный либо неосведомленностью, либо нежеланием замечать «неудобные» факты в режиме популярной ныне «мягкой» дискуссии. В Сухом Логу, в частности, березиты установлены профессионалами еще в начальный период изучения месторождения в шестидесятых — семидесятых годах прошлого столетия и с учетом результатов предшественников для месторождения реконструирована полнопроявленная крупнообъемная отвечающая универсальной типовой [4] зональная метасоматическая колонка с метасоматитами березитовой формации в тыловых зонах и пропиловитовой — в периферийных [5]. В соответствии с достигнутым результатом некорректно идентифицировать минеральные зоны околорудно измененных пород Сухого Лога с субфациями регионального метаморфизма зеленосланцевой фации, — мы имеем здесь дело с минеральными зонами сочетающихся березитовой и пропиловитовой метасоматических формаций подобно аутентичной ситуации в других мезотермальных месторождениях «несланцевого» и «черносланцевого» типов.

Отсутствие признаков осветления черных сланцев в зальбандах большинства золотоносных кварцевых жил и прожилков требует дополнительного исследования и подчеркивает специфическое влияние черносланцевой среды на взаимодействие растворов со сланцами, что подтверждается образованием полнопроявленных светлосерых березитов в обрамлении других золотоносных кварцевых жил, залегающих в одном и том же месторождении, но среди кристаллических пород, например, гранитов. Очевидным в данном случае представляется то, что заполнявшие трещины и разломы насыщенные растворенным кремнеземом растворы в момент инверсии в кислотный режим были восстановленными, не способными окислять углерод керогена, чему, также очевидно, способствовало обилие последнего в породах.

Ранее, по совокупности фактов и факторов сделан вывод о геолого-генетической однородности золотых месторождений, образованных в «несланцевом» и «черносланцевом» субстрате в результате аутентичных по геологической обусловленности, физико-химической и термодинамической сущности процессов в рамках становления антидромных гранит-диорит-долеритовых магматических комплексов в стандартных геодинамических режимах коллизии и активизации внутриконтинентальных рифтовых структур [6].

2. Методика исследования

Ведущие черты геологического строения Западного участка месторождения Сухой Лог приведены в [5]. Напомним, что вмещающая рудно-минерализованные зоны черносланцевая толща сложена породами двух свит позднего рифея, — на верхних горизонтах углеродистыми терригенно-карбонатными филлитовидными сланцами в тонком переслаивании с алевросланцами, песчано-алевросланцами имнянской свиты, на нижних горизонтах — углеродистыми, но существенно терригенными аутентичными по минеральному и гранулометрическому составу сланцами хомолхинской свиты.

Породы структурированы по минеральному составу. Разноразмерная обломочная фракция этапа седиментации алевролитов и тонко-мелкозернистых песчаников представлена кварцем с незначительной (до 10...20 об. %) примесью полевых шпатов в обычно слабо окатанных обломках с проявленными в разной, в том числе значительной, степени признаками коррозии и перекристаллизации на этапах регионального метаморфизма нагревания, охватившего толщу в позднем рифее — венде, и околорудного метасоматизма в позднем палеозое. Вероятный глинистый и глинисто-карбонатный субстрат цемента псаммитов и основной массы филлитов полностью раскристаллизован, — рудовмещающая толща расположена в обширной периферийной наиболее низкотемпературной зоне ареала регионального метаморфизма, содержащей мусковит-биотитовый с турмалином метаморфический парагенезис. Органическое вещество преобразовано в кероген. На этапе околорудного метасоматизма образован крупнообъемный зональный метасоматический ореол, во вскрытом скважинами объеме Западного участка сложный промежуточный хлоритовой и смежной более тыловой альбитовой минералого-петрохимическими зонами, чередующимися в поперечном разрезе ореола и описанными в [5].

Пробы горных пород массой до 300 г для анализов содержаний золота и его геохимического и металлогенического спутника серебра отбирались из штучных образцов керна с учетом перечисленных обстоятельств. В составе каждой пробы участвуют упомянутые тонко переслаивающиеся (мм) литотипы от филлитов (аргиллитов) до мелкозернистых полевошпат-кварцевых песчаников, разного рода прожилки исключались. Материал каждой пробы обрабатывался (дробился, истирался) с предосторожностями, исключавшими или сводившими к минимуму заражение материалом других проб.

Выборки для статистических расчетов параметров распределения металлов формировались в соответствии с принятой [2] и апробированной на многих золотых месторождениях [3, 4] методологией петролого-геохимических исследований. Каждая выборка объединяет результаты анализов без

дифференциации по литотипам пород вследствие сложного тонкого их переслаивания, и по зонам регионального метаморфизма, поскольку весь окорудный (рудовмещающий) метасоматический ореол расположен в одной мусковит-биотитовой зоне регионального метаморфизма. Вместе с тем, каждая выборка представляет одну из двух (хлоритовую и альбитовую) вскрытых в той и другой свите минералого-петрохимических зон метасоматического ореола, а в объеме каждой зоны — подзоны, выделяемые по степени сульфидизации пород, контролируемой высокопроницаемыми для металлоносных растворов структурами — тектоническими швами и зонами рассланцевания.

3. Результаты исследования

Напомним, что увеличение массы сульфидов в породах в хлоритовой и альбитовой зонах сопровождается усилением степени их преобразований с трансформацией цемента-обломочной структуры относительно слабо гидротермально измененных на этапах регионального метаморфизма нагревания и окорудного метасоматизма бессульфидных сланцев в лепидогранобластовую структуру сульфидизированных апосланцевых метасоматитов [5]. С учетом данных предшественников [9, 10, 15, 17 и др.] о высокой золотонности сульфидов Сухого Лога (пирита, халькопирита и других) сформулированное и учтенное при формировании выборок для статистических расчетов предположение о существенно отличной золотонности черных сланцев, — бессульфидных и обогащенных сульфидами на этапе рудообразования в секущих породах обоих рудовмещающих свит зонах высокой проницаемости подтвердилось аналитическими данными (таблица).

Распределение металлов в апосланцевом метасоматическом ореоле, образованном в сланцах обеих свит, не подчиняется нормальному закону, но не противоречит логнормальному, поэтому в оценке распределения учитываются средние геометрические содержания и стандартный множитель. Средние арифметические содержания и стандартное отклонение приведены для сравнения.

Содержания золота и серебра в бессульфидных сланцах хлоритовой и альбитовой зон метасоматического ореола в объеме хомолхинской и имняхской свит минимальны и укладываются в интервалы (мг/т) 2,7...5,4, 26,9...64,3 соответственно. О сравнительно невысокой неравномерности распределения металлов в бессульфидной подзоне хлоритовой и альбитовой зон свидетельствуют значения стандартного множителя, диапазон изменения которого от выборки к выборке не выходит за пределы 1,4...2,0 (Au), 1,3...1,8 (Ag). Вывод в основном согласуется с величиной стандартного отклонения содержаний металлов, в большинстве выборок не превышающей 20...30 % от среднего арифметического. Лишь в одной бессульфидной подзоне альбитовой зоны в имняхской свите стандартное отклонение содержаний золота достигает 80 % от среднего арифметического при максимальном стандартном множителе 2,0, а серебра — 50 % при максимальном стандартном множителе 1,8.

В бессульфидной подзоне обеих зон и свит минимальны и не значимы величины коэффициента линейной корреляции между золотом и серебром, а также Au-Ag-отношение, отвечающее отличным по порядку кларковым содержаниям в породах того и другого металла.

В сульфидной подзоне хлоритовой и альбитовой зон в обеих свитах содержания металлов еди-

Таблица. Оценка параметров распределения золота и серебра в минеральных зонах апосланцевого рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Сухой Лог (Западный участок)

Элементы	Параметры распределения	Исходные рудовмещающие горные породы							
		Углеродистые терригенные филлиты, алевросланцы, песчано-алевросланцы хомолхинской свиты				Углеродистые терригенно-карбонатные филлиты с подчиненным участием алевросланцев, песчано-алевросланцев имняхской свиты			
		Минеральные зоны и подзоны							
		Хлоритовая		Альбитовая		Хлоритовая		Альбитовая	
		Без сульфидов (5)	С сульфидами (14)	Без сульфидов (11)	С сульфидами (17)	Без сульфидов (19)	С сульфидами (6)	Без сульфидов (11)	С сульфидами (10)
Au	$\bar{x}(\bar{x})$	5,4(6,0)	22,6(37,2)	2,7(2,9)	10,9(17,4)	3,4(3,5)	10,1(10,3)	3,9(5,0)	20,9(35,3)
	$t(s)$	1,8(2,4)	2,6(47,6)	1,4(1,1)	2,6(19,2)	1,4(1,3)	1,2(2,4)	2,0(4,3)	2,7(49,0)
Ag	$\bar{x}(\bar{x})$	64,3(68,0)	142,8(179,9)	39,1(40,6)	79,4(84,6)	26,9(28,3)	40,3(45,7)	29,1(33,5)	63,2(65,6)
	$t(s)$	1,5(23,4)	1,9(150,0)	1,3(11,9)	1,4(33,8)	1,4(8,9)	1,7(23,8)	1,8(19,8)	1,3(20,2)
	$r(\text{Au-Ag})$	-0,1	0,4	-0,3	0,1	-0,01	0,5	0,2	0,4
	Au/Ag	0,08	0,16	0,07	0,14	0,13	0,25	0,13	0,33

Примечание. $\bar{x}(\bar{x})$ — среднее соответственно геометрическое и арифметическое (в скобках) содержание, мг/т; t — стандартный множитель; s — стандартное отклонение содержаний, мг/т; r — коэффициент парной линейной корреляции элементов. Содержание металлов определялось по методу атомной абсорбции, чувствительность 0,1 мг/т, в лицензированной и аккредитованной лаборатории ядерно-физических методов анализа вещества Аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, аналитики В.Г. Цимбаист и В.Н. Ильина.

нообразно существенно возрастают, однако при незначительном увеличении, за исключением сульфидной подзоны альбитовой зоны в имняхской свите, степени неравномерности их распределения. Корреляционные связи между металлами сравнительно с бессульфидной подзоной обеих зон усилены, но не достигают уровня значимости, что скорее обусловлено относительно небольшим числом проб в выборках. Устойчиво во всех сульфидных подзонах существенно увеличивается Au-Ag-отношение.

4. Обсуждение результатов и выводы

Для корректного анализа и интерпретации результатов геохимического исследования имеют значение следующие факты:

- каждая выборка для статистических расчетов включает пробы для анализов, отобранные во всем вскрытом скважинами объеме междурудного и околорудного пространства Западного участка месторождения Сухой Лог;
- материал каждой пробы представлен аутентичными по структуре и минеральному составу переслаивающимися тонкозернистыми от филлитов до алевролитов и мелкозернистыми терригенными и терригенно-карбонатными сланцев породами;
- рудовмещающий и околорудный метасоматический ореол образован в объеме одной минеральной мусковит-биотитовой зоны ареала зонального регионального метаморфизма;
- порядок метасоматической минеральной зональности в междурудном, околорудном пространстве отвечает типовой схеме метасоматической колонки пропилит-березитового профиля [4] в средней ее части, представленной смежной с фронтальной более тыловой хлоритовой зоной и смежной с последней более тыловой альбитовой зоной, сменяемой, в свою очередь, тыловой березитовой зоной;
- интенсивность метасоматических преобразований сланцев в хлоритовой и альбитовой зонах прямо коррелирует со степенью их сульфидизации; это выражается в усилении перекристаллизации пород, утрате ими цементно-обломочной структуры — трансформации ее в лепидогранобластовую, полном замещении хлорита на границе хлоритовой и альбитовой зон;
- сульфидная в основной массе и жильно-прожилково-кварцевая минерализация, включающая наряду с диагностируемыми в оптическом диапазоне длин волн минералами несколько десятков минералов в микрозернах с размерами от долей до первых мкм, контролируется зонами повышенной проницаемости — разрывными структурами дробления и рассланцевания, согласными слоистости и секущими ее и сланцеватостью, переходящими из пород одной свиты в породы другой; она формируется в разноразмерных объемах минерализованных зон рудные зоны, сложенные жильными и прожилково-вкрапленными рудами.

Из перечисленных фактов следует вывод, согласно которому сульфидизация и окварцевание в форме жил и прожилков в минерализованных зонах происходили не на этапах седиментации и регионального метаморфизма, а в процессе и результате непосредственно предшествовавшего рудообразованию и сопровождавшего его околорудного метасоматизма. Этот вывод подтверждают приведенные данные геохимического исследования.

Распределение металлов в междурудном, околорудном пространстве месторождения Сухой Лог согласуется с таковым в ряде других, квалифицируемых по совокупности фактов как мезотермальные, золотых месторождения Северного Забайкалья, Ленского района и Патомского нагорья, образованных в кристаллическом субстрате и в мощных толщах черных сланцев.

К числу первых относятся Ирокиндинское, Западное, Кедровское месторождения, локализованные соответственно в ультраметаморфитах Муйского выступа архейского фундамента Сибирской платформы, позднепалеозойских долеритах, кварцевых диоритах позднепалеозойской очагово-купольной постройки. Группа изученных месторождений «черносланцевого» типа включает Кедровское в позднерифейской кедровской, Каралонское в позднерифейской водораздельной, Чертово Корято в раннепротерозойской михайловской, Вернинское в позднерифейской аунакитской свитах.

Во всех перечисленных объектах, а также в слабо минерализованных черных сланцах позднерифейской мухтунной свиты единообразно повторяется типовая структура (минералого-петрохимическая зональность) околорудных метасоматических ореолов березит-пропилитового профиля [4, 18], которой следует минералого-петрохимическая зональность метасоматического ореола Сухого Лога [5]. В каждом месторождении среди разнообразного вмещающего руды субстрата распределение металлов в междурудном, околорудном пространстве подчиняется минералого-петрохимической метасоматической зональности. Это доказывается совокупностью фактов.

Околорудные геохимические ореолы всегда занимают меньшие объемы сравнительно с околорудными метасоматическими, а контрастные аномалии металлов в них всегда тяготеют к тыловой березитовой зоне наиболее интенсивных преобразований пород. Содержания металлов здесь прямо коррелируют с содержаниями их в смежных объемах золоторудных кварцевых жил и минерализованных рудных зон. В смежной с березитовой альбитовой минералого-петрохимической зоне содержания металлов существенно снижаются вплоть до первых...многих мг/т, а во фронтальной минералого-петрохимической зоне околорудных метасоматических ореолов и за их пределами отвечают местным кларкам (0,5...2,0 мг/т). Такое распределение обусловлено диффузионным механизмом массопереноса при рудообразовании петрогенных и рудогенных элементов из обогащенных ими по-

ступавших извне и заполнявших разломно-трещинные структуры металлоносных растворов в поровые растворы вмещающих пород [19]. Усложнение в распределение металлов вносят золотоносные сульфиды, отложенные на этапе рудообразования не только в тыловых альбитовой и березитовой зонах в условиях диффузии, но иногда, особенно в интенсивно трещиноватых сланцевых толщах, и в породах удаленной от раствороподводящих каналов промежуточной хлоритовой зоны вдоль трещинных структур повышенной проницаемости вследствие фильтрации потока металлоносных растворов. В случае реализации фильтрационного механизма массопереноса общая золотоносность пород возрастает.

Синхронно изменяются другие статистические параметры распределения металлов, — от одной минералого-петрохимической зоны к другой в направлении к фронтальной снижается дисперсия их распределения, сила корреляционных связей золота с серебром, уменьшается Au-Ag-отношение от значений в березитах, сопоставимых с таковыми в рудах (0,5...1,5), до отвечающих кларковым в исходных породах, различающимся по содержанию Au и Ag на порядок (сотые доли). Все эти факты доказывают образование в каждом месторождении околорудных метасоматических, геохимических ореолов и руд в ходе и результате одного гидротермального, в том числе рудообразующего процесса.

Как это следует из приведенных фактов (таблица), месторождение-гигант Сухой Лог из совокупности других, в том числе вполне рядовых месторождений золота, по петролого-геохимическим данным не составляет исключения.

Содержания золота и серебра в бессульфидных углеродистых сланцах промежуточных хлоритовой и альбитовой минералого-петрохимических зон образованного в обеих свитах околорудного, рудовмещающего метасоматического ореола месторождения сопоставимы с содержаниями металлов в одноименных зонах околорудных метасоматических ореолов других месторождений независимо от минералого-химического состава рудовмещающего субстрата, будучи равными кларковым или

превышая кларковые в черных сланцах Ленского и других районов (2...5 мг/т золота [10, 12]) на 1...3 мг/т (Au) и первые десятки мг/т (Ag). Поэтому, ранние оценки исходной (дорудной) золотоносности рудовмещающих черных сланцев Сухого Лога на уровнях десятков мг/т ... первых г/т [7–9] или сохраняющиеся до сих пор представления о повышенных...высоких содержаниях золота, приобретенных черными сланцами до начала рудообразования [14, 15], следует считать ошибочными. Очевидно, повышенная золотоносность рудовмещающих гидротермально измененных черных сланцев в Сухом Логу имеет рудогенное происхождение, то есть представляет следствие рудообразования. Этот вывод подчеркивается существенным возрастанием содержаний металлов, увеличением дисперсии их распределения и Au-Ag-отношения с усилением интенсивности метасоматических преобразований сланцев, сопровождаемых их сульфидизацией.

Сухой Лог по обсуждаемым петролого-геохимическим показателям повторяет также соседнее Вернинское месторождение [20].

С учетом приведенных выше фактов — признаков сходства месторождений «черносланцевого» типа с образованными в кристаллическом субстрате, при том, что различия между месторождениями обеих совокупностей обусловлены всего лишь специфическим влиянием на взаимодействие металлоносных растворов и пород среды рудообразования, но не принципиальными различиями в его геолого-генетической сущности — следствии обусловленности (инициирования) рудообразования разными геологическими процессами, формулируется вывод о принадлежности месторождения Сухой Лог, как и других обсуждаемых месторождений, к магматогенным мезотермальным, генетически связанным с умеренно щелочным базальтовым магматизмом, завершающим становление антидромных гранит-диорит-долеритовых магматических комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию. 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., Верхоzin А.В. Петролого-геохимические черты оклорудного 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. Петрогеохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // Разведка и охрана недр. — 1986. — № 12. — С. 24–28.
3. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в оклорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308. — № 2. — С. 23–30.
4. 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.
5. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхоzin А.В. Петролого-геохимические черты оклорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология оклорудного метасоматизма // Известия Томского политехнического университета. — 2012. — Т. 320. — № 1. — С. 28–37.
6. Кучеренко И.В. Металлогения золота: приложение к мезотермальным месторождениям, образованным в несланцевом и черносланцевом субстрате горно-складчатых сооружений южной Сибири // Современные проблемы геологии и развед-

- ки полезных ископаемых: Матер. Междунаро-
дн. конф., посвящ. 80-летию основания в Томском политехническом уни-
верситете первой в азиатской части России кафедры «Разве-
дочное дело», г. Томск, 5–8 окт. 2010 г. – Томск: Изд-во ТПУ,
2010. – С. 241–256.
7. Гапон А.Е., Гапеева М.М. Закономерности локализации золо-
торудных узлов в южной части Патомского нагорья // Доклады
АН СССР. – 1969. – Т. 185. – № 2. – С. 408–411.
 8. Коткин В.В. Роль литологического фактора в размещении зо-
лоторудных проявлений в Центральной части Ленской про-
винции // Вопросы геологии месторождений золота Сибири /
под ред. Ф.Н. Шахова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1968. –
С. 107–108.
 9. Буряк В.А. О золотоносности осадочных толщ и поведение
в них золота в процессе метаморфизма и гранитизации // Гео-
логия и геофизика. – 1978. – № 6. – С. 142–146.
 10. Буряк В.А. Состояние и основные нерешенные вопросы тео-
рии метаморфогенного рудообразования // Региональный ме-
таморфизм и метаморфогенное рудообразование / под ред.
Я.Н. Белевцева. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 43–50.
 11. Шилов Н.А., Гончаров В.И., Воробьев В.В. и др. К соотноше-
нию метаморфогенного и магматогенного гидротермального
минералообразования в золоторудных районах Северо-Восто-
ка СССР // Критерии отличия метаморфогенных и магмато-
генных гидротермальных месторождений. – Новосибирск:
Наука, 1985. – С. 30–42.
 12. Горжевский Д.И., Зверева Е.А., Ганжа Г.Б. Углеродсодержащие
терригенные формации с золото-сульфидным оруденением // *Советская геология*. – 1988. – № 9. – С. 113–121.
 13. Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu. Metallo-
geny of gold deposits of China // *Geology and Resources*. – 2004. –
V. 13. – № 4. – P. 246–250.
 14. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., et al. Multistage sedimen-
tary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi
Log deposit, Lena gold province, Russia // *Economic Geology*. –
2007. – V. 102. – № 7. – P. 1233–1267.
 15. Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионов Н.В. и др. Соотноше-
ние процессов метаморфизма и рудообразования на золотом
черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-
Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов
// *Геология рудных месторождений*. – 2011. – Т. 53. – № 1. –
С. 32–64.
 16. Бородаевский Н.И., Шер С.Д. Об околорудных изменениях
в месторождениях золота // *Труды Центрального научно-ис-
следовательского геологоразведочного института*. – 1967. –
Вып. 76. – С. 113–126.
 17. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические осо-
бенности руд месторождения Сухой Лог // *Разведка и охрана
недр*. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
 18. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхо-
зин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего
метасоматического ореола золоторудного месторождения Чер-
тово Корыто (Патомское нагорье) // *Известия Томского поли-
технического университета*. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.
 19. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхо-
зин А.В. Гидродинамика трещинно-порowych флюидно-пород-
ных взаимодействий и механизм массопереноса в процессах
околотрещинного гидротермального метасоматизма // *Развед-
ка и охрана недр*. – 2010. – № 11. – С. 37–43.
 20. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхо-
зин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного мета-
соматизма в Вернинском золоторудном месторождении (Лен-
ский район) // *Известия Томского политехнического универ-
ситета*. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 22–33.

Поступила 01.06.2012 г.