

6. Beard B.L., Glazner A.F. Trace elements and Sr and Nd isotopic composition of mantle xenoliths from the Big Pine volcanic field, California // *Journal of Geophysical Research*. – 1995. – V. 100. – № 8. – P. 4169–4179.
7. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // *Chemical Geology*. – 1977. – V. 20. – № 3. – P. 325–343.
8. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Journal of Petrology*. – 1984. – V. 25. – № 8. – P. 956–983.
9. Piercey S.J., Peter J.M., Mortensen J.K., Paradis S., Murphy D.C., Tucker T.L. Petrology and U-Pb Geochronology of Footwall Porphyritic Rhyolites from the Wolverine Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Yukon, Canada: Implications for the genesis of Massive Sulfide Deposits in Continental Environments // *Economic Geology*. – 2008. – V. 103. – № 1. – P. 5 – 33.
10. Pearce J.F. A user's guide to basalt discrimination diagrams // *Geological Association of Canada Short Course Notes*. – 1996. – V. 12. – № 1. – P. 79–113.
11. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Стучевский Н.И. и др. Большой Алтай: (геология и металлогения). В 3 книгах. Кн. 2. Металлогения. – Алматы: Еылым, 2000. – 400 с.
12. Туркин Ю.А., Федак С.И. Особенности локализации и геодинамическая позиция полиметаллического оруденения Рудного Алтая // *Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Матер. научной конф.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 115–119.
13. Dube B., Gosselin P., Hannington M., Galley A. Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits // *Geology Survey Canada*. – 2006. – V. 100. – № 1. – P. 23–37.

Поступила 06.10.2010 г.

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН). Ч. 1. ОБЗОР ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО СУБСТРАТА

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

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenco.o@sibmail.com

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: Martynenko VG@polyusgold.com

В первой части статьи, состоящей из трех частей, приведены многовариантные результаты полувековых петрологических и геохимических исследований рудовмещающих черносланцевых толщ Сухого Лога – следствие использования неадекватных методов. Обращено внимание на целесообразность применения апробированных в других районах подходов и методов корректного решения проблемных вопросов.

Во второй части приведены результаты петрологических, в третьей – геохимических исследований и их обсуждение.

Ключевые слова:

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

Key words:

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

Постановка задачи

Происхождение крупнейшего в России поздне-палеозойского золоторудного месторождения Сухой Лог, образованного в позднерифейской толще углеродистых карбонатно-терригенных сланцев, как, впрочем, и других подобных месторождений «черносланцевого типа», представляет предмет многолетней дискуссии. К числу ключевых проблемных вопросов относятся два: об источниках сосредоточенного в рудах золота и о роли процессов седиментации, регионального метаморфизма и магматизма в формировании золотоносности (металлоносности) рудовмещающего субстрата, а последних двух процессов – и в иницировании гидротермального рудообразования

Сосуществование конкурирующих в течение многих лет четырех с вариантами гипотез образования месторождения, предполагающих генера-

цию металлоносных растворов в гранитных или базальтовых магматических очагах, экстракцию золота из пород метаморфогенными или магматогенными флюидами, ступенчатое накопление золота на этапах функционирования сменявших один другой геологических процессов, имеет свои причины.

Представляется очевидным то, что применяемые до сих пор методы исследований – реконструкции рудообразования в черных сланцах не обеспечивают получение корректных результатов. Чтобы понять причины этого, требуется изучать и анализировать накопленный опыт, в том числе и прежде всего с негативными результатами, с тем, чтобы корректировать известные, разрабатывать и апробировать новые подходы и новые методы. В отсутствие в прошлом, сейчас и в обозримом будущем прямых критериев диагностики происхож-

дения золота в рудах это представляется рациональным путем накопления нового достоверного знания для дальнейшего совершенствования теории гидротермального рудообразования и прогнозно-поисковых критериев золотого оруденения. В частности, одним из прикладных следствий последовательного решения проблемных вопросов может быть выяснение способов оценки перспектив черносланцевых толщ с повышенными или субкларковыми дорудными содержаниями золота на промышленное оруденение и локализации с учетом этого площадей для поисков.

К выполнению предложенной работы один из авторов приступил четверть века назад. Геохимический метод оценки золотоносности (металлоносности) рудовмещающего субстрата, в том числе черносланцевого, был трансформирован в петролого-геохимический с предварительной реконструкцией геологической истории горных пород и последующими расчетами статистических параметров распределения и баланса рудогенных элементов в окорудном пространстве рудоносных площадей. Получены корректные результаты, раскрывающие природу золотоносности горных пород, включая черные сланцы. Сухой Лог – очередной объект в попытках решения проблемных вопросов с использованием метода петролого-геохимических исследований.

В первой части статьи дан обзор состояния проблемы петрологии и золотоносности вмещающих рудные тела Сухого Лога и других месторождений черносланцевых толщ. Во второй части приведены результаты изучения петрологии вмещающего Западную залежь Сухого Лога субстрата, в третьей – оригинальные геохимические данные и обсуждаются геохимические черты сланцев, а также сформулированы общие выводы.

Состояние проблемы петрологии черносланцевых толщ

Метасоматические преобразования рудовмещающих сланцев Ленского района, в том числе в месторождении Сухой Лог, с большей или меньшей полнотой описаны в ряде работ, начиная с шестидесятых годов [1–13].

Согласно С.Д. Шеру и А.К. Кондратенко [1, 2], исходные зеленые полимиктовые песчаники сложены зернами кварца (40...50 %), олигоклаза (15...20 %), буровато-зеленой роговой обманки, эпидота, чешуйками хлорита (в сумме 10...15 %), мусковита, обломками горных пород, сцементированных (цемента 10..15 %) более мелкозернистым агрегатом серицита, хлорита, минералов эпидотовой группы при участии тонкой вкрапленности пирротина. На периферии ореолов наиболее проявлены замещение серицитом хлорита и альбитизация плагиоклазов. Усиление преобразований пород в выделяемых авторами менее удаленных от оруденения зонах слабого и интенсивного изменения сопровождается полным замещением плагиоклазов и хлорита серицитом. Вблизи рудных зон

изменение песчаников выражается в осветлении, перекристаллизации обломков, в интенсивной серицитизации и пиритизации, в образовании многочисленных метакристаллов анкерита и более крупных порфиروبластов – ромбоэдров сидерита. Характерны более широкие ореолы пиритизации сравнительно с ореолами карбонатизации.

По усредненным петрохимическим данным процесс характеризуется поступлением калия и углекислоты, удалением из пород кремнезема и натрия. Значимой миграции других компонентов не происходит, отмечает С.Д. Шер [2], квалифицируя процесс как лиственитизацию.

И.В. Коновалов [3] при анализе метасоматической колонки, образованной также в полимиктовом песчанике около кварцевой жилы одного из месторождений Ленского района, выделил несколько метасоматических зон. Почти неизменная порода сложена кварцем, андезином, микроклином, роговой обманкой, эпидотом, хлоритом, альбитом, серицитом, доломитом, сидеритом и представляет внешнюю зону метасоматического ореола. Породы двух промежуточных зон содержат следующие минералы:

Зона 1: серицит + кварц + альбит + доломит + пистомезит; исходные андезин + микроклин;

Зона 2: серицит + кварц + альбит + анкерит + пистомезит; исходные андезин

Тыловая зона полиминеральна и состоит из агрегата серицита, кварца, кальцита, анкерита. Очевидно, по недоразумению не указан пирит, обычно присутствующий в окорудном пространстве. В процессе изменений в расчете на 100 см³ породы вынесены кремнезем (19 г), окись натрия (1,06 г), но привнесены окись калия (2,06 г) и углекислота (13,37 г), что согласуется с выводами С.Д. Шера [2].

В рудном поле Сухой Лог песчано-сланцы, алевро-сланцы рудовмещающих догалдынской и хомолхинской свит в биотитовой зоне регионального метаморфизма, то есть на дальней периферии обрамляющих рудоносные структуры метасоматических ореолов, состоят из обломков и цемента в разных соотношениях и сложены кварцем (до 60 %), полевыми шпатами, хлоритизированным биотитом, эпидотом, серицитом, мусковитом, кальцитом, доломитом, углистым веществом с примесью аксессуарных циркона, сфена, рутила, апатита, магнетита, пирита [4, 5]. Согласно А.П. Шмотову, в направлении к рудным зонам в интервале 0,0...3,0 м от них в породах увеличивается количество серицита, углистого вещества, появляются метакристаллы карбонатов. В рудных зонах чередуются тонкосланцевые метасоматиты, состоящие в основном из серицита, углистого вещества и включающие крупные (до 5 мм) удлиненные пламенивидные порфиробласты и гнездовые скопления железистого карбоната и прожилки, гнезда пирита в ассоциации с кварцем, с массивными метасоматитами, состоящими на 80 % из кварца, серицита, альбита, хлорита при участии скоплений доломита, железистого карбоната, пи-

рита. Кварцевые прожилки имеют нередко расплывчатые контакты, в них прослеживается продолжение поверхностей сланцеватости по положению чешуек серицита в кварце, что свидетельствует о метасоматическом происхождении прожилков. Метакристаллы и скопления карбонатов содержат реликты сланцев. Согласно приведенным данным, тыловая зона метасоматического ореола включает комплекс: серицит + кварц + Mg-Fe-карбонаты + пирит, а с учетом данных химических анализов – рутил (лейкоксен) + апатит. Подчеркивается, что рутил в метасоматитах образует концентрические каемки вокруг бутиноподобных скоплений кварца, карбонатов, а в массивных метасоматитах – и хлорита.

Из сравнения данных химических анализов следует, что кремнезем и известь частично удалялись из песчаников, участвуя в сложении кварцевых и кальцитовых жил и прожилков. Образование Mg-Fe-карбонатов обеспечивалось за счет высвобождения из исходных минералов магния и железа, щелочи перераспределялись при возрастании содержания калия в минерализованных зонах.

Со своей стороны добавим, что и без петрохимических пересчетов здесь следует констатировать привнос в измененные песчаники Al_2O_3 , CO_2 , TiO_2 (вдвое и в четыре раза), перераспределение железа в пользу закисного при значительном увеличении общей его массы в апопесчаниковых метасоматитах хомолхинской свиты. Устойчивое увеличение содержания магния (вдвое и в пять раз) подчеркивает справедливость вывода В.А. Бурыка и Н.А. Львовой [6] о том, что образование в районе наблюдаемого значительного количества Mg-Fe-карбонатов, – метаморфогенно-гидротермальных, по мнению этих авторов, за счет внутренних ресурсов пород без привноса Mg и Fe невозможно. Неоднозначно поведение фосфора, конституционной воды. А.П. Шмотов [4] квалифицирует процесс как березитизацию – лиственитизацию. С учетом приведенных данных предполагается, что сохранение в метасоматитах натрия объяснимо участием в составе горных пород альбита.

Приведенные материалы и выводы о березитовом (березит-лиственитовом) профиле околорудных метасоматитов Ленского района опровергаются В.А. Бурыком [7] на основе петрохимических пересчетов 482 химических силикатных анализов проб, отобранных в месторождении Сухой Лог, объединенных в выборки по несколько десятков в каждой с учетом гипсометрического уровня опробования, литологического состава исходных пород (песчаники, алевролиты), расстояния отбора проб от жил и рудных зон. Несмотря на указание об учете принадлежности проб к субфациям регионального метаморфизма (биотит-хлоритовой, хлорит-серицитовой) выборки представляют «исходные», «слабо измененные», «интенсивно измененные» породы без характеристики их минерального состава, существа минеральных преобразований, каких-либо количественных критериев определения

степени интенсивности изменений и поэтому представляются сформированными некорректно. Методически некорректно также рассчитывать баланс петрогенных компонентов (равно как и рудных), то есть искать внешние или внутренние, породные на уровнях опробования источники вещества для субстрата жил и жильных зон, определяя средний химический состав каждой из этих зон «... исходя из среднего состава и степени распространенности слагающих их образований, в том числе кварцевых жил и в различной степени измененных пород» [7. С. 137]. Невозможно, скажем, судить о выносе кремнезема из породы и об образовании за счет вынесенного кремнезема кварцевой жилы, смешивая материал этой породы и жилы в одну пробу, – вынос кремнезема из породы просто не будет зафиксирован. Поэтому, вывод В.А. Бурыка, согласно которому «... широко распространенные ранее представления ... о том, что рассматриваемые процессы по химизму характеризуются исключительным постоянством, проявляются в постоянном привносе калия и углекислоты и выносе кремнезема и натрия при относительной стабильности других элементов, очевидно, не могут быть приняты» [7. С. 143], не очевиден и ведет к запутыванию вопроса, так как на такого рода выводах основано противопоставление В.А. Бурыком и его последователями минералого-петрохимической сущности околорудных изменений сланцев, с одной стороны, и иных пород в магматогенных месторождениях, с другой.

В работе [8] подчеркивается принадлежность рудоносных метасоматитов Сухого Лога к средне-температурной фации метасоматических пород региональных зон сдвиговых деформаций. В составе пород выделены следующие главные парагенезисы метасоматических минералов: хлорит + парагонит + кварц; актинолит + анкерит + альбит; Ni-хлорит + кварц + пентландит + пирротин; Zn-сидерит + сфалерит + пирит; мусковит + пирит + кварц. В парагенезисах постоянно присутствует рутил.

Температура образования парагонита по содержанию в нем калия оценивается в интервале 330...340 °С, Mg-Fe-хлорита по соотношениям компонентов (хлоритовый термометр) составляет по разным оценкам 320...345 °С или 345...375 °С.

В породах в местах скопления сульфидов обнаружен никелистый хлорит (Ni до 0,5 мас. %), который ассоциирует с тонковкрапленным пентландитом и замечен совместно с кварцем в оторочках крупных кристаллов пирита. Предполагаются его парагенные отношения с пентландитом, привнос Ni гидротермальными растворами, генерированными в очагах базит-гипербазитового магматизма.

По мнению В.Л. Русинова с соавторами [9], постседиментационные преобразования вмещающих рудных залежи Сухого Лога пород происходили на этапе регионального метаморфизма (венд-кембрий) и в процессах последующего метасоматизма. Минеральные ассоциации раннего метаморфического этапа, включающие альбит, кварц,

хлорит, фенгит, карбонат, были почти полностью замещены минеральными ассоциациями рудосопровождающего метасоматизма. На раннем этапе последнего (447 ± 6 млн л) образованы ассоциация парагонит + Mg-сидерит + анкерит + пирит + кварц + (хлорит), фиксируемая преимущественно во внешних частях рудных зон, на позднем (321 ± 14 млн л) — ассоциация мусковит + сидерит + анкерит + пирит + кварц в рудных телах. Авторы полагают, что по минеральной ассоциации рудоносные метасоматиты можно было бы отнести к березитоподобным, однако этому и квалификации процесса как березитизация препятствует отсутствие околожильного окварцевания и типичного для березитов парагенезиса кварц + мусковит. Не дано и иной интерпретации процесса.

А.М. Гавриловым с соавторами приведены результаты изучения минерального и химического составов рудных технологических проб Сухого Лога [10], сложенных углеродистыми филлитовидными алевросланцами при участии алевролитов и значительно реже тонкозернистых песчаников. Отмечены низкие содержания в рудах кремнезема, обусловленные ограниченным развитием жильно-прожилкового кварца, но повышенные — железа, магния, углекислоты, сульфидной серы и органического углерода, участвующих в составе Mg-Fe-карбонатов, пирита и углеродистого вещества. Минеральный состав руд в одной из технологических проб характеризуют следующие данные: кварц породообразующий (32,0 %), кварц прожилковый (5,0 %), светлая слюда — серицит, мусковит, парагонит (36,0 %), карбонаты — Mg-сидерит, анкерит (9,5 %), полевые шпаты, в основном альбит (10,0 %), пирит (4,2 %), другие сульфиды — пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит (0,2 %), кероген (2,1 %, в штучных пробах до 3,7 %), акцессории — рутил, апатит, циркон, монацит, турмалин (1,0 %). Рассеянные в породах порфиобласты сидерита с изотопным составом $\delta^{13}\text{C} = -(3,2...7,3) \text{‰}$ (36 анализов) и $\delta^{18}\text{O} = +18,5 \pm 1 \text{‰}$ (12 анализов) образованы, по мнению авторов, в результате динамотермального метаморфизма первично диагенетического карбонатного вещества при том, что, как следует из приведенных данных, изотопный состав окисленного углерода близок к метеоритному стандарту. Этот факт не учтен в генетических построениях. Хлорит в рудных пробах отсутствует — он не наблюдается микроскопически и не обнаружен на дифрактограммах, но присутствует в породах вне рудной зоны в форме микровключений в кварцевых оторочках метакристаллов пирита. Свойственная хлориту примесь никеля (0,5 % Ni) в сверхкларковых концентрациях не обнаружена в породах и пирите.

В результате изучения метасоматических пород авторы сделали вывод, согласно которому околожильные кварц-мусковит-анкеритовые изменения визуально не фиксируются и носят рассредоточенный характер.

С.Г. Кряжев с соавторами считают [11], что для месторождений сухоложского типа характерно отсутствие «выраженных околожильных измене-

ний», а околорудные породы месторождения Сухой Лог не затронуты кислотным метасоматизмом. Привлекая концепцию фильтрационного эффекта Д.С. Коржинского, указанные авторы высказывают мнение о редуцированности волны кислотности вследствие отсутствия конвекции гидротермальных растворов, то есть потока растворителя при рудообразовании как возможной причине этого.

В работе [12] обращено внимание на то, что метасоматические преобразования вмещающих оруденение Сухого Лога пород, измененных в условиях зеленосланцевой фации на предшествующем рудообразованию этапе регионального метаморфизма, заключаются в их карбонатизации, сульфидизации, сопровождающихся перекристаллизацией и переотложением исходных минералов. Карбонаты в составе сидерита, анкерита, марганесидерита, реже доломита присутствуют в форме вкрапленников, гнездово-линзовидных выделений в приосевой части рудоконтролирующей антиклинали, а карбонатизированные породы в отсутствие сульфидной минерализации слабо золотосны. При отсутствии значимых корреляционных связей между содержанием золота, степенью сульфидизации пород, с одной стороны, и интенсивностью карбонатизации, с другой, рудная зона месторождения, тем не менее, тяготеет к полосе карбонатизации. Авторы объясняют это единым структурным контролем разновозрастных процессов. В рудной зоне значительная часть пирита замещает магнетитно-железистые карбонаты.

Результатами U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов М.А. Юдовской с соавторами [13] обосновывается постседиментационное и постметаморфическое происхождение минерализации месторождения Сухой Лог.

Основной по интенсивности рудообразующий, он же метасоматический процесс наиболее полно проявлен в осевой части рудной зоны, породы которой насыщены кварц-золото-сульфидными с мусковитом новообразованиями с привносом калия, мышьяка, золота и выносом натрия. Минералы исходного осадочно-метаморфического субстрата замещены кварцем, пиритом (сульфидами) и карбонатами. В результате породы-руды приобрели порфиобластовые структуры.

Если в составе мелкозернистых карбонатов сланцев преобладает анкерит, то карбонатные порфиобласты сланцев и агрегаты в карбонатно-сульфидно-кварцевых прожилках сложены в основном Mg-сидеритом, редко анкеритом. Диагностика анкерита подтверждена данными 40 микрорентгеноспектральных анализов. Состав минерала (мас. %): 11,16...16,45 MgO, 9,3...13,3 FeO, 24,77...28,6 CaO, 0,22...3,71 MnO. По данным 42 микрорентгеноспектральных анализов содержание основных компонентов в магнетитосидерите следующее (мас. %): 10,54...24,84 MgO, 29,18...44,86 FeO, 0,17...0,95 CaO, 0,14...3,85 MnO. Подчеркивается, что при карбонатизации происходит замещение Ca-содержащих карбонатов низкокальцевыми карбонатами магния и железа.

Состояние проблемы золотоносности черносланцевых толщ

Начатое в шестидесятых и последующих годах прошлого столетия в работах многих авторов [14–22] и продолжающееся до сего времени [23 и др.] противопоставление метаморфогенно-гидротермальных месторождений объектам, локализованным в кристаллическом субстрате, магматогенно-гидротермальное происхождение которых как-будто не подвергалось и не подвергается сомнению, опирается на представление о местных породных источниках золота, экстрагируемого из пород горячими растворами разного происхождения и перераспределенного в формирующиеся рудные тела. В разработке этого представления решающее значение имели аналитические данные, согласно которым содержания золота в сланцах превышают до многих мг/т [24] или значительно превышают кларковые (около 1 мг/т) и достигают, например, в районе месторождения Сухой Лог по некоторым оценкам [25, 26 и др.] первых г/т. Накопление сверхкларковых количеств металла объясняют особенностями процессов седиментации и диагенеза осадков с последующим перераспределением и концентрированием его на этапах преобразований пород, например, вследствие прогрессивного и/или регрессивного регионального зонального метаморфизма [14, 23, 24], функционирования магматогенных флюидов [27, 28] или вследствие реализации того и другого процессов. На основе последнего представления возникла полигенная концепция «ступенчатого» накопления золота в рудах [29, 30 и др.].

В почти полувековой истории изучения золотоносности черносланцевых толщ были примеры низкой, на уровне первых мг/т, оценки содержания золота в сланцах золотоносных и незолотоносных районов [31–33 и др.]. Для поддержания метаморфогенно-гидротермальной концепции в конкурентоспособном состоянии предлагалась оказавшаяся непроверяемой гипотеза об «отработанном» золоте, сверхкларковые количества которого, будто-бы первоначально присущие сланцам, перемещены при рудообразовании в рудные тела [34]. Высказывалось мнение, согласно которому для образования промышленных месторождений достаточно металла с субкларковыми его содержаниями в породах [35], и это мнение подкреплялось результатами эксперимента [36], но без оценки возможностей достижения этих результатов в природе. Все это, вероятно, не убедило участников дискуссии, поддерживающих идею о породных источниках золота, сосредоточенного в рудах месторождений «сланцевого типа», и они придерживаются прежних представлений о сверхкларковых дорудных его содержаниях как необходимой предпосылке рудообразования.

Магматогенно-гидротермальная концепция рудообразования в толщах черных сланцев, предполагающая генерацию металлоносных растворов в очагах гранитной [37, 38] или базальтовой [39] магмы, менее популярна, при том, что последней в базаль-

товом варианте не противоречит ни один из известных факторов образования месторождений золота.

Особенность последнего времени — обычное отсутствие в многочисленных публикациях аналитических данных и расчетов в обоснование этих по-прежнему популярных представлений [23, 29, 30, 40–57], ставших для их авторов, вероятно, аксиомой.

Объяснение трансформаций со столь противоречивыми оценками дорудных содержаний металла в сланцах предложено давно, — в середине восьмидесятых годов и в дальнейшем было обращено внимание на то, что пробы горных пород, показывающие повышенные, тем более высокие содержания золота, представляют суммарный результат воздействия геологических процессов нескольких этапов, включая региональный метаморфизм и, что особенно важно, последующий околорудный метасоматизм с образованием в окружающем пространстве контрастных, в том числе синрудных геохимических аномалий золота и других металлов [58]. Использовались и используются методы полевой геохимии, не пригодные для реконструкции геологической истории металлов в горных породах, представляющей, согласно В.И. Вернадскому и А.Е. Ферсману, главное назначение геохимии. Требуются предварительные трудоемкие петрологические исследования сланцев, связанные с диагностикой происхождения в них минеральных ассоциаций, отвечающих каждому этапу преобразований пород, и на этой основе с учетом исходного литологического состава формировать выборки для статистических расчетов [59]. Выполненные до сего времени исследования такого рода показали содержания золота, например, в раннепротерозойских и позднерифейских черных сланцах Северного Забайкалья и Патомского нагорья на уровне 1...2 мг/т [60]. Это означает, что вклад черных сланцев в общий баланс золота, сосредоточенного в рудах известных здесь месторождений, в том числе крупных, исчезающе мал.

Выводы

1. В полувековой истории петролого-геохимических исследований черносланцевых толщ Ленского золотоносного района, в том числе вмещающих рудные залежи Сухого Лога, сложилась неопределенная, кажущаяся парадоксальной ситуация.
2. Исследователи околорудного метасоматизма 60–70-х гг. прошлого столетия по минералогическим признакам квалифицировали околорудный метасоматический процесс в месторождении Сухой Лог как березитизацию — лиственизацию. В публикациях последнего десятилетия приводятся те же минералогические признаки рудовмещающих метасоматитов. Однако принадлежность их к березитовой или к иной метасоматической формации либо не обсуждается, либо отрицается. Последним подчеркивается генетическое своеобразие оруденения в сланцах.

3. Остается противоречивой ситуация в оценке содержания, распределения золота в черных сланцах и до- или синрудного происхождения его контрастных аномалий в околорудном пространстве черносланцевых толщ. В качестве источников золота декларируются породы на около-, нижнерудных уровнях (гипотеза сопряженных областей выноса — привноса), или глубинные области ультраметаморфизма и гранитизации земной коры, или породы (базиты, ультрабазиты) нижней коры. Изотопно-геохимические исследования последнего времени пока не добавляют аргументов в решение этого сложней-

шего вопроса, поскольку интерпретация соотношений стабильных изотопов элементов с переменной валентностью (С, S, O) не всегда обеспечивает формулировку выводов без вариантов.

4. Очевидная потребность решения проблемных вопросов, без которого невозможно совершенствование теории и разработка прикладных следствий из нее, диктует необходимость поисков альтернативных подходов и методов исследований.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шер С.Д., Кондратенко А.К. О метаморфических преобразованиях пород южной части Ленского золотоносного района // Труды ЦНИГРИ. — Вып. 48. — 1962. — С. 75–101.
2. 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.
3. Коновалов И.В. Околорудная зональность одного золоторудного месторождения (Ленский район) // Геология и геофизика. — 1973. — № 1. — С. 123–125.
4. 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.
5. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов И.В. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. — Новосибирск: Наука, 1978. — 103 с.
6. Буряк В.А., Львова Н.А. О генезисе магнезиально-железистых карбонатов Ленского золотоносного района // Эндеогенное оруденение Прибайкалья / под ред. М.М. Одинцова. — М.: Наука, 1969. — С. 46–62.
7. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. — М.: Недра, 1982. — 256 с.
8. 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 РАН. — 2005. — Т. 405. — № 5. — С. 661–665.
9. 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.
10. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 8. — С. 3–16.
11. Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А. Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. — 2009. — № 10. — С. 1108–1117.
12. Золоторудные месторождения России / под ред. М.М. Константинова. — М.: Акварель, 2010. — 349 с.
13. 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 акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. — 2011. — Т. 53. — № 1. — С. 32–64.
14. Буряк В.А. Критерии поисков золотого оруденения метаморфогенно-гидротермального типа // Советская геология. — 1975. — № 10. — С. 35–48.
15. Петров В.Г. Гранитные купола и золотое оруденение Енисейского кряжа // Золото и редкие элементы в геохимических процессах / под ред. Ю.Г. Щербакова. — Новосибирск, Наука, 1976. — С. 34–54.
16. Van Bijljon W.J. The distribution in space and time of the Precambrian metal deposits in Southern Africa // Met. Bur. rech. geol. et mineral. — 1980. — № 106. — P. 26–39.
17. Haack U., Heinrichs H., Boner M., et al. Loss of metals from pelites during regional metamorphism // Contrib. Mineralogy and Petrology. — 1984. — V. 85. — № 2. — P. 115–132.
18. Meyer M., Saager R. The gold content of some Archaean rocks and their possible relationship to epigenetic gold-quartz vein deposits // Mineral. Deposita. — 1985. — V. 20. — № 4. — P. 284–289.
19. Groves D.J., Phillips G.N., Susan E.Ho., et al. The Nature, genesis and regional controls of gold mineralization in Archaean greenstone belts of the Western Australian shield a brief review // Transactions of the Geological Society of South Africa. — 1985. — V. 88. — № 1. — P. 135–148.
20. Кориковский С.П. Метаморфические рудообразующие системы // Эндеогенные источники рудного вещества / под ред. Ф.В. Чухрова. — М.: Наука, 1987. — С. 80–89.
21. Добрецов Н.Л., Кривцов А.И. Модели магматогенно-гидротермального и метаморфогенно-гидротермального рудонакопления и критерии их отличия // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений / под ред. В.И. Смирнова и Н.Л. Добрецова. — Новосибирск: Наука, 1985. — С. 5–14.
22. Кокин А.В. Золото в терригенном верхоанском комплексе и изверженных породах Восточной Якутии // Геология и геофизика. — 1990. — № 3. — С. 47–55.
23. Вилор Н.В. Флюидные системы зональных метаморфических комплексов и проблема их золотоносности. — Новосибирск: Гео, 2000. — 142 с.
24. Буряк В.А. О золотоносности осадочных толщ и поведение в них золота в процессе метаморфизма и гранитизации // Геология и геофизика. — 1978. — № 6. — С. 142–146.
25. Коткин В.В. Роль литологического фактора в размещении золоторудных проявлений в Центральной части Ленской провинции // Вопросы геологии месторождений золота Сибири. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1968. — С. 107–108.
26. Гапон А.Е., Гапеева М.М. Закономерности локализации золоторудных узлов в южной части Патомского нагорья // Доклады АН СССР. — 1969. — Т. 185. — № 2. — С. 408–411.
27. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Проблема углеродистого метасоматоза и рассеянной металлоносности осадочно-метаморфических пород // Советская геология. — 1984. — № 2. — С. 90–100.
28. Ли Л.В., Верниковский В.А. О рудных формациях месторождений вкрапленных золото-сульфидных руд // Рудные формации структур зоны перехода континент — океан: Тез. докл. Всес. совещ., апрель 1988 г. — Т. 1. — Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. — С. 117–118.

29. Нарсеев В.А. О генезисе золото-сульфидного оруденения в черносланцевых толщах // Отечественная геология. — 1998. — № 5. — С. 70–75.
30. Немеров В.К., Митрофанов Г.Л., Семейкина Л.К. Флюидодинамическая (рудно-углеводородная) модель формирования большеобъемных платино-золоторудных месторождений сухоложского типа // Платина России. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений. Результаты и направления работ по программе «Платина России». Т. VI. — М.: «Геонформмарк», 2005. — С. 61–68.
31. Буряк В.А. Состояние и основные нерешенные вопросы теории метаморфогенного рудообразования // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование / под ред. Я.Н. Белевцева. — Киев: Наукова думка, 1984. — С. 43–50.
32. Шилов Н.А., Гончаров В.И., Ворцепнев В.В. и др. К соотношению метаморфогенного и магматогенного гидротермального минералообразования в золоторудных районах Северо-Востока СССР // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1985. — С. 30–42.
33. Горжевский Д.И., Зверева Е.А., Ганжа Г.Б. Углеродсодержащие терригенные формации с золото-сульфидным оруденением // Советская геология. — 1988. — № 9. — С. 113–121.
34. Буряк В.А. Генетическая модель метаморфогенно-гидротермального рудообразования // Генетические модели эндогенных рудных формаций / под ред. В.А. Кузнецова. — Т. 2. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 139–145.
35. Барсуков Викт.Л., Борисов М.В. Поведение рудных элементов при автосмешении гидротермальных растворов // Геохимия. — 1988. — № 10. — С. 1429–1446.
36. Жатнуев Н.С., Миронов А.Г. Серебро и золото в термоградиентных условиях // Петрология флюидно-силикатных систем / под ред. С.Б. Брандта и Г.Д. Феоктистова. — Новосибирск: Наука, 1987. — С. 41–46.
37. Казакевич Ю.П., Шер С.Д., Жаднова Т.П. и др. Ленский золотоносный район (стратиграфия, тектоника, магматизм и проявления коренной золотоносности). — Труды ЦНИГРИ. — Вып. 85. — 1971. — 164 с.
38. Mustard R., Ulrich T., Kamenetsky V.S., et al. Gold and metal enrichment in natural granitic melts during fractional crystallization // Geology. — 2006. — V. 34. — № 2. — P. 85–88.
39. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // Известия АН СССР. Сер. геол. — 1990. — № 10. — С. 78–91.
40. Goldberg J.S. The formation of ores as self-organizational process of redistribution of metals // The 31st Intern. Geological Congress, Rio de Janeiro, 6–17 Aug., 2000: Congress Program. — Rio de Janeiro: Geol. Surv. Brasil, 2000. — P. 3771.
41. Жабин А.Г. Рудоподготовительные процессы в черносланцевых осадочных формациях // Отечественная геология. — 1997. — № 6. — С. 35–40.
42. Гончаров В.И., Воронин С.В., Тюкова Е.Э. Геохимия стабильных изотопов руд и вмещающих пород Наталкинского месторождения // Геологические этюды. — Магадан: Сев.-Вост. научный центр ДВО РАН, 2003. — С. 139–162.
43. Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu. Metallogeny of gold deposits of China // Geology and Resources. — 2004. — V. 13. — № 4. — P. 246–250.
44. Лось В.Л. Металлогенетические системы и механизмы рудообразования // Геология и охрана недр. — 2005. — № 4. — С. 28–36.
45. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Горячев Н.А. Геолого-генетическая модель формирования стратифицированных золото-кварцевых месторождений Южного Верхоянья // Отечественная геология. — 2006. — № 5. — С. 33–37.
46. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., et al. Multistage sedimentary 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.
47. Meffre S., Large R.R., Scott R., et al. Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // Geochim. et Cosmochim. Acta. — 2008. — V. 72. — P. 2377–2391.
48. Альтшулер М.И. Тектоногенно-электрохимическая дифференциация вещества земной коры как механизм рудогенеза // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 1. — С. 30–38.
49. 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. Geological Congress. Oslo, 6–14 Aug. 2008. — Oslo, 2008. — MRD. — 04217P. www.33org.
50. Волков А.В., Егоров В.Н., Прокофьев В.Ю. и др. Месторождения золота в дайках Яно-Колымского пояса // Геология рудных месторождений. — 2008. — Т. 50. — № 4. — С. 311–337.
51. Плюшев Е.В., Кашин С.В., Молчанов А.В. и др. Методы петрографо-геохимического картирования и прогнозно-металлогенетического анализа потенциальных рудных узлов и полей гидротермально-метасоматического типа // Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений: Матер. II Всеросс. конф. по прикладной геохимии, г. Воронеж, 26–28 февраля 2009 г. — Воронеж: И.П. Гончаровой, 2009. — С. 93–96.
52. Чернышев И.В., Чугаев А.В., Сафонов Ю.Г. и др. Изотопный состав свинца по данным высокоточного MS ICP MS-метода и источники вещества крупномасштабного благороднометалльного месторождения Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. — 2009. — Т. 51. — № 6. — С. 550–559.
53. Чугаев А.В., Чернышев И.В., Сафонов Ю.Г. и др. Свинцово-изотопные характеристики сульфидов крупных месторождений золота Байкало-Патомского нагорья (Россия) по данным высокоточного изотопного MS ICP MS-анализа свинца // Доклады РАН. — 2010. — Т. 434. — № 5. — С. 677–680.
54. Галайков А.Л. Золотоносные осадочные комплексы складчатого обрамления Сибирской платформы // Руды и металлы. — 2010. — № 1. — С. 28–37.
55. Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А. и др. Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах Байкало-Патомского региона // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51. — № 5. — С. 729–747.
56. Лавров Н.П., Сафонов Ю.Г., Величкин В.И. Проблемы полигенного-полихронного рудообразования (U, Au) // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: Труды XXI Междунар. научной конф., посвященной столетию со дня рождения акад. В.И. Смирнова, г. Москва, МГУ, 26–28 января 2010 г. — М.: Макс-Пресс, 2010. — С. 38–59.
57. Арифуров Ч.Х. Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел // Руды и металлы. — 2010. — № 1. — С. 10–21.
58. Кучеренко И.В. Петрохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // Разведка и охрана недр. — 1986. — № 12. — С. 24–28.
59. 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.
60. 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 17.05.2011 г.