

7. Cole A., Wilkinson J.J., Halls C., Serenko T.J. Geological characteristics, tectonic setting, and preliminary interpretations of the Jilau gold-quartz vein deposit, Tajikistan // *Mineralium Deposita*. – 2000. – V. 35. – № 5. – P. 600–618.
8. Коробейников А.Ф. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 327 с.
9. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТТ, 2003. – 308 с.
10. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петролого-геохимические критерии и флюидный режим гигантских магмо-рудно-метасоматических золоторудных систем // *Современные наукоёмкие технологии*. – 2011. – № 4. – С. 12–16.
11. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems // *Econ. Geol.* – 2006. – V. 101. – № 7. – P. 1415–1427.
12. Ague I.I., Brimhall G.H. Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California // *Bull. Geol. Sci. Amer.* – 1988. – V. 100. – № 6. – P. 891–911.
13. Bierlein F.P., Groves D.I., Goldfarb R.J., Dube B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits // *Miner. Deposita*. – 2006. – V. 40. – № 7. – P. 874–886.
14. Летников Ф.Л. Флюидные фазы континентальной литосферы и проблемы рудообразования // *Вестник ОГГГН РАН*. – 1999. – Т. 1. – № 4 (10). – С. 5–20.
15. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // *Петрология*. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 630–644.
16. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Адакитовые гранитоиды Калбы: петрология и рудоносность // *Известия Томского политехнического университета*. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 31–38.
17. Meinert L.D. A review of skarns that contain gold // *Mineralized porphyry/skarn systems: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series*. – 1998. – V. 26. – P. 359–414.
18. McCoy D., Newberry R.J., Layer P.W., et al. Plutonic-related gold deposits of interior Alaska // *Economic Geology, Monograph 9*. – 1997. – P. 191–241.
19. Maloof T.L., Baker T., Thompson J.F.H. The Dublin Gulch intrusion-hosted deposit, Tombstone Plutonic Suite, Yukon Territory, Canada // *Mineralium Deposita*. – 2001. – V. 36. – № 4. – P. 583–593.

Поступила 02.02.2012 г.

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ВЕРНИНСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН)

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

Томский политехнический университет

E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

*ОАО «Первенец», г. Бодайбо

**ООО «Золото Евразии», г. Москва

Приведены и обсуждаются материалы, раскрывающие минеральный состав и зональность апочерносланцевого околорудного (рудовмещающего) метасоматического ореола Вернинского месторождения. Обосновывается принадлежность метасоматического ореола к сочетанию пропилитовой и березитовой метасоматических формаций. Распределение Au, Ag, Hg подчиняется минеральной зональности метасоматического ореола. Структура метасоматического и геохимического ореолов месторождения вписывается в типовую универсальную, приложимую к черносланцевому и несланцевому рудовмещающему субстрату, схему минерало-геохимической зональности околорудных ореолов в мезотермальных месторождениях золота как вещественное выражение геолого-генетической однородности месторождений той и другой совокупности.

Ключевые слова:

Вернинское золотое месторождение, черные сланцы, петрологические, геохимические исследования, проблемные вопросы.

Key words:

Verninsoje gold deposit, black shales rocks, petrologic, geochemic research, problem questions.

1. Постановка задачи

Ранее [1, 2] обращено внимание на парадоксы, которые заключаются в том, что по прошествии пятидесяти лет активных исследований не достигнуто разделяемого всеми адекватного реальной ситуации понимания минерало-петрохимической сущности и геологической обусловленности околорудных изменений черных сланцев, условий формирования их металлоносности, залежей и минерализованных зон прожилково-вкрапленных зо-

лото-сульфидно-кварцевых руд, в частности, в крупнейшем месторождении России Сухой Лог.

На примере Сухого Лога показано, как раннее представление шестидесятих-семидесятих годов прошлого века о листовит-березитовом профиле околорудных изменений сланцев, разработанное отнюдь не дилетантами, но профессионалами С.Д. Шером, В.Н. Шаровым и другими на основе детального изучения минералогии метасоматитов и расчетов баланса химических составов исходных

и измененных пород, сменилось его опровержением и квалификацией рудовмещающего метасоматического ореола как производного регионального метаморфизма на «регрессивном этапе». Образованные при этом апочерносланцевые рудовмещающие метасоматиты отвечают метаморфическим биотит-хлоритовой, хлорит-серицитовой, альбит-серицитовой субфациям.

Опровержение, впервые высказанное В.А. Буряком [3], опиралось на результаты методически некорректно выполненной работы [1]. Тем не менее, представление об околорудных изменениях черных сланцев Сухого Лога в результате регионального метаморфизма стало популярным и многие [4–6 и др.] увидели в нем подтверждение справедливости противопоставления этого месторождения, как и подобных ему «черносланцевого типа», месторождениям, образованным в кристаллическом субстрате, в которых рудные тела сопровождаются метасоматическими ореолами березитовой формации.

Другой парадокс касается второй составляющей фактологической базы предполагающей породные источники металлов метаморфогенно-гидротермальной гипотезы рудообразования – оценки повышенной дорудной золотоносности черных сланцев как его необходимой предпосылки. В разные годы и в работах разных авторов с этой оценкой происходили существенные трансформации, – от 1...2 мг/т до первых г/т. Причины и следствия многовариантных результатов в приложении к одним и тем же толщам и месторождениям анализируются и обсуждаются в [1, 7]. В последние десятилетия предствление об образовании промышленных золотых месторождений в обогащенных золотом сланцах остается по-прежнему популярным и, вероятно, считается аксиомой, поскольку аналитические данные и расчеты в обоснование повышенной дорудной золотоносности (металлоносности) пород в публикациях, как правило, отсутствуют.

Состояние неопределенности в ключевых вопросах проблемы рудообразования в черных сланцах объясняет сосуществование четырех с вариантами конкурирующих между собой гипотез – гранитогенной, базальтогенной, метаморфогенной и полигенной, по меньшей мере три из которых ложные. Многовариантный результат в решении проблемы есть следствие неадекватности реальной ситуации применяемых подходов и методических приемов. Выход – искать альтернативные решения.

В качестве альтернативы предложены методология и методики исследований, реализация которых началась четверть века назад [8].

Методология заключается в разностороннем сравнительном изучении всего созданного рудообразующими процессами вещества двух противопоставляемых совокупностей золотых месторождений, – образованных в черносланцевом, с одной стороны, и несланцевом, с другой, субстрате, а также в поиске фактов, раскрывающих обусловлен-

ность рудообразования более масштабными геологическими явлениями, – геодинамикой, седиментацией, метаморфизмом, магматизмом. На примере ряда месторождений преимущественно Северного Забайкалья и других районов установлена геолого-генетическая однородность месторождений обеих совокупностей. Свойственные месторождениям в черных сланцах особенности, – рассредоточенный характер рудной минерализации при крупных запасах и низких содержаниях золота, дефицит березитов и некоторые другие обусловлены строением и составом среды рудообразования. Результаты обобщены и обсуждаются в [9].

Вернинское месторождение представляет очередной крупный объект – аналог соседнего месторождения Сухой Лог, петролого-геохимическое изучение которого ориентировано на поиск новых фактов для сопоставления их с аргументацией выявленных в других месторождениях закономерностей, – подтверждения ими последних, либо внесения поправок. Для интерпретации материалов, полученных в этом месторождении, в соответствии с назначением данной статьи, два результата ранее выполненных исследований представляют первоочередной интерес. Первый характеризует типовую универсальную, приложимую к золотым мезотермальным месторождениям обеих совокупностей, схему минералого-петрохимической зональности околорудных, в сланцах и рудовмещающих, метасоматических ореолов, второй – соотношение (причинно-следственные связи) околорудных геохимических ореолов с околорудными метасоматическими ореолами как вещественное выражение единства создавших их и другие рудообразующих процессов.

В статье приведены результаты выполненного исследования.

2. Методика исследования

Чередующиеся в разрезе рудовмещающей толщи углеродистых алевро-песчаносланцев минерализованные зоны и мощные залежи прожилково-вкрапленных руд с безрудными сланцами вскрыты скважинами колонкового бурения по детальной сети, обеспечившей подсчет запасов золота по категориям C_1 и C_2 . Исследовался керн, для чего одновременно с изучением поперечных к простиранию залежей разрезов отбирались штупфовые образцы его из скважин, пройденных в центральной части месторождения и на его периферии в рудных и безрудных интервалах, в последнем случае, в том числе, в наибольшем удалении от рудных зон и залежей, не превышающем, как правило, десятков – многих десятков метров, насколько позволял имеющийся материал. Из проб полностью исключались прожилки кварца и карбонатов. Расстояния между отбираемыми образцами варьировали от десятков см до 1...3 м. В опорных скважинах с полностью сохранившимся керном опробовался весь разрез, протяженность которого не превышала 300 м. Объем опробования составил 500 образцов, представляющих всю вскрытую рудовмещающую

толщу. Отбор образцов на поверхности исключался вследствие выветривания пород.

Образцы керна массой до 1,0...1,5 кг тщательно отмывались от глины – побочных продуктов распиливания пород. Изготовлено 500 прозрачных шлифов и взяты пробы керна для анализов массой 300 г. Пробы дробились вручную на стальной плите молотком и истирались в титановых стаканах виброистирателя до «пудры» партиями, сначала с ожидаемыми низкими содержаниями золота. Отсутствие или примесь и количество (масса) сульфидов – носителей золота и сопутствующих металлов в рудах суходожского типа служили критериями оценки содержаний, которая впоследствии, по получении аналитических данных, подтвердилась. После обработки каждой пробы оборудование тщательно промывалось горячей водой, качество промывки контролировалось белой тканью.

Таблица 1. Оценка сходимости результатов определения разными методами содержания золота и серебра в породах

Элементы	Сравниваемые методы анализов	Выборки	Интервалы содержаний, мг/т									
			0,5...10			10...100			Более 100			
			Параметры									
			ρ	δ	σ	ρ	δ	σ	ρ	δ	σ	
Au	AA-AAк	1	88	1,2	23							
		2,3,4	136	0,8	18	5	6,3	26				
	AA-XC	1a	55	2,2	46							
		5,6,7	126	2,6	51	14	40	61	12	3086	78	
AA-NA	8	22	1,1	23								
Ag	AA-AAк	9	219	52	14							
		10	22	1,3	11	137	14	13	53	124	18	

Примечание. 1. Методы анализа: атомно-абсорбционный (AA) и контрольный атомно-абсорбционный (AA_к); химико-спектральный (XC), предел обнаружения 0,3 мг/т, выполнен в Центральной лаборатории «Читагеологоразведка»; нейтронно-активационный (NA), предел обнаружения 0,1 мг/т, выполнен в лаборатории ядерно-физических методов анализа НИИ ядерной физики при ТПУ. 2. Выборки 1, 1a – углеродистые терригенные сланцы и метасоматиты по ним, остальные выборки – граниты, гнейсы, магматиты, габбро, долериты, вулканыты и метасоматиты по ним, выборка 9 включает пробы без дифференциации по содержанию металла. 3. ρ – число пар сравниваемых анализов; δ – средняя квадратическая ошибка разности, мг/т; σ – средняя относительная ошибка по разностям двойных измерений, %. 4. Расчеты выполнены Н.П. Ореховым.

Содержание золота и серебра определялось по методу атомной абсорбции, чувствительность метода 0,1 мг/т. Анализы выполнялись в лицензированной и аккредитованной лаборатории ядерно-физических методов анализа вещества Аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, аналитики В.Г. Цимбалит и В.Н. Ильина. Осуществлялся внутренний и внешний (химико-спектральным, нейтронно-активационными методами) контроль результатов основного атомно-абсорбционного метода (табл. 1). В качестве меры сходимости результатов, полученных разными методами, использовалась средняя относительная ошибка измерений, значения кото-

рой не зависят от содержания элементов в пробах. Поскольку относительная погрешность не превышает значений природной изменчивости содержаний металлов (табл. 6), полученные аналитические данные пригодны для решения поставленных задач.

Содержание ртути определялось на анализаторе ртути «РА-915+», на котором выполняются быстрые селективные измерения концентрации ртути, в том числе, в твердых пробах. Оригинальная оптико-электронная схема анализатора обеспечивает ультранизкий предел обнаружения ртути в режиме прямых измерений (без предварительного концентрирования), высокую селективность анализа и широкий динамический диапазон измерений. Использовалась приставка «ПИРО-915+», которая предназначена для измерения концентрации ртути в твердых пробах сложного состава методом пиролиза без предварительной минерализации. Для калибровки использовали Государственный стандартный образец СДПС-3, 2500–83.

Аппаратура проверена в ФГУ «Новосибирский центр стандартизации, метрологии, сертификации», свидетельство 000765 от 19 января 2011 г. Границы относительной погрешности измерений в диапазоне измеренных концентраций при числе параллельных измерений равном 3 и доверительной вероятности 0,95 составили $\pm 20\%$.

Анализы выполнены в лаборатории электронно-оптической диагностики Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ, аналитик Н.А. Осипова.

Для статистических расчетов пробы по одному минеральным зонам околорудного (рудомещающего) метасоматического ореола месторождения объединялись в совокупности (выборки) при том условии, что исходный для метасоматизма субстрат в каждой выборке должен быть однороден по минералого-химическому составу (принадлежности к одному виду осадочных пород – литотипу) и происхождению. Распределение металлов в породах, как оказалось, не противоречит логнормальному закону, поэтому для оценки их содержания и дальнейшего анализа использованы параметры логнормального распределения в сравнении с параметрами нормального. Соблюдение этого условия призвано обеспечить максимально возможную корректность сравнительного исследования, в том числе выяснения причин изменения параметров распределения металлов в околорудном пространстве.

Анализы химических составов минералов выполнены на растровом электронном микроскопе TESAN VIRA 3 LMU с энергодисперсионным спектрометром X-MAS (фирмы OXFORD instruments) в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа Аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Н.С. Карманов.

3. Краткий очерк геологического строения Вернинского месторождения

Вернинское золоторудное месторождение расположено в центральной части Бодайбинского района в 10 км юго-восточнее месторождения Сухой Лог (рис. 1).



Рис. 1. Географическое положение Вернинского месторождения

Рудные тела месторождения залегают в породах нижней и средней подсвиты аунакитской свиты позднего рифея, образующих сложно построенную опрокинутую на юг Вернинскую антиклиналь субширотного простирания (рис. 2).

Основная рудовмещающая толща мощностью от 170 до 230 м в составе нижней подсвиты аунакитской свиты (R_3 au_1^3) сложена ритмично переслаивающимися серицит-кварцевыми песчаниками и углеродистыми филлитовидными сланцами. В толще выделяется пласт известняков, который служит маркирующим горизонтом при реконструкции складчатой структуры месторождения. В средней подсвите аунакитской свиты (R_3 au_2) мощностью 140...200 м преобладают (60...70 %) филлитовидные сланцы при подчиненном участии карбонат-серицит-кварцевых и кварцитовидных песчаников.

Рудоконтролирующая Вернинская антиклиналь осложнена разномасштабными дорудными разломно-трещинными структурами и множеством мелких приразломных складок. Среди разрывных нарушений выделяются наиболее крупные надвиги и сбросо-сдвиги согласно и косо ориентированного к складке субширотного простирания, — Первенец, Центральный, Южный, Промежуточный, Северный разломы мощностью 3...10 м, редко более. Мелкие складки с размахом крыльев от см до первых м образованы в зонах деформационного воздействия разломов и представлены опрокинутыми, лежащими, симметричными, асимметричными, изоклинальными, кулисообразными формами с острыми или тупыми замками. Образование складок, относимых к структурам волочения и нагнетания, связано с формированием Вернинской антиклина-

ли и сопровождающих ее разломов. Среди множества мелких трещин диагностированы межслоевые трещины расланцевания, образующие зоны мощностью до 20...30 м следующие осевым поверхностям складок и разломам трещины соответственно осевого и приразломного кливажа.

Среди постскладчатых и пострудных тектонических нарушений выделяются субширотные зоны дробления, трещины отрыва преимущественно в песчаниках, трещины северо-западного простирания северо-восточного и юго-западного падения.

Перечисленные пликативные и синскладчатые разрывные структуры определяют условия локализации и морфологию рудных тел месторождения.

Минерализованная зона Вернинского месторождения мощностью более 500 м и протяженностью более 2 км включает серию меньших зон прожилково-вкрапленной и жильной золото-сульфидно-кварцевой минерализации второго порядка (рудных зон). Она простирается в запад-северо-западном направлении, под умеренными (25...55°) углами погружается на северо-северо-восток и постепенно выклинивается на западном и восточном флангах в согласии со снижением интенсивности складчато-разрывных дислокаций. В центральной части месторождения, ограниченной ядерной частью Вернинской антиклинали и прилегающими участками ее крыльев, рудные зоны сближены вплоть до слияния в одну рудную зону. Границы рудных зон определяются по данным непрерывного опробования, они согласны ориентировке в пространстве разломов и минерализованной зоны в целом. Мощность рудных зон в среднем составляет 30...80 м и изменяется в пределах 5...250 м.

Рудные зоны в направлении с севера на юг располагаются в следующей последовательности: Северная, № 1, № 3, № 2 и рудная зона Первенец. Северная и № 1 зоны локализованы в висячем крыле Вернинской антиклинали, рудная зона № 3 — в ее ядерной части, рудные зоны № 2 и Первенец — в лежащем (опрокинутом) крыле. Для рудной зоны № 1 характерен преимущественно кварц-сульфидный прожилково-вкрапленный тип оруденения, рудной зоне Первенец свойствен кварцевожильный тип, остальные рудные зоны характеризуются смешанным типом оруденения с пространственным совмещением вкрапленной сульфидной минерализации и кварцевых жил.

Сульфидная минерализация включает пирит, пирротин, арсенопирит с примесью халькопирита, сфалерита, галенита, блеклых руд и микропримесей других сульфидов и сульфосолей.

4. Результаты исследования

Рудовмещающая толща во вскрытом ее объеме, включая ближнее обрамление рудных залежей (рудных зон), сложена разнозернистыми, преимущественно тонко-среднезернистыми, отчасти средне-крупнозернистыми, существенно кварцевыми и кварцитовидными песчаниками при под-

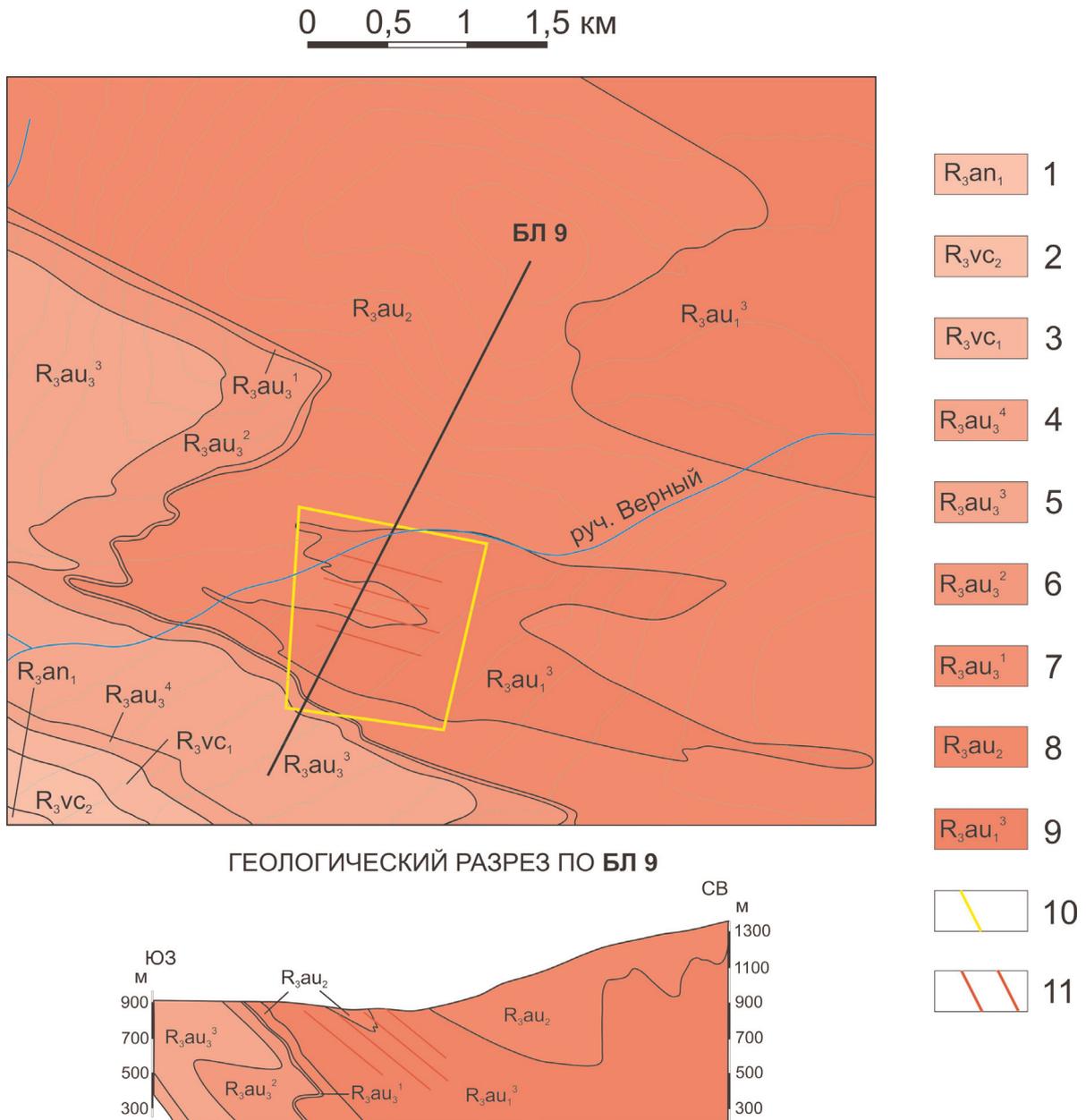


Рис. 2. Схема геологического строения Вернинского золоторудного месторождения (по А.М. Алтынникову, 2009). 1) анангская свита, нижняя подсвита, переслаивание сланцев филлитовидных и алевритистых умеренно углеродистых темно-серых с полевошпат-кварцевыми песчаниками; 2, 3) вачская свита: 2) верхняя подсвита, сланцы высокоуглеродистые, кварцитовидные песчаники; 3) нижняя подсвита, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые, сланцы филлитовидные, кварцитовидные песчаники серого цвета; 4–7) аунакитская свита, верхняя подсвита: 4) четвертая пачка, переслаивание высокоуглеродистых филлитовидных сланцев, слабоуглеродистых алевролитов, мелкозернистых песчаников; 5) третья пачка, грубое переслаивание песчаников известковистых кварцитовидных, алевролитов известковистых и филлитовидных сланцев; 6) вторая пачка, тонкоритмичное переслаивание углеродистых филлитовидных сланцев и серицит-кварцевых, карбонат-кварцевых мелкозернистых песчаников; 7) первая пачка, известняки углеродистые; 8, 9) аунакитская свита: 8) средняя подсвита, сланцы филлитовидные углеродистые, прослои кварцитовидных песчаников; 9) нижняя подсвита, третья пачка, песчаники кварцитовидные, часто известковистые, пакеты филлитовидных слюдисто-кварцевых сланцев; 10) контур лицензионной площади; 11) минерализованная зона с рудными телами

чиненном участии алевролитов и аргиллитов, – массивных или в разной степени рассланцованных, черных и темно-серых.

Как и в Сухом Логу, юго-восточное продолжение которого представляет образованное в таких же складчато-разломных структурах Вернинское

месторождение, исходные осадочные породы подверглись преобразованиям при региональном метаморфизме нагревания (на прогрессивном этапе) и околорудном метасоматизме. От этапа седиментации в породах сохранились частично обломочная фракция (кварц), преобразованное органиче-

ское вещество, аксессуарии – окатанные микрозерна циркона, монацита (?), от этапа регионального метаморфизма из ассоциации биотит + роговая обманка + кероген (графитоид или графит) + турмалин – кероген и турмалин. На этапе околорудного метасоматизма образованы минеральные комплексы, составы которых укладываются в две тыловые зоны приведенной в [9] типовой универсальной (отражающей структуру рудовмещающего метасоматического ореола), схемы минералого-петрохимической зональности околорудных метасоматических ореолов мезотермальных золоторудных месторождений, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате.

По наборам минералов эти комплексы однообразны во всех упомянутых литотипах осадочных пород и включают следующие минералы (подчеркнут минерал, исчезающий в более тыловой зоне):

Альбитовая зона: кварц + серицит + рутил + лейкоксен + магнетит ± кальцит ± доломит + анкерит ± сидерит + альбит;

Альбитовая зона: кварц + серицит + рутил + лейкоксен + магнетит ± кальцит ± доломит + анкерит ± сидерит + сульфиды (арсенопирит, пирротин, пирит и др.) + золото + альбит;

Тыловая зона: кварц + серицит + рутил + лейкоксен + магнетит ± кальцит + анкерит ± сидерит + сульфиды (арсенопирит, пирротин, пирит и др.) + золото

Минеральный состав тыловой зоны отвечает составу березита, смежной – березитоида (березита с альбитом) при унаследовании метасоматитами темных (от черного до серого) цветов вследствие сохранения керогена или частичного снижения его содержания при неполном окислении, вероятность которого обсуждалась в [2]. Граница окисления керогена березита, приобретающего серый, светло-серый цвет, всегда резкая, пересекает реликтовую слоистость, наследовавшую ее сланцеватость пород, имеет причудливую конфигурацию, формирующуюся, вероятно, в условиях неравномерной проницаемости пород для гидротермальных металлоносных растворов (рис. 3).

Обломочная фракция песчаников занимает от 60 до 90 % объема пород при базальном и/или контактовом цементе и представлена почти исключительно кварцем с несущественным участием реликтовых зерен альбитизированного олигоклаза. Двойниковое строение плагиоклазов выражено слабо. Зерна имеют субизометричную или эллипсоидовидную, часто неправильную форму, в случае сохранности от растворения сглаженные контуры – следствие хорошей окатанности. Лучшая сохранность обломков свойственна альбитовой зоне. В обеих зонах обломки с периферии в разной степени растворены и контуры их в последнем случае приобрели заливообразные, зазубренные, «лапчатые», «рваные» очертания. В сростаниях с более мелкими зернами и между разноразмерными зернами кварца цемента возникли постепенные («плавающие») переходы от зерна к зерну.

При значительном растворении обломков и перекристаллизации кварца в сочетании с раскристаллизацией, перекристаллизацией минералов

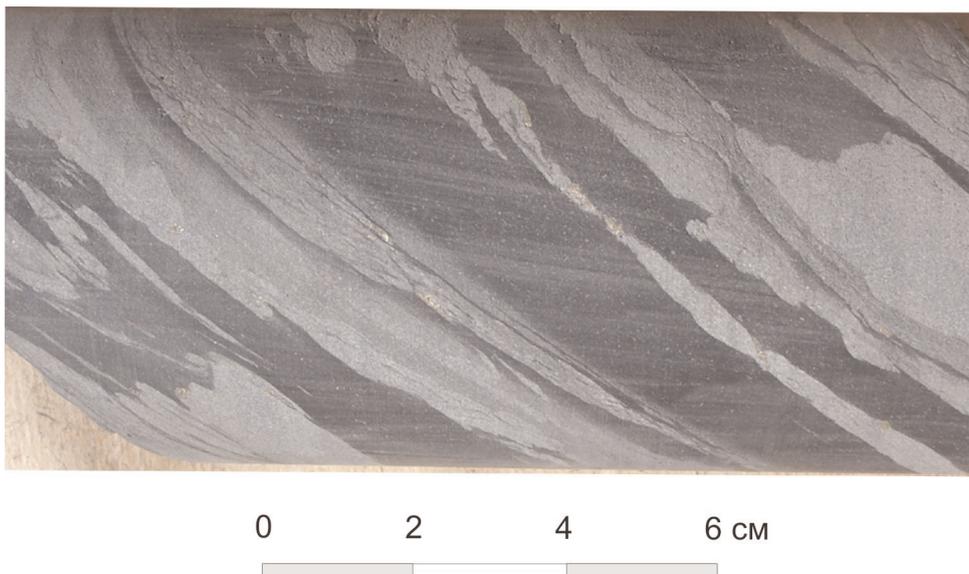


Рис. 3. Тыловая (березитовая) зона (светлое) в контакте с альбитовой зоной рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского месторождения. Керн

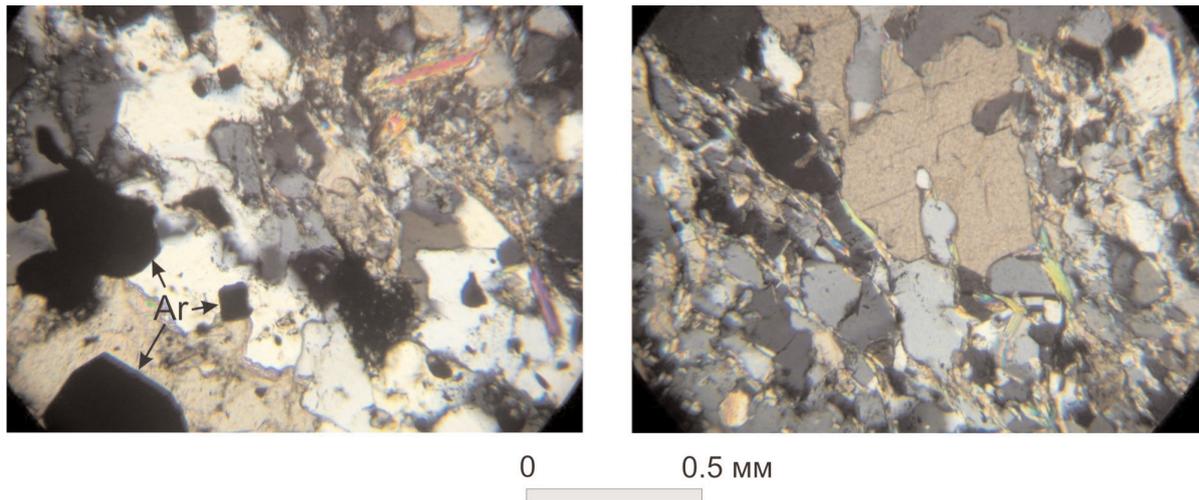


Рис. 4. Метакристаллы арсенипирита (Ar), анкерита в апопесчаниковых березитах Вернинского месторождения. С анализатором

цемента обломочная фракция и цемент песчаников и алевролитов становятся неразличимыми и структура пород трансформируется из бластосаммитовой, бластоалевритовой в гранобластовую, при участии значительного количества серицита – в лепидогранобластовую, а существенно кварцевые породы приобретают кварцитовидный облик (рис. 4).

В обломочной фракции зерна кварца обычно чистые, свободны от инородных примесей. Редко в них можно наблюдать микровключения ромбовидных кристаллов карбоната, вкрапления микроромбовидных кристаллов или ксеноморфных зерен сульфидов, микрочешуек серицита, стустки и эмульсию керогена. Присутствие иногда в зернах кварца цемента «теней» кристаллов плагиоклаза свидетельствует о замещении первым второго.

В монозернистых агрегатах или в срастаниях с карбонатами в аргиллитах (филлитах), алевролитах, тонко- и мелкозернистых песчаниках кварц образует единичные и редкие линзы – «глазки» до 1 мм длиной с каплевидными микровкраплениями и микроромбовидными кристаллами сульфидов, скоплениями их. Агрегаты чистых «пламенеvidных» и субизометричных зерен кварца, иногда совместно с удлиненными кристаллами карбонатов обрамляют кристаллы арсенипирита и пирита, при этом удлинением зерна ориентированы нормально к их граням.

В составе цемента песчаников и алевролитов помимо кварца в переменных количествах, разных сочетаниях и сложных срастаниях участвуют (в порядке распространенности) карбонаты, кероген, серицит, сульфиды, альбит, рутил и лейкоксен, апатит.

Содержание карбонатов в породах варьирует от почти полного отсутствия до 25 об. %, в редких слоях возрастает до 60...70 %. По данным рентгеноспектрального микроанализа (табл. 2) это анкерит и сидерит с незначительным участием в некоторых пробах доломита и позднего кальцита. Отсюда следует, что разрез рудовмещающей толщи

сложен породами малокарбонатными, а хорошо выраженная форма кристаллов-ромбоэдров Mg-Fe-карбонатов с острыми углами свидетельствует об эпигенетическом (постседиментационном) их происхождении.

Керогеном особенно обогащены филлиты и алевролиты, в которых в объемном выражении его содержание достигает 50...60 %, реже более. В песчаниках содержание керогена редко превышает 20 об. %, но и этого достаточно, чтобы окрасить породы в черный цвет.

Во всех породах чрезвычайно характерна субпараллельно-полосчатая форма его участия. Полоски толщиной, как правило, от тысячных до сотых, редко первых десятых долей мм ориентированы вдоль скрытой или явной сланцеватости и, очевидно, слоистости (слоистости) осадочных пород. Слоистость, в частности, обусловлена чередованием «слоек», обогащенных и обедненных керогеном.

В филлитах, алевролитах и песчаниках кероген тесно ассоциирует с серицитом и содержание его в этом случае сопоставимо с содержанием слюды. Чешуйки последней согласны полосчатости. Примесь удлиненно-линзовидных микрозерен кварца и ксеноморфных выделений карбоната в филлитах, как правило, незначительна. В песчаниках конфигурация полосок керогена более сложная – они ветвятся, обрамляют зерна кварца обломочной фракции, образуют сетчатые узоры. В цементе песчаников кероген образует эмульсионную вкрапленность, стустки разной формы, при этом особенно охотно ассоциирует с карбонатами, кристаллы которых пронизаны его включениями. Масса керогена не соотносится с содержанием сульфидов, обильные скопления которых бывают в породах с низким (до 1...2 об. %) содержанием керогена, а в породах, обогащенных им, нередко сульфиды отсутствуют или их примесь незначительна.

Серицитом-мусковитом (табл. 3) в срастании с керогеном сложены филлиты (исходные аргил-

Таблица 2. Химические составы карбонатов тыловых зон рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского месторождения

Номер пробы (Число спектров)	Интервалы содержаний, мас. %							Минерал
	CaO	MgO	FeO	MnO	SrO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	
1253-138,4 (2)	27,10...27,34	10,86...12,45	12,13...13,95	0,52...1,98	–	0,21...0,26	–	Анкерит
1253-144,7 (6)	24,14...27,65	9,83...15,09	8,89...25,42	0,44...1,36	0,00...0,24	0,21...9,14	0,38...0,40	Анкерит
(6)	00,00...0,25	12,54...15,44	39,93...46,21	0,72...1,07	–	0,26...0,28	–	Сидерит
1393-46,0 (2)	50,55...51,24	0,00...0,40	0,93...0,99	–	0,56...0,59	0,00...0,19	–	Кальцит
(2)	28,56...30,22	19,45...21,96	0,66...0,67	0,00...0,31	–	–	–	Доломит
(2)	25,02...27,97	12,95...13,80	9,21...10,01	0,00...0,21	0,22...0,39	0,00...0,28	–	Анкерит
1469-54,0 (9)	23,23...28,25	9,09...14,39	11,17...16,67	0,31...0,61	0,26...1,03	0,00...0,39	–	Анкерит
1469-102,5 (6)	25,76...28,12	10,51...12,85	12,90...15,95	0,40...0,62	0,00...0,46	0,00...2,76	–	Анкерит
(7)	0,00...1,13	5,12...13,81	41,49...52,28	0,00...1,10	–	0,00...0,34	–	Сидерит
1488-66,9 (10)	26,36...28,89	10,98...16,96	6,10...14,79	0,00...1,73	0,00...0,52	0,00...3,36	0,00...2,31	Анкерит

Примечание. Содержание углерода в карбонатах не определялось по причине напыления графитом поверхности препаратов, предусмотренного методикой анализа.

литы) и алевролиты. Согласно полосчатости керогена, следовательно, сланцеватости ориентировка его чешуек столь совершенна, что при вращении столика микроскопа их агрегат погасает (просветляется) одновременно как единый кристалл. В метасоматитах, образованных в песчаниках, серицита, как правило, мало, до 1...2 об. %, реже до 3...5 об. %, очень редко до 5...10 об. %. Чешуйки его здесь только в полосках керогена ориентированы согласно им, вне полосок керогена они рассеяны в породах и их ориентировка бессистемна. Характерна редкость скоплений серицита, подобных тем, какие обычно бывают при замещении кристаллов плагиоклазов, особенно кислых, – сплошных агрегатов.

Таблица 3. Химические составы серицита-мусковита тыловых зон рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского месторождения

Номер пробы	Содержание, мас. %								Σ
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	
1253-144,7	43,94	33,00	7,90	0,36	–	0,90	1,07	–	87,17
1469-54,0	44,73	28,91	8,01	0,38	0,22	1,76	1,88	0,32	86,21
1469-54,0	47,71	31,18	8,25	0,32	0,45	1,69	2,02	0,32	91,94
1469-102,5	47,41	29,67	8,11	0,39	–	1,19	1,79	0,65	89,21
1488-66,9	43,17	30,80	8,00	0,46	0,52	1,26	1,45	0,48	86,14

Содержание сульфидов в породах переменное – от полного отсутствия до 50 об. %. Среди них преобладают арсенипирит, пирротин, пирит, другие (галенит, сфалерит, халькопирит и др.) участвуют эпизодически, в форме гнездовых скоплений и микропримесей. Арсенипирит образован в форме одиночных кристаллов, зернистых агрегатов, пятилучевых звезд размером до 5 см и наряду с пирротинном относится к наиболее распространенным. Пирротин присутствует в виде зернистых ксеноморфных скоплений. Подчиненный в количественном отношении пирит представлен кубическими кристаллами и их скоплениями размером до первых см.

Альбит присутствует в форме мелких (как правило, до сотых долей мм) таблитчатых кристаллов только в альбитовой зоне, редок, очевидно, замещает кислый плагиоклаз исходных пород. Слабо выраженное двойниковое строение минерала представляет следствие замещения его кварцем, о чем свидетельствуют упоминавшиеся «тени» полисинтетических двойников в зернах последнего.

Рутил (табл. 4) в виде игольчатых микрокристаллов и лейкоксен в скоплениях представляют результат фиксации в собственных минеральных формах титана, высвободившегося из метаморфических биотита и амфибола при их замещении промежуточным хлоритом и конечным серицитом.

Таблица 4. Химические составы рутила тыловых зон рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского месторождения

Номер пробы	Содержание, мас. %						Σ
	TiO ₂	ZrO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	
1253-144,7	88,41	0,36	0,24	0,17	0,75	0,22	90,15
1469-102,5	91,73	0,42	0,28	–	0,30	–	92,73

Таблица 5. Химические составы апатита тыловых зон рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского месторождения

Номер пробы	Содержание, мас. %							Σ
	CaO	P ₂ O ₅	F	SrO	FeO	SiO ₂	K ₂ O	
1253-138,4	53,32	42,46	3,96	2,11	–	0,66	–	102,51
1393-46,0	54,68	43,31	4,01	1,35	–	0,64	–	103,99
1393-46,0	55,09	42,96	3,96	1,16	–	0,71	–	103,88
1469-54,0	50,76	40,72	4,32	3,03	–	–	–	98,83
1469-54,0	43,25	34,03	3,09	2,35	0,36	0,45	–	83,53
1469-54,0	53,11	42,85	5,03	2,19	–	0,71	–	103,89
1469-102,5	49,03	38,95	3,18	1,82	–	0,58	–	93,56
1469-102,5	47,52	37,58	3,31	1,94	–	0,73	0,16	91,24
1469-102,5	54,12	42,62	4,21	1,94	0,93	–	–	103,82
1488-66,9	53,69	41,52	3,73	1,28	–	1,05	–	101,27
1488-66,9	49,95	38,59	3,53	2,72	–	0,64	–	95,43
1488-66,9	50,85	40,24	4,25	2,01	–	0,75	–	98,10

Рассеянные в породах микрокристаллы апатита представлены его фтор-содержащей разновидностью (табл. 5).

Распределение в междрудном, околорудном пространстве Вернинского месторождения ведущих металлов – геохимических и металлогенических спутников золота, серебра, ртути подчиняется минералого-петрохимической зональности рудовмещающего, околорудного метасоматического ореола (табл. 6).

Таблица 6. Оценка параметров распределения золота, серебра, ртути в минеральных зонах апосланцевого рудовмещающего метасоматического ореола Вернинского золоторудного месторождения

Элементы	Параметры распределения	Исходные горные породы			
		Разнозернистые песчаники без сульфидов (12)	Разнозернистые песчаники с сульфидами (137)	Разнозернистые песчаники с сульфидами (76)	Алевролиты с сульфидами (13)
		Минеральные зоны			
		Альбитовая	Березитовая		
Au	$\bar{x}(\bar{x})$	2,3 (2,4)	13,0 (23,6)	39,2 (309,0)	37,0 (55,0)
	$t(s)$	1,3 (0,55)	2,5 (47,1)	4,8 (1187)	2,6 (52,1)
Ag	$\bar{x}(\bar{x})$	33,5 (38,3)	52,3 (65,4)	78,6 (125,0)	143,7 (187,5)
	$t(s)$	1,7 (20,6)	1,8 (67,0)	2,2 (198,0)	2,2 (145,0)
	$r(\text{Au-Ag})$	0,22	0,44	0,61	0,81
	Au/Ag	0,07	0,25	0,50	0,26
Hg	$\bar{x}(\bar{x})$	15,9 (29,0)	н/о	78,7 (262,0)	н/о
	$t(s)$	5,1 (25,1)	н/о	6,3 (483,0)	н/о
	$r(\text{Au-Hg})$	0,56	н/о	0,30	н/о
	$r(\text{Ag-Hg})$	0,90	н/о	0,63	н/о

Примечание. 1) $\bar{x}(\bar{x})$ – среднее соответственно геометрическое и арифметическое (в скобках) содержание, мг/т; t – стандартный множитель; s – стандартное отклонение содержания, мг/т; r – коэффициент парной линейной корреляции элементов, выше уровня значимости обозначен жирным шрифтом; н/о – не определялось. 2) В скобках под названиями пород – число проб.

Содержание каждого из трех металлов в основных рудовмещающих породах месторождения – разнозернистых, от тонко- до средне-, редко с существенной крупнозернистой (до 1 мм) составляющей в обломочной фракции, песчаников, не содержащих сульфидов или содержащих редчайшие их микровключения, но измененных в смежной с тыловой альбитовой зоне, близко к кларковым значениям. Относительно невелика здесь степень неравномерности распределения золота и серебра, более значительна – ртути. По мере усиления интенсивности гидротермальных преобразований пород, включая сульфидизацию, оба параметра распределения последовательно (Au, Ag) и в тыловой (Hg) зоне возрастают, достигая в последней максимальных значений. В апоалевритовых березитах содержания золота близко к таковому в апопесчаниковых березитах при вдвое мень-

шей степени неравномерности распределения его содержания. Напротив, содержание серебра в первом случае вдвое превышает его концентрацию во втором, а неравномерность распределения металла в обоих случаях одинакова. Существенно возрастает в апопесчаниковых березитах содержание ртути сравнительно с бессульфидными апопесчаниковыми метасоматитами альбитовой зоны при усилении степени неравномерности распределения ее содержания. По мере возрастания интенсивности преобразований пород увеличивается Au-Ag – отношение, усиливается корреляционная связь золота с серебром, сохраняется сильная корреляционная связь серебра с ртутью при умеренной связи ртути с золотом.

5. Обсуждение результатов и выводы

В высококремнистых породах с кварцем в качестве ведущего носителя кремнезема существует проблема пространства, которая в метасоматическом процессе березитового профиля решается по-разному.

При образовании месторождения Чертово Крыто, например, в углеродистых существенно кварцевых песчаниках и алевролитах раннепротерозойской михайловской свиты балансовыми расчетами установлен вынос кремнезема из формировавшихся крупнообъемных, мощностью до 10...12 м, тыловых зон рудовмещающего метасоматического ореола до 0,8 т в расчете на один м³ субстрата [10]. Это обеспечило подготовку в породах пространства для отложения анкерита в количестве до нескольких десятков об. %. Очевидно, вынос SiO₂ и окисление керогена – осветление березита стало возможным при условии щелочного окислительного режима ранних порций гидротермальных растворов, поскольку в кислотных растворах, как известно, кварц не растворяется, а в восстановленных кероген не окисляется. Последующая инверсия щелочного окислительного режима нагружавшихся соединениями кремния растворов в кислотный восстановительный в углеродистой среде обусловила переход элемента в инертное состояние, заполнение кремнеземом многочисленных мелких и крупных трещин и образование кварцевых прожилков и жил. Кислотный восстановленный режим растворов при этом препятствовал активному взаимодействию их с углеродистыми существенно кварцевыми песчаниками и алевролитами и, как следствие, образованию околорудных оторочек измененных пород и окислению здесь керогена.

Кислотный режим ранних порций растворов при образовании Вернинского месторождения не способствовал глубокой метасоматической переработке рудовмещающих кварцевых пород и выносу из тыловых зон ореолов кремнезема в сколько-нибудь заметных количествах. Проблема пространства в данном случае природой не была решена. Под воздействием тепла более низкотемпературных, чем требуется для сохранения биотита, ро-

говой обманки, растворов произошло обычное в пропилит-березитовом процессе замещение их и промежуточного хлорита серицитом. Одновременно отлагалось сравнительно небольшое количество Mg-Fe-карбонатов, вероятно, путем замещения известковистого компонента цемента осадочных регионально метаморфизованных пород. На необходимость привноса в рудовмещающие толщи Ленского района Mg и Fe для образования анкерита и сидерита вслед за В.А. Буряком и Н.А. Львовой обращалось внимание в [1].

Однако при редко фиксируемом в местных метасоматитах содержании анкерита в объеме до нескольких десятков процентов этот вариант не представляется единственным, — вероятный щелочной режим ранних растворов в отдельных струях общего их потока мог способствовать наряду с другими причинами частичному выносу кремнезема, обычно фиксируемому при березитизации, и образованию полнопроявленных описанных выше березитов в составе кварца, серицита, анкерита, сульфидов, более крупные залежи которых эпизодически встречаются в апочерносланцевых рудовмещающих метасоматических ореолах многих золотых месторождений [9, 12]. Об этом можно судить, учитывая значительную массу кварцевого выполнения трещин на некоторых участках Вернинского месторождения (Первенец и др.). Вместе с тем, сохранение части керогена в местных березитах и их неполное осветление в известных нам случаях оценивается как следствие слабо окислительного режима ранних преимущественно кислых растворов. Отсутствие оторочек околожильно измененных пород в месторождении объясняется теми же приведенными выше причинами, что и в других месторождениях.

Еще одна особенность березитов Вернинского месторождения, — необычно низкое содержание в них светлой слюды (исключая аргиллиты-филлиты, алевролиты). Причина заключается в дефиците глинозема в местных исходных песчаниках, основными носителями которого обычно бывают полевые шпаты, которых мало. Глинозем не поступает с березитизирующими растворами извне, а перераспределяется в процессе метасоматизма между минеральными фазами [11]. Фиксации в березитах поступающего с растворами калия препятствует отсутствие сколько-нибудь значительной массы глинозема. Напротив, обилие серицита в филлитах и алевролитах есть следствие обилия в исходных породах глинистого материала, его раскристаллизации в биотит при региональном метаморфизме нагревания и последующего при околорудном метасоматизме замещения биотита светлой слюдой через промежуточный хлорит. Процесс, вероятно, происходит одновременно с фиксацией высвобождающихся из биотита калия в сериците, титана — в лейкокрене, рутила, железа — в магнетите. Признаком седиментогенного происхождения значительной части исходных органических веществ, преобразованных при региональном метаморфиз-

ме в кероген, следует считать сравнительно невысокое содержание его в песчаниках, но обогащение им филлитов и алевролитов в ассоциации с глинистым материалом — следствие преимущественного накопления органики вместе с тонкими глинистыми осадками в условиях застойного гидродинамического и восстановленного режимов в бассейнах осадконакопления.

Частое чередование минеральных зон в поперечных разрезах рудовмещающих метасоматических ореолов, в Вернинском месторождении альбитовой и основной рудовмещающей тыловой, есть обычное явление в толщах черных сланцев, в том числе в месторождении Сухой Лог [2]. Вместе с тем, объемы метасоматических ореолов соотносятся с объемами рудных залежей и минерализованных зон. На Западном участке Сухого Лога, например, снижение масштабов оруденения, где залегают лишь относительно маломощные минерализованные зоны, сопровождается сосуществованием промежуточной хлоритовой зоны с альбитовой и тыловой, на Центральном участке Главная рудная залежь обрамлена даже на значительном удалении от нее только чередующимися альбитовой и тыловой зонами. Крупные рудные залежи Вернинского месторождения во вскрытом скважинами ближнем их обрамлении, как и в межрудном пространстве, также сопровождаются только чередующимися тыловыми зонами, — альбитовой и березитовой. Периферийные зоны рудовмещающего метасоматического ореола здесь пока недоступны для изучения.

Таким образом, кварц-серицит-анкерит-сульфидный состав метасоматитов тыловой зоны в сочетании со смежной альбитовой, установленное на фрагментарном уровне тыловых зон снижение числа минеральных фаз по мере усиления интенсивности преобразований при переходе от альбитовой зоны к тыловой, очевидное поступление в низкомагнезиальные и маложелезистые существенно кварцевые породы значительных масс Mg, Fe, а с ними и углекислоты, привнос и фиксация в сульфидах восстановленной S, характерное для апочерносланцевых рудовмещающих метасоматических ореолов чередование минеральных зон, — все эти черты свойственны околорудному метасоматизму, сопровождаемому рудообразованием в мезотермальных месторождениях золота, залегающих в несланцевом и черносланцевом субстрате [1, 7, 9, 12]. Отмечаемые здесь и в [2] особенности метасоматических ореолов в черных сланцах обусловлены не глубокими геолого-генетическими различиями процессов рудообразования в той и другой среде, а специфическим влиянием черносланцевого субстрата на минералообразование при вариациях физико-химических режимов металлоносных растворов, состава растворенных веществ и др.

В результате расчетов статистических параметров распределения ряда важнейших рудогенных элементов — золота, серебра, ртути получены дан-

ные, раскрывающие происхождение геохимических аномалий в межрудном, околорудном пространстве Вернинского месторождения.

Как показывает опыт петролого-геохимических исследований во многих мезотермальных месторождениях золота «несланцевого» и «черносланцевого» типов, в смежной с тыловой альбитовой зоне околорудных метасоматических ореолов пропилит-березитового профиля, в отличие от тыловой березитовой, содержание золота возрастает незначительно [12]. Поэтому сравнительно низкие содержания металлов триады, прежде всего золота, в бессульфидных метасоматитах месторождения — обычное явление и свидетельствует о том, что до начала рудообразующего процесса, к продуктам которого относятся и сульфиды, содержания золота в рудовмещающих углеродистых сланцах отвечали кларковым (местному кларку) — вероятно, не более 1,0...2,0 мг/т, которые зафиксированы во многих толщах черных сланцев в обрамлении околорудных метасоматических ореолов. Очевидно, не происходило существенное перераспределение металлов и на этапе предшествующего регионального метаморфизма нагревания.

Напротив, направленное увеличение содержания металлов, неравномерности их распределения, золото-серебряного отношения, силы корреляционных связей между золотом и серебром от одной минералогическо-петрохимической зоны к другой рудовмещающего метасоматического ореола по мере усиления интенсивности преобразований исходных углеродистых сланцев — явления, повторяющие картину распределения металлов в околорудном пространстве многих мезотермальных золотых месторождений [12], свидетельствуют о причинно-следственных связях околорудных геохимического и метасоматического ореолов. Тот и другой органически связаны единством создавшего их гидротермального, в том числе рудообразующего процесса.

Геохимический ореол месторождения занимает существенно меньший объем сравнительно с околорудным метасоматическим. В сочетании с фактом максимального накопления металлов в непосредственном обрамлении рудовмещающих, а, следовательно, и раствороподводящих, разломных структур и сравнительно быстрого, хотя и постепенного, снижения содержания металлов в направлении от этих структур к фронтальной зоне околорудного метасоматического ореола, этот факт подчеркивает концентрационно-диффузионный механизм массопереноса, доказанный на эмпирическом материале для случая околоразломного (око-

лоразломного) гидротермального метасоматизма [11]. Подобная картина распределения создается в условиях диффузии компонентов, в том числе металлов, в трещинно-поровой флюидно-породной системе из обогащенных металлами поступивших извне трещинных растворов в содержащие их на кларковых уровнях поровые растворы вмещающих пород. По мере диффузионного перемещения металлы осаждаются в минеральных новообразованиях и содержание их в растворах постепенно снижается вплоть до кларков на незначительных расстояниях от источника, что обусловлено низкой сравнительно с фильтрацией скоростью диффузии.

В этом случае возможность необходимого для экстракции из пород металлов и их концентрирования «промывания» значительных объемов пород-доноров исчезающе малы. Очевидно, растворы в своем движении предпочитают высокопроницаемые структуры-разломы, а не поровое пространство пород, на преодоление которого требуются значительно большие градиенты давлений, достижения которых в условиях сильно трещиноватой среды (сланцев) более чем проблематично.

Ранее [12] установлена прямая зависимость аномальных содержаний металлов в околорудных геохимических ореолах от богатства руд: в месторождениях золота, образованных в кристаллическом субстрате, в рудах которых средние промышленные содержания золота достигают граммов...десятков граммов в тонне руды, тыловые зоны метасоматических ореолов обогащены золотом до первых г/т; в месторождениях «черносланцевого» типа, руды которых содержат золото в среднем на уровне первых г/т, в тыловых зонах апосланцевых околорудных метасоматических ореолов содержания металла редко превышают 0,1 г/т, в большинстве проб березитов они определяются на уровне многих...десятков мг/т. Эта зависимость подтверждается и в Вернинском месторождении. Данный факт и его интерпретация согласуются с представлением о концентрационно-диффузионном механизме накопления металлов в околорудном пространстве мезотермальных золотых месторождений.

Приведенные материалы дополняют фактологическую базу, доказывающую геолого-генетическую однородность золоторудных месторождений, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате.

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., Верхолин 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., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхолин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 320. — № 1. — С. 28–37.

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 акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 1. – С. 32–64.
6. Lavegov 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., Верхозин 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. Верхозин**

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenko.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