

На правах рукописи

БУДЯК Александр Евгеньевич

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ С
ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫМИ ТОЛЩАМИ (ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ)**

Специальность 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук

Иркутск - 2009

Работа выполнена в Институте геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН

Научные руководители: кандидат геолого-минералогических наук
Немеров Владимир Кузьмич

доктор геолого-минералогических наук
Спирidonов Александр Михайлович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
снс, Макрыгина Валентина Алексеевна

доктор геолого-минералогических наук,
снс, Жмодик Сергей Михайлович

Ведущая организация: Геологический факультет ИрГТУ, г. Иркутск

Защита диссертации состоится 17 марта 2009 в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при институте геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, по адресу: 664033, г.Иркутск, ул. Фаворского 1а

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН

Автореферат разослан « 9 » февраля 2009 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Королева Г.П.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Обнаруженные и разведанные в Восточной Сибири крупные месторождения золота, такие, как Сухой Лог, Зун-Холба и ряд их средних и мелких по запасам металла сателлитов, являются уникальными по условиям формирования. К этим объектам не прекращается повышенный интерес исследователей, что обусловлено, прежде всего, значительными запасами золота и сложностями, связанными с прогнозированием и поисками подобных типов месторождений. Объединяет эти месторождения то, что они расположены в зонах интенсивных тектонических дислокаций, которые, по-видимому, сыграли решающую роль в становлении этих объектов. Однако, если связь гидротермально-метасоматического месторождения Зун-Холба с магматической деятельностью, не вызывает принципиальных разногласий у многочисленных его исследователей, определяя тем самым однозначность при создании прогнозно-поисковой модели этого типа, то относительно месторождения Сухой Лог, приуроченного к углеродистым (черносланцевым) толщам, до сих пор нет единого мнения об условиях формирования и генезисе оруденения. В последнее время в Муйской зоне Байкальской горной области и в Восточном Забайкалье обнаружены месторождения, которые по многим признакам можно предположительно отнести к **зунхолбинскому** типу. В районах расположения таких объектов широко развиты крупные разломы надвигового типа и проявлен сопряженный с ними гранитоидный магматизм. Месторождений же **сухоложского** типа (Немеров и др., 1998; Буряк, Пересторонин, 2000) наблюдаются только в полях развития мощных интенсивно дислоцированных черносланцевых толщ, развитых, главным образом, в пределах Байкало-Патомского нагорья (Ленский золотоносный район).

Актуальность работы заключается в установлении структурных, минералого-геохимических и физико-химических особенностей рудообразования, позволяющих выделить комплекс признаков, свидетельствующих о принципиальном различии в происхождении выделенных типов золоторудных месторождений Восточной Сибири, а также необходимых для прогнозирования и поисков перспективных площадей на обнаружение новых месторождений золота сухоложского и зунхолбинского типов.

Цель работы заключается в детальном изучении месторождений Сухой Лог и Голец Высочайший и сопоставления их параметров с другими месторождениями Восточной Сибири, связанными с черносланцевыми толщами (Ветвистое, Погромное, Зун-Холба), для получения корректных данных, уточняющих генезис месторождений сухоложского типа.

Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

1) Изучались петрографические и минераграфические характеристики соответственно всех типов пород и руд исследуемых месторождений с целью сопоставления их состава и минеральных фаз рудных тел.

2) По результатам геохимических исследований распределения петрогенных, редких, редкоземельных, литофильных элементов, элементов

тиофилов, а также изотопным характеристикам серы ($\delta^{34}\text{S}$), восстанавливались условия накопления вмещающих толщ и особенности процессов рудообразования.

3) Выяснялась роль органического углерода в процессах рудообразования выделенных типов месторождений, проводились исследования форм его нахождения в пределах рудных полей месторождений, устанавливались изменения концентрации в связи со степенью метасоматических преобразований и корреляционная связь с рудными элементами.

4) На основе полученных результатов проводился сравнительный анализ параметров месторождений сухоложского и зунхолбинского типов, выявлялись черты их сходства и характерные отличительные признаки, проводилась генетическая идентификация.

Фактический материал и методика исследований:

Материалы представленные в диссертационной работе, получены в результате выполнения проекта НИР «Металлогения углеродистых формаций южного обрамления Сибирской платформы и связь с ними комплексных золоторудных месторождений», входящую в программу НИР СО РАН № 7.5.2.2. Диссертант принимал участие в экспедиционных работах на нескольких золоторудных объектах Восточной Сибири, среди которых: Сухой Лог, Голец Высочайший (Бодайбинский район Иркутской области), месторождение Ветвистое, находящееся в Муйской структурно-формационной зоне, и месторождение Погромное, расположенное на территории Шилкинского района Забайкальского края. Геохимическая информация получена по результатам исследования пород и руд перечисленных объектов. Аналитические исследования проводились в Институте геохимии СО РАН, Институте химии СО РАН, ВостСибНИИГиМС, изучение изотопии серы проводилось совместно с ЦНИГРИ – С.Г. Кряжев.

Выполненные исследования включали в себя различные виды работ:

- Геологическое изучение рудных объектов в полевых условиях (месторождения Сухой Лог, Голец Высочайший, Погромное и Ветвистое) и сопредельных с ними территорий.

- Штуфное опробование всех зон метасоматических изменений (дорудных, предрудных, синрудных) и неизмененных вмещающих пород перечисленных объектов. Также исследовались гранитоидные массивы и дайковые комплексы, участвующие в геологическом строении рудных полей месторождений.

- Минералого-петрографическое изучение пород и руд (более 700 шлифов и 150 аншлифов).

- Геохимический анализ пород и руд исследуемых объектов разными методами на 35 – 45 элементов, включая петрогенные, редкие, редкоземельные, литофильные элементы с крупным ионным радиусом и элементы-тиофилы различными методами.

- Изотопный анализ по определению $\delta^{34}\text{S}$ по всем перечисленным объектам с выходом во вмещающие породы (ЦНИГРИ – С.Г. Кряжев).

Научная новизна. Выполненная работа представляет собой результат впервые проведенного комплексного исследования ряда золоторудных месторождений Восточной Сибири (Сухой Лог, Голец Высочайший, Ветвистое и Погромное), сформировавшихся в условиях интенсивных тектонических дислокаций, но относящихся к различным генетическим типам. Определены минералого-геохимическая специфика и геолого-геохимические параметры процессов рудообразования, рассмотрены наиболее вероятные источники рудного вещества. Получен дополнительный материал, существенно дополняющий и уточняющий условия формирования месторождений двух типов, что позволило более уверенно, чем это было у предшественников, определить их генетические особенности. Выделены и доказаны принципиально различающиеся по происхождению два типа месторождений: **сухоложский** тип - образующийся за счет ресурсов вмещающих специализированных углеродистых толщ, и **зунхолбинский** тип - сформированный за счет термо- флюидо- и рудогенерирующей роли гранитоидного магматизма с подчиненной ролью вмещающих пород. Впервые в Восточной Сибири выделены гомологи зунхолбинского типа: месторождение Погромное (Восточное Забайкалье) и Ветвистое (Муйская зона).

Практическая значимость. На основании проведенных детальных исследований золоторудных объектов Восточной Сибири, сформировавшихся в условиях интенсивных тектонических дислокаций, подтверждены два типа золоторудных месторождений (сухоложский и зунхолбинский). Установлен комплекс признаков (морфологических, вещественных, генетических), способствующих, в результате сопоставлений с эталонными месторождениями, идентификации вновь выявленных рудных объектов и более целенаправленному прогнозированию площадей перспективных на обнаружение новых месторождений золота выделенных типов.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, 1 статья принята к печати. Результаты исследований изложены в 5 тематических отчетах.

Главные научные выводы докладывались на Всероссийских, региональных и международных конференциях начиная с 2004 года: Конференции молодых ученых: «Современные проблемы геохимии», Иркутск, 2004; Научной конференции: «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока», Иркутск, 2005; Конференции молодых ученых: «Современные проблемы геохимии», Иркутск, 2006; III Международной Сибирской конференции молодых ученых по наукам о земле, Новосибирск, 2006; Конференции молодых ученых: «Современные проблемы геохимии», Иркутск, 2007; Международной конференции: «Проблемы геологической и минералогической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии», Чита, 2007; Всероссийской научной конференции: «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды», Иркутск, 2007; Научной конференции: «Актуальные проблемы геологии и геофизики», Ташкент, 2007;

Международной конференции: «Месторождения природного и техногенного минерального сырья», Воронеж, 2008; IV Международной Сибирской конференции молодых ученых по наукам о земле, Новосибирск, 2008.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, общим объемом 214 страниц, включая 95 рисунков, 37 таблиц и список литературы из 190 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю, старшему научному сотруднику Института геохимии им. А.П. Виноградова, к.г.-м.н. В.К. Немерову, а также благодарен за советы и помощь к.х.н. Э.А. Развозжаевой, д.г.-м.н. А.М. Спиридонову, к.г.-м.н. Л.Д. Зориной, д.г.-м.н. В.А. Макрыгиной (ИГХ СО РАН), к.г.-м.н. Н.К. Коробейникову (ВостСибНИИГГиМС), к.г.-м.н. С.Г.Кряжеву (ЦНИГРИ). Особую признательность автор выражает ведущему инженеру Е.М. Граниной, н.с. З.И. Куликовой, ведущему инженеру Л.С. Дмитриенко за постоянную помощь и поддержку при подготовке диссертационной работы, а также специалистам-аналитикам за качественное и своевременное выполнение аналитических исследований каменного материала.

Автор выражает благодарность д.г.-м.н. В.И. Гребенщиковой, сотруднику Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН за полезные советы и любезно предоставленные материалы по месторождению Зун-Холба.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ (05-05-97301-р, 05-05-64466-а, 08-05-00644-а).

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. В первой главе проведен анализ классификаций золоторудных месторождений, выделяющихся на основании разнообразных признаков: вещественных, генетических, морфологических, геоструктурных, возрастных, по составу вмещающих пород и по типам гидротермально-метасоматических процессов.

Ряд исследователей считает, что рудная формация является основной единицей классификации рудных месторождений (Кузнецов, 1966; 1972; Константинов, 1973; Петровская и др., 1976). В основе классификации месторождений золота по генетическим признакам используются глубинность формирования (Захаров, 1953, Петровская и др., 1976) и температура рудообразования (Lindgren, 1925; Щеглов, 1980). Многие исследователи в качестве основных классификационных признаков считают связь с процессами вулканизма, интрузивного магматизма и метасоматоза (Радкевич, Шило, 1977; Миронов, 1991; и др.). Другие - тип вмещающих пород (Кунаев, 1978; Строна, 1978; Boyle, 1979), тип рудных тел (Биланенко и др., 1974), а также возраст оруденения (Феофилактов, 1976) и геодинамические обстановки формирования (Жмодик, Миронов, 1996; Булгатов и др., 2001). Перспективным считается подход к классификации на основании выявления и учета многосторонних геологических связей руд с вмещающими породами, околорудными метасоматитами и сопряженным с оруденением магматизмом (Смирнов, 1964, 1974; Нарсеев и др., 1985; Некрасов, 1988; и др.), по типу

которых выделяют плутоногенные, вулканогенные складчатых областей, островных дуг и срединно-океанических хребтов, а также вулканоплутонические формации. Ряд авторов придерживается геохимической классификации по группам химических элементов ассоциирующих с Au (Некрасов, 1991).

Существенное значение в генезисе оруденения золота придается процессам регионального метаморфизма, особенно в черносланцевых толщах (Буряк, 1982; 1986; и др; Вилор, 2000; Немеров и др., 1998р; 2005). Особого внимания заслуживают обнаруженные в последнее время в золоторудных месторождениях, связанных с углеродсодержащими породами, металлы платиновой группы (Викулова и др., 1980; Kucha, 1982; Coveney, Nansheng, 1991; Дистлер и др. 1996; Константинов и др., 2000; Развозжаева и др., 2002).

Появившиеся в последние годы дополнительные сведения о рудной и сопутствующей минерализации месторождения Сухой Лог породили предположение о возможно двойственном источнике золотого оруденения (гидротермально-осадочный и глубинный), а также о существовании связи золотого оруденения Сухого Лога с рудными флюидами и газовыми потоками глубинного происхождения (Лаверов, 2000; Сафонов, 2003; Гаврилов, Кряжев, 2008), либо о возвращении к постмагматически-гидротермальной концепции образования месторождений (Лишневский, Дистлер, 2004).

В диссертационной работе рассмотрены месторождения, в разной степени связаны с вмещающими черносланцевыми толщами (Сухой Лог, Высочайшее, Ветвистое и Погромное) и вопрос доминирующего участия углеродистых пород либо гранитоидного магматизма в процессах рудообразования на этих месторождениях. В качестве эталонного объекта для последних, принято месторождение Зун-Холба (по литературным данным).

Уникальное по запасам золота месторождение Сухой Лог на начальных этапах его изучения рассматривалось как постмагматически-гидротермальное, связанное с интрузивным гранитоидным магматизмом (Казакевич, 1971). Позднее была сформулирована концепция метаморфогенно-метасоматического генезиса золотого оруденения месторождения Сухой Лог (Буряк, 1982), которая в дальнейшем стала разделяться большинством исследователей.

На сегодняшний день, несмотря на повышенный интерес ученых к Сухому Логу и подобным ему объектам, вопрос о связи металлоносности месторождений подобного типа с углеродсодержащими породами, остается открытым.

В результате геолого-геохимических исследований месторождений Ветвистое, Погромное и Зун-Холба, использованных в диссертационной работе для сопоставительного анализа с сухоложским типом с целью определения сходств и отличий по ряду геотектонических, морфологических, петрографических, минераграфических и геохимических характеристик предполагается их принципиально различное происхождение.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. Новые геологические, минералого-петрографические, изотопно-геохимические ($\delta^{34}\text{S}$) данные по месторождениям Сухой Лог и Голец Высочайший Патомского нагорья подтверждают выделение суholожского типа месторождений, связанных с углеродсодержащими метаосадочными толщами, являющимися источником рудного вещества, концентрирующегося в процессах метаморфизма и метасоматоза.

Патомское нагорье сложено мощной толщей рифейских флишоидных осадков, отлагавшихся в задуговом бассейне, с метабазальтами медвежьевской свиты в основании. В ней широко развиты углеродистые сланцы, указывающие на восстановительный режим седиментации. Во время каледонской коллизии толща испытала зональный метаморфизм повышенных давлений от низкой зеленосланцевой до амфиболитовой фации (Петров, Макрыгина, 1975). В зоне развития зеленосланцевой фации открыты коренные месторождения золота (Бодайбинская провинция), генезис которых до сих пор является дискуссионным.

Проведено детальное изучение геохимических особенностей двух коренных месторождений золота - Сухой Лог и Голец Высочайший. В результате исследования подрудных, рудных и надрудных интервалов месторождений подтверждено практически полное сходство их структур и литологического строения, минералогических и геохимических характеристик, свидетельствующих о близком генезисе. Оба месторождения приурочены к верхнерифейским черносланцевым отложениям хомолхинской свиты. Их седиментация происходила в условиях котловины и склона задугового бассейна. По сравнению с другими свитами толщи сланцы хомолхинской свиты характеризуются повышенными содержаниями Fe, Co, Ni, V, Cu и Zn, что может быть связано с поступлением эксплозивного материала, поставляемого муйскими островодужными системами, а также активной эксгаляционной деятельностью во время седиментации (Немеров, 1998; Немеров и др., 2005). Для черных сланцев этой свиты характерно содержание Au превышающее кларковое, что является важным условием последующего концентрирования элемента.

Исследованные месторождения локализованы в зоне хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации метаморфизма и приурочены к антиклинальным складчато-разрывным структурам третьего порядка (рис. 1). В пределах антиклинальных структур на обоих месторождениях рудовмещающими являются зоны рассланцевания и интенсивных пликативных деформаций регрессивного этапа. На этом этапе происходят метасоматические изменения пород с формированием минерализованной и собственно рудной зон.

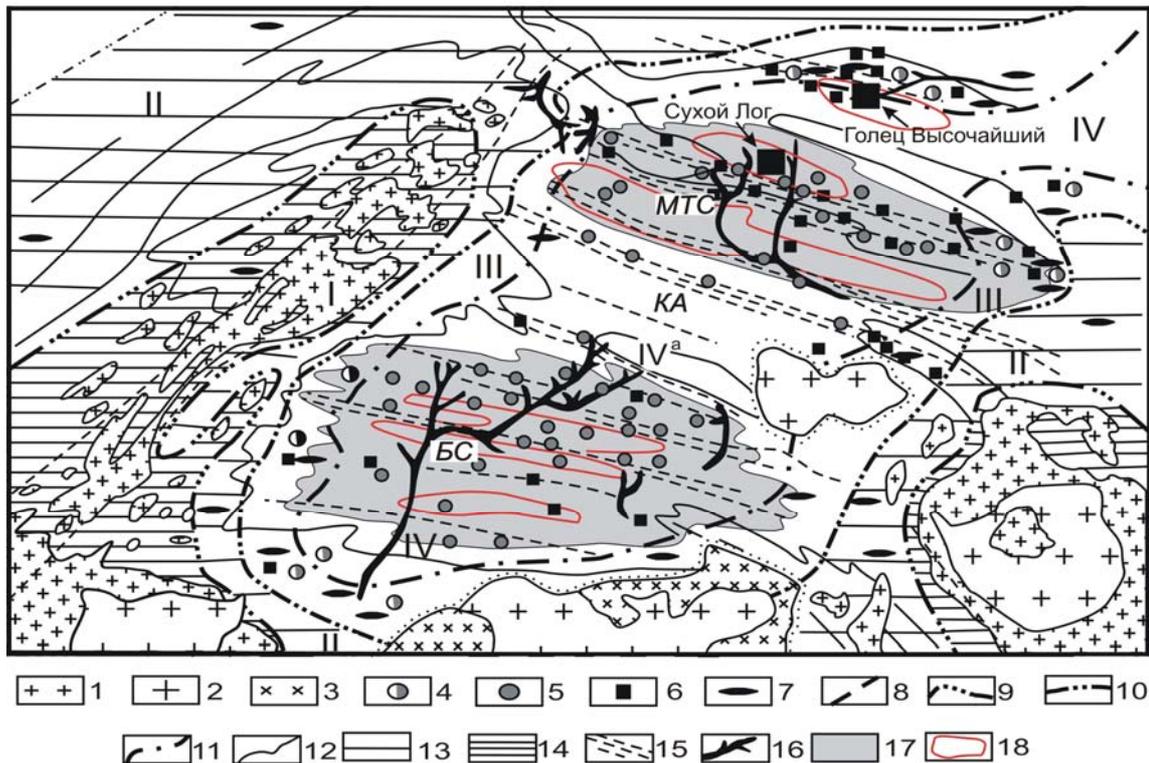


Рис. 1. Схема метаморфической зональности и распределение оруденения в центральной части Ленского золотоносного района (Буряк, Хмелевская, 1997):

1 - метаморфогенные мигматиты, гранит-пегматиты мамско-оронского комплекса; 2, 3 - постметаморфические интрузивные гранитоиды с контактовыми роговиками: 2 - конкудеро-мамаканского комплекса, 3 - тельмамского; 4-5 кварцевые жилы; 4 - слабозолотоносные 5 - золотоносные; 6 - золотоносная сульфидная минерализация; 7 - золотоносная пирротиновая минерализация; 8 - тектонические нарушения; 9 - изограда дистена; 10 - изограда граната; 11 - изограда биотита; 12 - геологические контакты; 13-14 - поля распространения пород различных фаций метаморфизма: 13 - эпидот-амфиболитовой, 14 - амфиболитовой; 15 - субширотные рудолокализирующие зоны повышенного расланцевания; 16 - золотоносные россыти; 17 - синклинали второго порядка (BC - Бодайбинская, MTC - Маракано-Тунгуская); 18 - антиклинальные структуры третьего порядка

Зоны и подзоны метаморфизма: I - зона развития амфиболитовой фации метаморфизма; II - эпидот-амфиболитовая фация метаморфизма; III - биотит-хлоритовая субфация зеленосланцевой фации; IV - нижняя часть хлорит-серцитовой субфации зеленосланцевой фации.

Для месторождений этого типа характерны штокверковые стратиформные рудные тела с прожилково-вкрапленным типом оруденения. По минеральному составу их можно отнести к золото-сульфидному карбонат-кварц-пирротин-пиритовому типу руд. Золото является тонкодисперсным, умеренно-высокопробным.

Типоморфным признаком месторождений сухоложского типа является присутствие остатков органического вещества, представленного тонко рассеянным графитизированным углеродистым веществом, как в исходных породах, так и в зонах минерализации и в рудной зоне. Корреляции между содержаниями $C_{орг}$ и Au не выявлено, но в остатках битумоидов черных сланцев установлено резкое обогащение золотом группы асфальтенов и асфальтогеновых кислот (Развозжаева и др., 1991; Евсеев и др., 2005) (рис. 2).

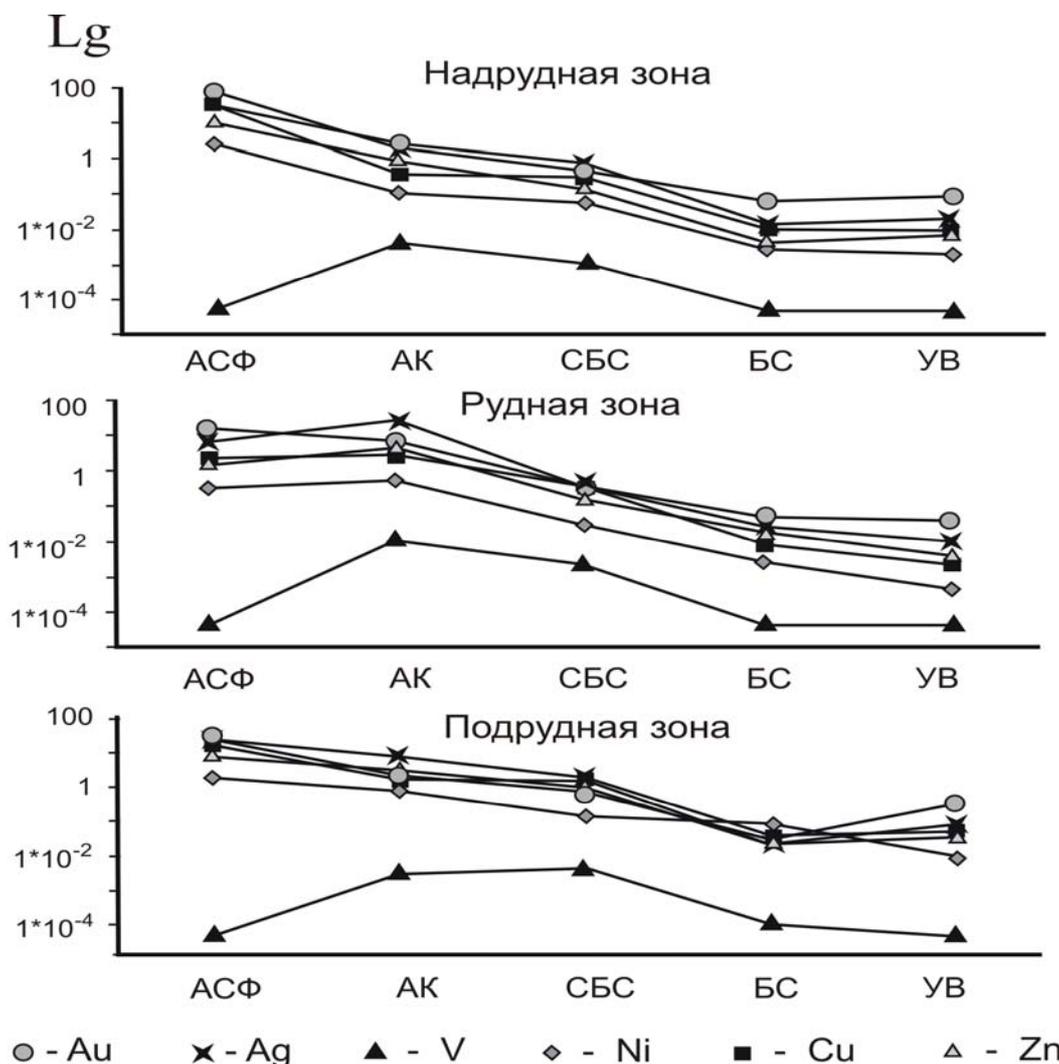


Рис.2. Концентрации металлов во фракциях битумоидов месторождения Сухой Лог.

АСФ – асфальтены, АК – асфальтогеновые кислоты, СБС – спирто-бензольные смолы, БС – бензольные смолы, УВ – углеводороды. (значения нормированы по стандартному образцу черных сланцев SCHS-1 (Petrov et al., 2004))

Характер распределения петрогенных и редких элементов по разрезам месторождений указывает на близкие условия их формирования. В соответствии с характером метасоматических преобразований - мощной пиритизацией в зонах дислокаций, группа петрогенных элементов: Si, Al, Ti, Ca, Mg, K, Na, проявляет тенденцию к уменьшению содержаний от вмещающих пород к рудной зоне. Количество железа и марганца в рудной зоне резко увеличивается. Подобным же образом ведут себя редкие элементы. Рудный метасоматоз сопровождается накоплением элементов сидеро-халькофильной группы, а также Au и Ag и выносом либо разубоживанием литофильных элементов. В зоне минерализации углеродистых сланцев (надрудная минерализованная и подрудная минерализованная зоны) месторождений Сухой Лог и Голец Высочайший наблюдается снижение концентраций K, Rb, Cs, Ba, Sr, Li, усиливающееся в рудной зоне в соответствии с уменьшением количества слюд, хлорита и альбита.

В ходе процесса рудообразования происходит некоторое утяжеление REE относительно вмещающих пород на фоне общего снижения их суммы,

независимо от степени рассланцевания пород. Установленные в работе значения отношений Eu/Eu^* во вмещающих породах хомолхинской свиты не претерпели изменений в процессе рудообразования через зону минерализации к руде: Сухой Лог (0,68→0,70→0,69), Голец Высочайший (0,68→0,65→0,69).

Характерной особенностью является повышение содержаний Se и Bi от неизмененных пород к минерализованным и рудоносным сланцам: Se – (Сухой Лог 0,37→0,65→1,49 г/т; Голец Высочайший 0,4→1,7→4,1 г/т); Bi – (Сухой Лог 0,12→0,58→1,57 г/т; Голец Высочайший 0,12→0,63→2,74 г/т).

Результаты изучения изотопов серы ($\delta^{34}S$) в валовых пробах по разрезу месторождений показало, что они меняются в узком интервале - от 8 до 11,5 ‰ на Сухом Логе и 5-8 ‰ на Гольце Высочайшем. Продольной, поперечной и вертикальной зональности на месторождениях по $\delta^{34}S$ не выявлено. Такие значения $\delta^{34}S$ свойственны осадочно-диагенетическим системам (Омото, Рай, 1982). Различия между месторождениями могут быть обусловлены разным положением участков на профиле бассейна седиментации. Рудный пирит сохраняет изотопные характеристики независимо от вмещающих пород. Близкие величины $\delta^{34}S$ в зонах с пиритовой минерализацией разной морфологии и золотоносности свидетельствует о том, что в рудном процессе происходила мобилизация диагенетических сульфидов без фракционирования изотопов серы. Источником сульфидной серы были вмещающие породы.

Проведенные исследования показали высокую сходимость геологических, минералого-геохимических, изотопных характеристик пород и руд месторождений Сухой Лог и Голец Высочайший, что позволяет с большей долей уверенности отнести их к одному генетическому типу – сухоложскому.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. Сопоставление изученных минералого-петрографических и изотопно-геохимических характеристик золоторудных месторождений Ветвистое (Байкало-Муйская структурная зона) и Погромное (Вост. Забайкалье), расположенных в зонах крупных надвигов интенсивно катаклазированных вулканогенно-черносланцевых толщ с зонально проявленным метасоматозом, связанным с гранитоидным магматизмом, с эталонным месторождением Зун-Холба позволяют объединить их в зунхолбинский тип месторождений.

Детальное изучение месторождений золота Ветвистое, Погромное и сравнение с известным месторождением Зун-Холба показало, что все они формировались в условиях интенсивного сжатия на позднеколлизийном этапе развития толщ разного возраста. Вмещающие их терригенно-вулканогенные толщи преобразованы в условиях, не превышающих зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Месторождения локализованы в зонах глубинных разломов, в участках наиболее катаклазированных пород, где на фоне общего сжатия наблюдается ослабление давления, увеличение проницаемости пород и флюидопотока, связанного с гранитоидным

магматизмом. Флюиды определяют развитие метасоматоза с образованием «кварцитов», березитов и лиственитов с золоторудной минерализацией.

Рассматриваемые месторождения приурочены к контактам черносланцевых толщ и островодужных вулканитов (месторождения Ветвистое - рифейской келянской свиты, Погромное - юрской шадаронской свиты) либо остатков офиолитовых покровов (Гарганская глыба, Зун-Оспинское месторождение) и гранитоидов. Как черные сланцы, так и основные эффузивы имеют сидеро-халькофильную специализацию и повышенные содержания золота.

Для месторождений зунхолбинского типа характерны штокверковые рудные тела с прожилково-вкрапленным типом оруденения. По минеральному составу их можно отнести к золото-сульфидному карбонат-кварц-пиритовому типу руд. Золото является тонкодисперсным, умеренно-высокопробным. Но в отличие от месторождений сухоложского типа породивший их метасоматоз имеет совершенно другую геохимическую направленность.

Поведение петрогенных элементов, близкое для всех месторождений, определяется этапами кремниевого и кремне-щелочного метасоматоза, то есть привнесением SiO_2 либо K_2O и Na_2O . Это проявляется в зонах окварцевания и березитизации при развитии по кислым и средним эффузивам и образовании лиственитов по основным-ультраосновным породам.

Распределение редких элементов также подчинено процессам метасоматических преобразований. В золотоносных метасоматитах возрастает содержание лито-халькофильной ассоциации элементов (Sb, Tl, Pb, Zn, Ba, V, Be), что объясняется их привнесением и концентрированием на стадии рудообразования. Элементы сидерофильной группы (Ni, Co, Cr и др.) имеют тенденцию к разбавлению основными рудными процессами.

На этапах прерудного и рудного метасоматоза исследуемых месторождений заметно повышаются содержания LILE - K, Rb, Cs, Ba, Li и других элементов, характеризующих наличие флюида, образование которого спровоцировано гранитоидным магматизмом (Jiang et al., 2004).

В ходе процесса метасоматических преобразований на всех рассмотренных месторождениях наблюдается изменение состава REE в зависимости от химизма гранитоидного батолита влиявшего на рудообразование. Наблюдаемое уменьшение $\sum \text{REE}$ на месторождении Ветвистое объясняется внедрением Конкудеро-Мамаканского гранитоидного интрузива обедненного редкоземельными элементами. Изменение Eu/Eu^* в сторону увеличения от неизмененных пород к рудным березитам (от 0,64 до 0,76) наглядно подтверждает наложение гранитоидного флюида имеющего положительную европиевую аномалию (1.48) на породы келянской свиты.

На месторождениях Погромное и Зун-Холба наблюдается рост $\sum \text{REE}$ от вмещающих пород к околорудным метасоматитам и далее к рудным телам, что объясняется внедрением гранитоидов шадаронского комплекса и Сумсунурского батолита на месторождениях Погромное и Зун-Холба соответственно. Усиление отрицательной европиевой аномалии на месторождениях также свидетельствует о наложении на вмещающие породы

гранитоидного флюида, имеющего $Eu/Eu^* < 1$ (Гребенщикова, Максимчук 2000; Козлов и др., 2008).

Некоторое утяжеление REE относительно неизменных пород также объясняется химизмом связанных с ними гранитоидных интрузивов.

Se и Bi в пределах рассмотренных месторождений ведут себя абсолютно инертно. Являясь элементами-органофилами, они не имеют корреляционной связи с рудной ассоциацией элементов.

Исследования изотопного состава серы в породах и рудах месторождений **зунхолбинского** типа, а также сульфидов в околорудном пространстве, показали противоречивые результаты. Величина $\delta^{34}S$ попадает как в область значений «магматической» серы – месторождение Погромное и Зун-Холба, так и в область соответствующую осадочно-диагенетическим системам, месторождение Ветвистое. Отличия в изотопном составе серы рассматриваемых сульфидов, как в рудных участках, так и в целом в минерализованной зоне и во вмещающих породах не превышают 2 - 3‰, из чего можно предположить, что на рассматриваемых месторождениях существовал один источник S, а соответственно, и рудного вещества. Однако, интерпретация полученных данных на данном этапе изучения месторождений, не позволяет установить его однозначно. Сульфиды месторождения Погромное локализованы в основном в метасоматитах по эффузивным породам без примеси углеродистого вещества, а также в черных сланцах, находящихся в тектоническом контакте с рудным телом. Сульфидная сера руд по изотопному составу близка к «магматической». Аналогичные значения $\delta^{34}S$ сульфидов углеродисто-терригенных пород с рудными метасоматитами, при значительно более низкой интенсивности их развития, свидетельствуют о том, что углеродисто-терригенные породы вообще содержат мало «собственной» серы и не влияют на геохимию этого элемента.

Интересные результаты получены по месторождению Ветвистое, расположенному в Уряхском рудном поле. Несмотря на то, что минерализация размещается в измененных осадочно-вулканогенных породах, сера по изотопному составу однозначно коровая и полностью совпадает с $\delta^{34}S$ усть-уряхской свиты. Рудное поле месторождения находится в контакте с карбонатно-терригенными отложениями сьюльбанской серии, которые вероятнее всего были вовлечены в рудный процесс путем их проработки в зоне Сьюльбанского разлома на этапе тектоно-магматической активизации с образованием флюида имеющего характерный коровый состав.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что изученные месторождения Ветвистое, Погромное и Зун-Холба по перечисленным выше признакам относятся к одному генетическому типу, который в работе называн «зунхолбинским». Гипотеза генетической связи рудообразования месторождений подобного типа с углеродистым метасоматозом ювенильного происхождения не подтверждается (Спиридонов и др., 2007р; Будяк, Федоров, 2006; Будяк, Федоров, 2007).

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ: Сравнительный анализ характерных геохимических признаков двух выделенных типов месторождений показал отчетливую связь процессов рудообразования зунхолбинского типа с гранитоидным магматизмом, в то время, как на месторождениях сухоложского типа признаки связи с гранитоидным магматизмом отсутствуют, что подтверждает формирование месторождений сухоложского типа за счет резервов вмещающих черносланцевых толщ.

Сопоставление выявленных в работе сухоложского и зунхолбинского типов месторождений показало, что они имеют ряд общих характеристик регионального плана:

- Расположены в зонах интенсивных тектонических дислокаций, которые, по-видимому, сыграли решающую роль в становлении этих объектов.

- Все рассматриваемые объекты исследования объединяет связь, в той или иной мере, с углеродсодержащими породами, имеющими сидерохалькофильную геохимическую специализацию.

- Вмещающие толщи представленных в работе месторождений претерпели метаморфические преобразования, не превышающие зеленосланцевой фации метаморфизма.

- Рудные тела исследуемых месторождений, имеют штокверковый характер и обладают прожилково-вкрапленным типом оруденения. Характерно отсутствие секущих кварцевых жил. По минеральному составу, взаимоотношениям сульфидов, вторичным изменениям руды их можно отнести к золото-сульфидному карбонат-кварц-пирротин-пиритовому типу.

Несмотря на сходные региональные условия формирования, сухоложский и зунхолбинский типы месторождений имеют характерные отличительные признаки.

- На месторождениях **сухоложского** типа рудоконтролирующими являются антиклинальные складчато-разрывные структуры третьего порядка, в которых зоны рассланцевания и интенсивных пликативных деформаций представляют наибольший интерес, являясь рудовмещающими.

Зунхолбинский тип контролируется глубинными разломами, заложение которых происходило на коллизионном этапе формирования. Руды избирательно приурочены к раздувам зоны меланжа, максимально катаклазированным породам с повышенной проницаемостью среды.

- Характер распределения петрогенных и редких элементов по разрезам исследованных типов месторождений, так же свидетельствует о различных условиях их формирования. Группа петрогенных элементов Si, K, Na, на месторождениях **сухоложского** типа проявляет тенденцию к уменьшению содержаний от вмещающих пород к рудной зоне (рис.3). Исключение составляет Fe, которое, в отличие от прочих петрогенных компонентов, в рудном интервале имеет значительное увеличение концентраций, связанное с процессом сульфидизации.

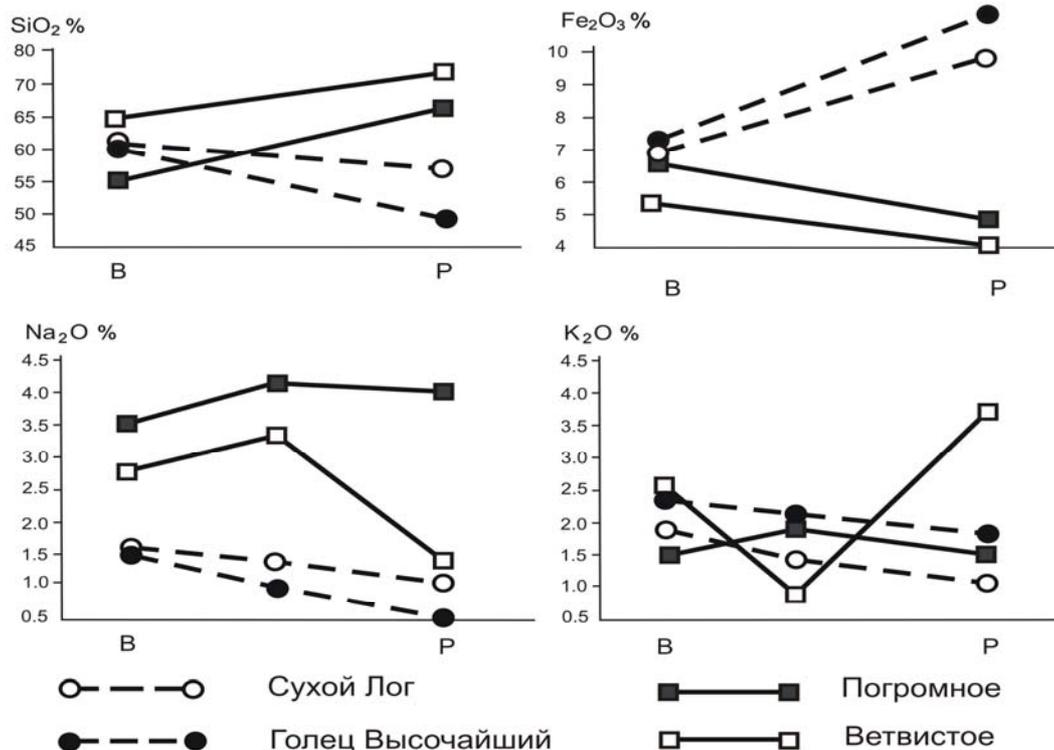


Рис. 3. Характер распределения петрогенных элементов на месторождениях сухоложского и зунхолбинского типов: В – вмещающие породы, Р – рудная зона.

Обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на образование сульфидно-кварцевых и кварцевых прожилков, развитых на месторождениях **сухоложского** типа в значительных количествах, суммарное содержание SiO₂ в минерализованной зоне (вмещающие породы + прожилки) не выше, а ниже, чем в таких же породах за пределами зоны расланцевания. Кремнезема, по-видимому, вынеслось значительно больше, чем пошло на образование кварцевых и кварцево-сульфидных прожилков. В этом заключается одна из примечательных особенностей рудообразующего процесса месторождений сухоложского типа. Явное снижение концентраций щелочных элементов (К, Na) свидетельствует об ошибочности мнения, что основным рудообразующим фактором является калиевый метасоматоз, связанный с глубинным флюидом.

Подобным же образом ведут себя и редкие элементы. Рудный процесс сопровождается накоплением сидерофильной группы элементов и выносом (либо разубоживанием) литофильных элементов; основным рудным процессом является метасоматическая сульфидизация.

На месторождениях **зунхолбинского** типа ведущими процессами, являются окварцевание, березитизация и лиственитизация, установленные как визуально, так и геохимическими методами. Концентрации SiO₂ в рудных телах и околорудных метасоматитах значительно повышены. Также фиксируется К-Na метасоматоз, сопровождающий золотое оруденение (см. рис. 3), вероятнее всего связанный с влиянием гранитоидного магматизма.

Соответственное поведение наблюдается и среди редких элементов. В золотоносных метасоматитах возрастает содержание **лито-халькофильной** ассоциации элементов, характеризующих гидротермальный флюид. Группа

элементов сидерофильной специализации имеет тенденцию к понижению концентраций, связанную, вероятнее всего, с их разбавлением интенсивными процессами окварцевания и щелочного метасоматоза.

• Исследование LILE показали вполне закономерный результат. На месторождениях **сухоложского** типа в дорудных преобразованиях вмещающих углеродсодержащих сланцев наблюдается снижение содержаний K, Rb, Cs, Ba, Sr, Li, та же тенденция прослеживается и в рудной зоне. Величины отношений K/Rb, K/Ba (рис. 4) снижаются в рудной зоне, ввиду явного выноса K. Прочие отношения, такие, как Ba/Rb, Rb/Sr, K/Li, не проявляют тенденций к изменениям, ввиду общего разбавления группы литофильных элементов на рудном этапе.

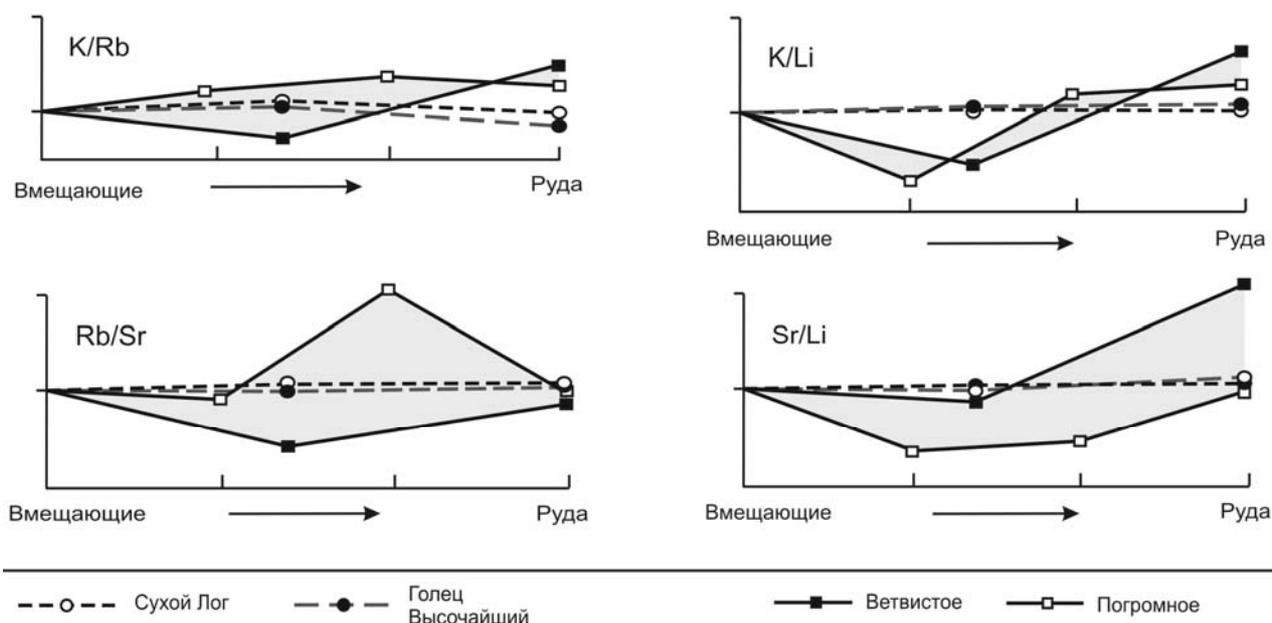


Рис.4. Отношения литофильных элементов с крупным ионным радиусом пород месторождений нормированные к вмещающим породам.

На этапах предрудного и рудного метасоматоза месторождений **зунхолбинского** типа заметно повышаются K, Rb, Cs, Ba, Li и другие элементы характеризующие наличие флюида, спровоцированного гранитоидным интрузивом (Jifng et al., 2004). Заметны колебания отношений K/Rb, K/Ba, Rb/Sr, K/Li, Sr/Li и др. на всех этапах метасоматических изменений (см. рис. 4). Важно отметить отсутствие тенденции увеличения отношений K/Rb вдоль «главного тренда» (MT) магматических пород (Shaw, 1968; Kerricg, 1989) на месторождениях **сухоложского** типа и полное совпадение с ним на месторождениях **зунхолбинского** типа (рис. 5), что также свидетельствует о влиянии глубинного флюида на формирование последнего.

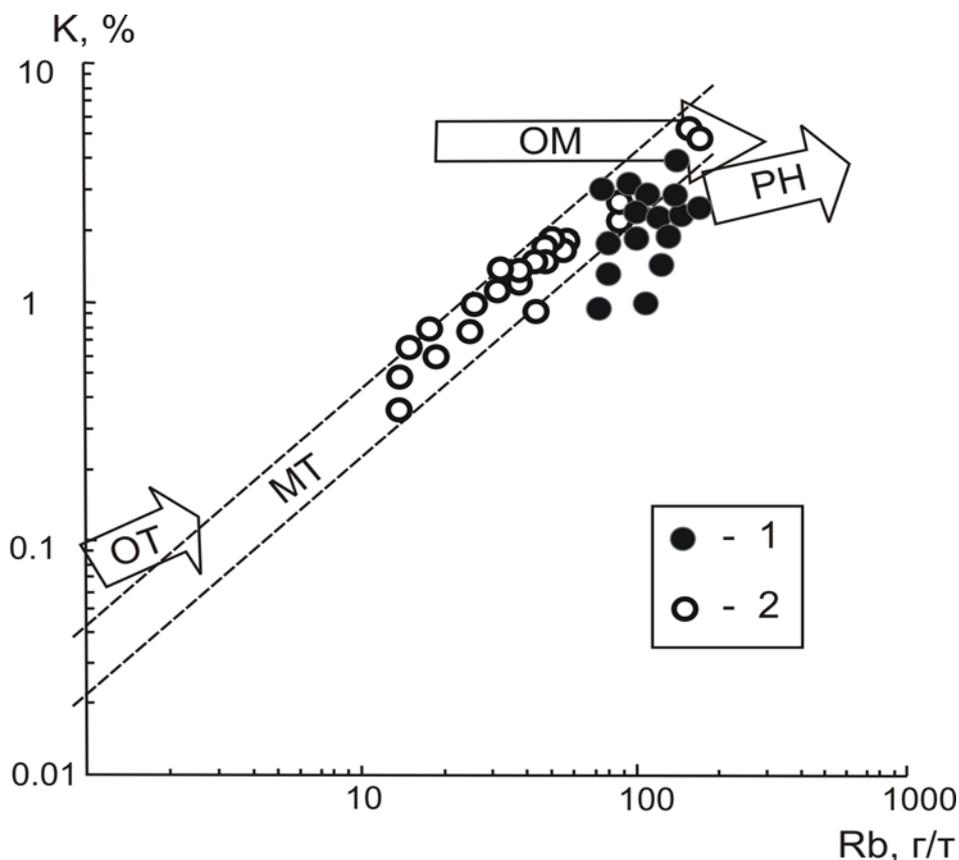


Рис. 5. K / Rb в породах и рудах месторождений сухоложского и зунхолбинского типов. 1 – сухоложский тип, 2 – зунхолбинский тип.

MT – главный тренд изверженных пород; OT – океанические толеиты; PH – пегматит-гидротермальный тренд; OM – ортомагматические грейзены (Shaw, 1968, Kerricg, 1989).

Поведение REE также закономерно связано с особенностями метасоматических процессов в этих двух типах месторождений. На месторождениях **сухоложского** типа наблюдается разубоживание и/или вынос REE из рудной зоны месторождений. Отсутствие каких либо колебаний Eu/Eu^* (рис. 6) объясняется перераспределением элементов внутри рудной системы без участия глубинного флюида. Ввиду наибольшей корреляционной связи LREE с щелочными элементами (K, Na) и, вероятно, совместным с ними выносом в верхние стратиграфические горизонты по зонам трещиноватости отмечается общее незначительное утяжеление REE от вмещающих пород к рудной зоне. В целом однотипные кривые фракционирования REE по всем интервалам месторождений сухоложского типа свидетельствуют об отсутствии каких либо аномалий, связанных с перераспределением элементов в рудном процессе. На месторождениях **зунхолбинского** типа поведение REE полностью зависит от химизма связанных с ними гранитоидных интрузивов и их флюидов, в связи с чем наблюдается изменение кривых фракционирования REE и колебание Eu/Eu^* как в положительном (Ветвистое), так и в отрицательном (Погромное, Зун-Холба) направлении.

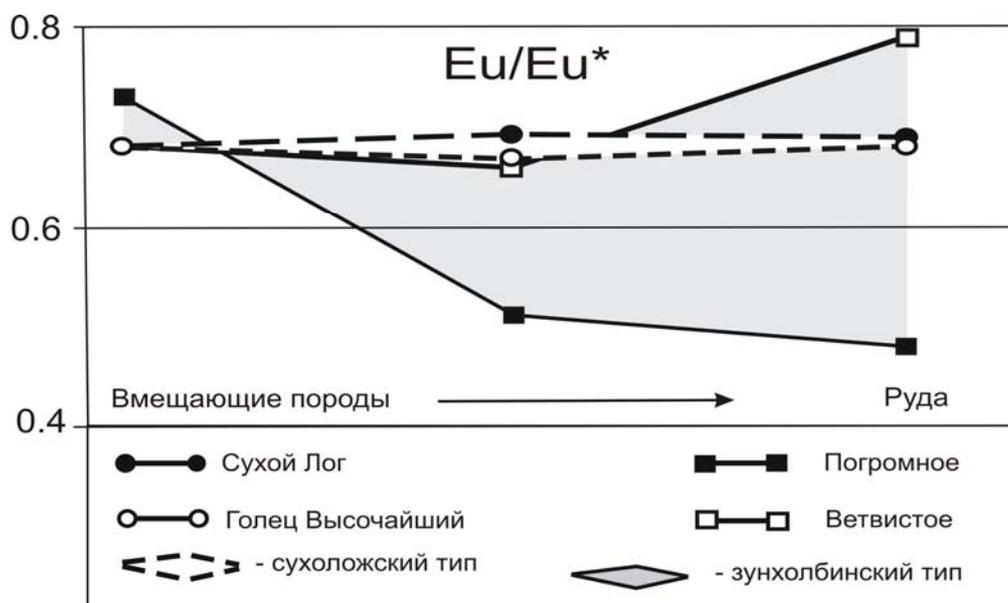


Рис. 6. Распределение отношения Eu/Eu^* (от вмещающих пород → через зону метасоматических изменений → к руде).

• Характерной особенностью месторождений **сухоложского** типа является повышение содержания Se и Bi от неизменных пород к минерализованным и рудоносным сланцам Se - (Сухой Лог - 0,37→0,65→1,49 г/т; Голец Высочайший 0,4→1,7→4,1), Bi - (Сухой Лог - 0,12→0,58→1,57 г/т; Голец Высочайший 0,12→0,63→2,74 г/т) (рис. 7).

Увеличение содержаний селена более чем в 10 раз объясняется его связью с органическим веществом на «глубоких структурных позициях» (Юдович, Кетрис, 1984) и миграционной способностью вместе с ОВ с последующим отложением вместе с S в структурных ловушках при определенных P-T условиях. Увеличение концентрации висмута в 10 – 20 раз объясняется его способностью к накоплению в черных сланцах, тем значительнее, чем выше в них содержания S.

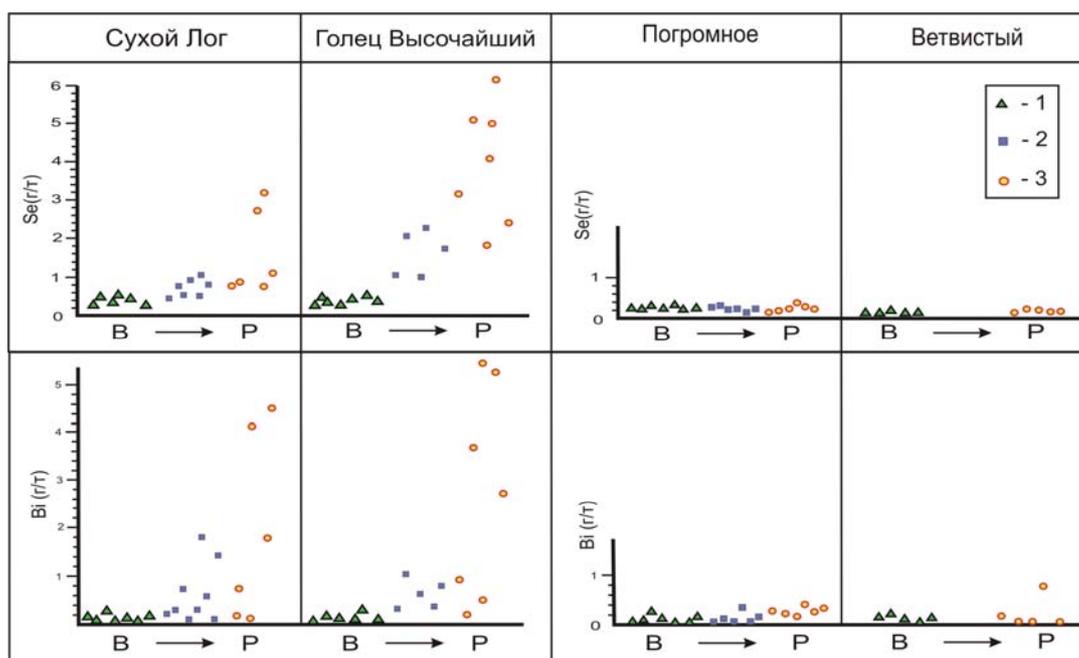


Рис. 7. Содержание Se и Bi, в породах и рудах месторождений сухоложского и зунхолбинского типов. В – вмещающие породы, P – руда. 1 – неизменные породы, 2 – зона преорудной минерализации, 3 – рудная зона.

На месторождениях **зунхолбинского** типа Se, как и Bi, ведет себя довольно инертно. Являясь элементами -тио и -органофилами, они слабо коррелируют с гранитоидными флюидами. Низкие содержания Se во вмещающих породах не имеют тенденции к увеличению на этапе рудообразования (< 0.5 г/т). Поведение Bi, несмотря на незначительное увеличение его концентраций в руде (околокларковые содержания), не проявляет корреляционной связи с рудным процессом.

Наблюдаемое распределение изотопов серы на рассматриваемых месторождениях, несмотря на то, что могут быть логично обоснованы, все же ввиду своей неоднозначности, на данном этапе исследований не могут служить в качестве характерного признака сухоложского или зунхолбинского типов месторождений.

- Органическое вещество изученных месторождений как это говорилось выше, представляет собой тонко рассеянное графитизированное углеродистое вещество во вмещающих породах и зонах минерализации (тонкозернистые чешуйки графита), расположенное в интерстициях нерудных минералов вмещающих пород. На всех рассматриваемых в работе месторождениях, корреляционная связь Au с Сорг отсутствует. На месторождениях **сухоложского** типа это объясняется тем, что в процессах постседиментационных преобразований углеродсодержащих пород металлоносное УВ, мигрируя и окисляясь, теряет связь с металлами, которые концентрируются в благоприятных структурных ловушках при определенных физико-химических обстановках образуют рудные залежи (Немеров и др., 2005). На месторождениях **зунхолбинского** типа, по мнению автора, корреляционная связь металла с углеродистым веществом отсутствует ввиду недостаточного количества Сорг в рудном поле месторождения, и другого источника металла из гидротермального флюида, связанного с внедрением гранитоидного интрузива и мобилизацией Au как из гранитоидов, так и из вмещающих вулканитов.

В результате сравнительного анализа можно сделать следующий вывод - месторождения сухоложского и зунхолбинского типов, сходные по ряду региональных признаков, обладают, тем не менее, большим количеством отличий, свидетельствующих о принципиальном различии их происхождения (табл.). Источниками рудного вещества и флюидов при формировании месторождений **сухоложского** типа (Сухой Лог и Голец Высочайший) служили специализированные вмещающие углеродсодержащие породы. Решающую рудоиницирующую роль в качестве источника тепла и генерации рудоносных флюидов на месторождениях **зунхолбинского** типа (Зун-Холба, Погромное и Ветвистый) играл сопряженный с зоной крупных разломов гранитоидный магматизм.

По перечисленным характеристикам месторождения **сухоложского** типа можно отнести, в соответствии с классификацией В.А. Буряка, к метаморфогенно-гидротермальному (метаморфизованные) генетическому типу, что их принципиально отличает по генезису от месторождений

зунхолбинского типа, относимых по этой классификации к месторождениям метаморфогенно-магматогенного (плутоногенного) гидротермального типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Выполненная работа представляет собой результат комплексного минералогического и геохимического исследования ряда золоторудных месторождений Восточной Сибири, сформировавшихся в условиях интенсивных тектонических дислокаций, но относящихся к различным генетическим типам. Изучена геохимия петрогенных, редких, редкоземельных (REE) элементов, элементов-тиофилов и литофильных элементов с большим ионным радиусом (LILE), а также изотопные характеристики $\delta^{34}\text{S}$ ‰ вмещающих пород и руд месторождений. Определены минералого-геохимическая специфика процессов рудообразования, рассмотрены наиболее вероятные источники рудного вещества. Получен комплекс геохимических критериев позволяющий оценить степень участия гранитоидного магматизма в формировании месторождений золота приуроченных к черносланцевым толщам.

Таблица.

Геохимические признаки сухоложского и зунхолбинского типов месторождений и их изменение в процессе рудообразующего метасоматоза

	Сухой Лог	Высочайший	Ветвистое	Погромное	Зун-Холба
SiO ₂	↓			↑	
сидеро-халькофильная ассоциация	↑			↓	
литофильная ассоциация	↓			↑	
LILE	—			↓ ↑	
Eu/Eu*	—			↓ ↑	
MT магматический тренд (Shaw, 1968)	×			==	
Se, Bi	↑			—	
Связь с магматизмом по ($\delta^{34}\text{S}$, ‰)	×			== ?	
ТИП	- сухоложский		- зунхолбинский		

примечание: ↓ - снижение концентраций; ↑ - увеличение концентраций;

— - инертное поведение; == - положительная корреляционная связь;

× - отсутствие либо отрицательная корреляционная связь

Проведена типизация четырех золоторудных объектов Восточной Сибири. Выделены и доказаны принципиально различающиеся по происхождению два типа золоторудных месторождений с различными источниками флюидов и рудного вещества (сухоложский и зунхолбинский). Впервые в Восточной Сибири выделены гомологи зунхолбинского типа: месторождение Погромное (Восточное Забайкалье) и месторождение Ветвистое (Муйская зона).

Выявленные структурные, минералого-геохимические и физико-химические параметры сухоложского и зунхолбинского типов золоторудных месторождений, позволили получить комплекс признаков (морфологических, вещественных, генетических), способствующих, путем сопоставлений с эталонными объектами, установлению генетического типа вновь выявленных рудных объектов, а так же прогнозированию и поискам перспективных площадей на обнаружение новых месторождений золота подобных типов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1) Немеров В.К., Спиридонов А.М., Развозжаева Э.А., Матель Н.Л., **Будяк А.Е.**, Станевич А.М. Основные факторы онтогенеза месторождений благородных металлов сухоложского типа // Отечественная геология, **2005**, №3, с. 17-24.

2) Таусон В.Л., Немеров В.К., Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Липко С.В., **Будяк А.Е.** Парагенетические отношения пирита, углерода и золота на месторождении Сухой Лог и типоморфизм поверхности пирита // ДАН, **2009** (принято к печати).

3) **Будяк А.Е.**, Матель Н.Л., Фёдоров А.М. Сравнительный анализ геохимии двух подобных стратиформных золоторудных месторождений Бодайбинского района (Сухой Лог и Голец Высочайший) // Современные проблемы геохимии: Сб. науч. Тр. – Иркутск. ИГХ СО РАН. **2004**. с. 11 – 14.

4) Евсеев В.В., Немеров В.К., Серебрянникова О.В., Развозжаева Э.А., **Будяк А.Е.** Состав битуминозных компонентов пород и руд месторождения Сухой Лог // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока, Сб. науч. Тр. – Иркутск, **2005**, с. 159 – 161.

5) **Будяк А.Е.**, Фёдоров А.М. Геохимия пород структурно-вещественных комплексов рифея в зоне Сюльбанского разлома (Муйский район) // Современные проблемы геохимии: Сб. науч. Тр. – Иркутск. ИГХ СО РАН. **2006**. с. 14 – 19.

6) **Будяк А.Е.**, Немеров В.К., Евсеев В.В. Геохимические особенности формирования золотого оруденения в процессах метаморфогенно-метасоматического преобразования углеродистых толщ/ III Международная Сибирская конференция молодых ученых по наукам о земле, Новосибирск, **2006**, С. 41-43.

7) Немеров В.К., Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Куликова З.И., **Будяк А.Е.** Углеродистое вещество в процессах мобилизации и транспортировки металлов при эпигенетических преобразованиях черносланцевых толщ // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Сб. науч. Тр. Иркутск, **2007**, с. 75 – 79.

8) **Будяк А.Е.**, Фёдоров А.М. Новые данные по геохимии пород и руд золоторудного месторождения «Погромное» // Современные проблемы геохимии: Сб. науч. Тр. – Иркутск. ИГХ СО РАН. **2007**. с. 71-75

9) Немеров В.К., Развозжаева Э.А., Серебренникова О.В., **Будяк А.Е.** Рудогенез в углеродистых осадочных формациях // Научная конференция «Актуальные проблемы геологии и геофизики» **2007**, Ташкент, с. 185 – 189.

10) Немеров В.К., Таусон В.Л., Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Липко С.В., **Будяк А.Е.** Формы связи углерода, сульфидов и золота в золоторудном месторождении Сухой Лог // Материалы Международного минералогического семинара "Структура и разнообразие минерального мира", Сыктывкар, **2008**, с. 201-203

11) **Будяк А.Е.**, Гранина Е.М. Спиридонов А.М. Новые проявления месторождений золота зунхолбинского типа в Восточной Сибири // Материалы Международной конференции, посвященной 90-летию Воронежского государственного университета, Воронеж, **2008**, с. 53 - 55.

12) **Будяк А.Е.**, Немеров В.К. Особенности формирования различных типов месторождений золота в коллизионных обстановках (Восточная Сибирь) // Тезисы докладов Четвертой Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о земле. Новосибирск, **2008**, с. 62 – 64.