

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ОРОГЕННОГО
МАЛО-ТАРЫНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВЕРХОЯНО-
КОЛЫМСКАЯ СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

Л.И. Полуфунтикова^{2,1}, В.Ю. Фридовский¹, Н.А. Горячев³

¹ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр-т Ленина 39, г. Якутск, 677000;
e-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru

²ФГАОУВО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Белинского 58, г. Якутск,
677000; e-mail: pli07@list.ru

³ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, ул. Портовая 16,
г. Магадан, 685000; e-mail: goryachev@neisri.ru

Поступила в редакцию 30 апреля 2019 г.

В статье приведены результаты изучения распределения главных, редких и редкоземельных элементов в терригенных породах, околорудных метасоматитах и рудных зонах орогенного Мало-Тарынского золоторудного месторождения (Верхояно-Колымская складчатая область, Северо-Восток России). В формировании метасоматитов и рудных зон важную роль играли процессы гидрослюдизации, карбонатизации, сульфидизации и окварцевания, обеспечившие разную подвижность макроэлементов, с преобладанием кислотного низкотемпературного углекислотно-кальциевого метасоматоза. При увеличении доли кварца в околорудных метасоматитах и рудных зонах происходил вынос большинства породообразующих элементов K, Na, Al, Fe, Mg, Ti и привнос Ca и CO₂. Руды и метасоматиты месторождения характеризуются As-Au-Sb-W-геохимической специализацией, при низких концентрациях Bi, Co, Ni, Cr, Cu, Zn и повышенных Li, Ag, Cd, Cs. Спектры распределения содержаний РЗЭ в измененных породах сходны с распределением РЗЭ во вмещающих верхнетриасовых породах с некоторой тенденцией к уменьшению их суммы. Установлен вынос редкоземельных элементов в процессе формирования метасоматитов и руд. Величины Eu/Eu* (0.61–0.88) и Ce/Ce* (0.6–1.3) аномалий указывают на слабовосстановительные условия рудообразования и ограничивают участие окисленных метеорных вод.

Ключевые слова: золото, терригенные толщи, околорудные метасоматиты, минерализованные зоны дробления, редкие и редкоземельные элементы, Мало-Тарынское месторождение, Верхояно-Колымская складчатая область, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Геохимические характеристики руд и вмещающих пород золоторудных месторождений Верхояно-Колымской складчатой области рассмотрены в ряде работ [1–8, 12, 13, 17]. В них показана обогащенность осадков определенных литолого-стратиграфических уровней золотом, дальнейшее ступенчатое его вовлечение в рудообразование [13, 14, 18], связь золотого оруденения с региональным метаморфизмом [5], плутоно-метаморфическими процессами [6, 8]. Изучение состава руд, околорудных метасоматитов и неизмененных пород важно для анализа поведения химических элементов при рудообразовании и уточнения генезиса месторождений [4, 8]. Исследования выпол-

нены на примере Мало-Тарынского золоторудного месторождения (МТМ), вскрытого поверхностными горными выработками и скважинами, перспективы которого весьма высоки, но геохимическая изученность слабая. Предлагаемая статья является первым результатом геохимического изучения пород и руд данного месторождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования были отобраны образцы и пробы рудовмещающих осадочных пород, околорудных метасоматитов и пород минерализованных зон дробления и смятия Мало-Тарынского месторождения (рис. 1), общая характеристика которых приведена в таблице 1.

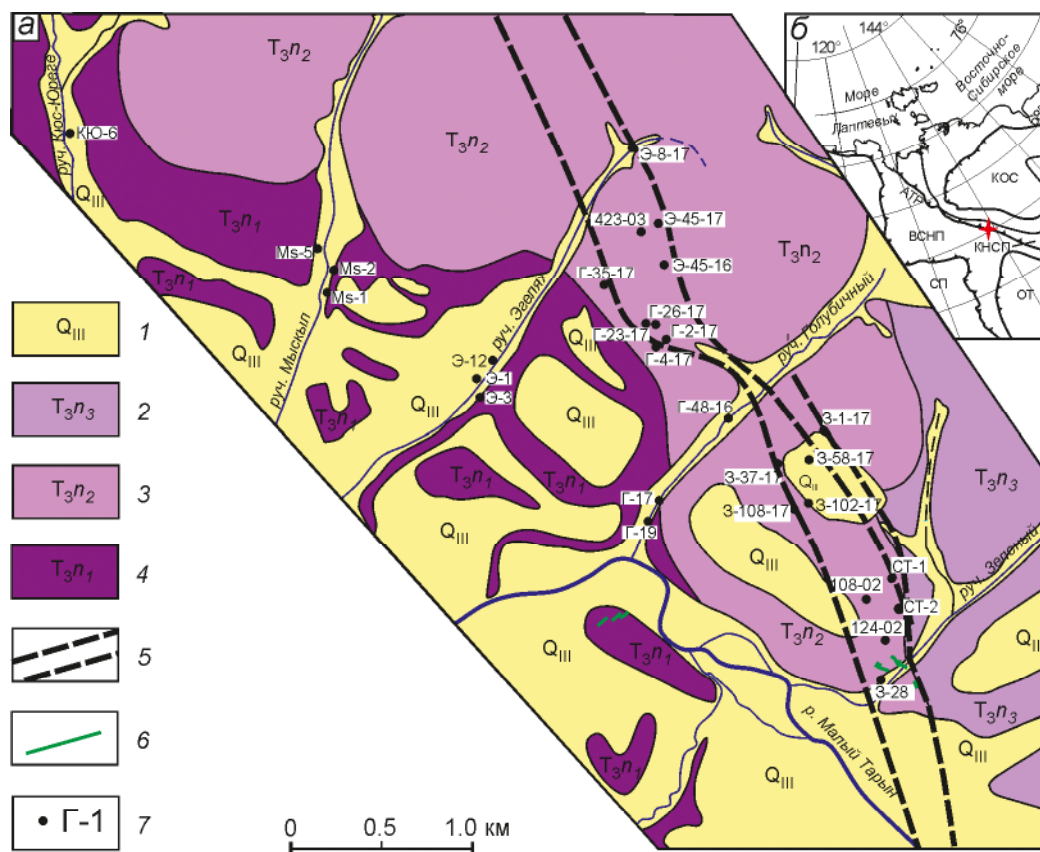


Рис. 1. Схема геологического строения центральной части Мало-Тарынского золоторудного месторождения (а) и положение изученных образцов пород.

1–4 – отложения: 1 – современные аллювиальные и среднеплейстоценовые (Q_{III}); 2–4 – верхнетриасовые: 2 – верхненорийские, 3 – средненорийские, 4 – нижненорийские; 5 – минерализованные зоны дробления; 6 – дайки базитов; 7 – места отбора проб (см. табл. 1). На врезке показано положение района работ (б). СП – Сибирская платформа; ВСНП – Верхоянский складчато-надвиговый пояс; ОТ – Охотский террейн; КОС – Колымо-Омолонский супертеррейн; КНСП – Кулар-Нерский сланцевый пояс; АТР – Адыча-Тарынский разлом.

Состав пород определен с использованием классического оптического метода (микроскоп Axio Imager M1). Содержания главных элементов в породах определялись методом «мокрой химии» в Институте геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (аналитик Галенчикова Л.Т.). Рентгенофазовый анализ (РФА) выполнен на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker (Германия), $CuK\alpha$ излучение, 30 кв, 10 ма. Использовали базу данных PDF 2. Дополнительно выполнена съемка образцов, насыщенных этиленгликолем, для выявления минерала из группы смектита и образцов, прокаленных при 500 °С. Определение микроэлементов и редкоземельных элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS, ООО «Плазма», г. Томск). Применялась методика МВИ№ 002-ХМС-2009, ФР.1.31.2010.06997(методика выполнения измерений массовых долей 62 элементов в почвах, донных отло-

жениях, горных породах и сплавах цветных металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой) (www.plasma-tomsk.ru/our-methods).

Анализ полученных данных был проведен как по абсолютным значениям, так и по коэффициентам концентрации (КК), рассчитанным путем нормирования к кларковым содержаниям в земной коре и хондритах [21], а также к региональным кларкам коры Южного Верхоянья [12]. В связи с большим размахом вариаций содержаний редких и редкоземельных элементов были рассчитаны средние содержания (\bar{X}), коэффициенты вариации (CV), размах вариации (R) и средние квадратические отклонения (σ). Для приближенной оценки привноса-выноса главных компонентов, их перераспределения и динамики перемещения в рудных зонах и вмещающих породах применен «кислородный метод» Т. Барта [19]. Также был рассчитан ряд показателей и соотношений между эле-

Таблица 1. Местоположение и характеристика изученных образцов пород МТМ.

n/n	Место отбора	Характеристика породы
1	Участок Голубичный, обр. Г-17; Г-19	Песчаник
3	Участок Эгелях, обр. Э-1; Э-3; Э-12	Алевропесчаник
4	Участок Зеленый, обр. 3-28	Алевролит
5	Участок Кюс-Юрюге, обр. КЮ-6	Алевролит
6	Участок Мыскыл, обр. Ms-1; Ms-2; Ms-5	Алевролит
7	Участок Зеленый, скважина 108-02, обр. 108-02	Метасоматит по алевропесчанику
8	Участок Зеленый, скважина 124-02, обр. 124	Метасоматит с вкрапленностью пирита по песчанику
9	Участок Зеленый, скважина 124-02а, обр. 124-02а	Метасоматит с вкрапленностью пирита по песчанику
10	Участок Зеленый, скважина 423-03, обр. 423-03	Метасоматит по алевропесчанику с кварцевыми прожилками
11	Участок Зеленый, скважина СТ-1, обр. СТ-1-311	Метасоматит по песчанику с вкрапленностью пирита
12	Участок Зеленый, канава 236, обр. 3-1-17; 3-37-17	Метасоматит по песчанику с вкрапленностью пирита
13	Участок Зеленый, канава 231, обр. 3-58-17	Метасоматит по песчанику с вкрапленностью пирита
14	Участок Зеленый, канава 231, обр. 3-102-17; 3-108-17	Метасоматит по песчанику с вкрапленностью пирита
15	Участок Голубичный, канава 351, обр. Г-4-17	Метасоматит по песчанику
16	Участок Голубичный, канава 371, обр. Г-23-17	Метасоматит по песчанику с вкрапленностью пирита
17	Участок Зеленый, скважина СТ-1-327, обр. СТ-1-327	Минерализованная зона дробления
18	Участок Зеленый, скважина СТ-2-33, обр. СТ-2-33	Минерализованная зона дробления
19	Участок Эгелях, обр. Э-55-16;	Минерализованная зона дробления
20	Участок Эгелях, обр. Э-74-16; Э-8-17; Э-45-17	Минерализованная зона дробления
21	Участок Голубичный, обр. Г-48	Минерализованная зона дробления
22	Участок Голубичный, канава 351, обр. Г-2-17	Минерализованная зона дробления
23	Участок Голубичный, канава 371, обр. Г-26-17	Минерализованная зона дробления
24	Участок Голубичный, канава 387, обр. Г-35-17	Минерализованная зона дробления

ментами: REE, LREEN, HREEN, Co/Ni, Nb/La, Hf/La, (La/Yb)_n, (La/Sm)_n, (Gd/Yb)_n, Eu/Eu*, Ce/Ce*, TE [9, 26, 30], что позволяет уточнить условия формирования, геохимические особенности руд и вмещающих пород месторождения. Для выявления парагенетических ассоциаций микроэлементов были рассчитаны коэффициенты парной корреляции по методу Пирсона. В обработку были взяты элементы, содержания которых в породах превышают кларковые значения в 2 и более раза. В состав ассоциаций включались элементы, имеющие «очень тесные положительные связи» ($r = 0.7-1.0$) [15].

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

МТМ расположено на границе Верхоянского складчато-надвигового и Кулар-Нерского сланцевого поясов, разделенных Адыча-Тарынским разломом длительного развития [23, 24]. Такое геоструктурное положение территории обусловило нестабильность условий осадконакопления в изменяющихся редокс-обстановках при масштабном поступлении в бассейн многокомпонентного обломочного материала и его накопления в конусах выноса склона и подножия Верхоянской пассивной континентальной окраины [17, 18, 22]. В дальнейшем в поздней юре-неокоме происходили субдукционно-аккреционные и колли-

зионные события, сопровождающиеся многоэтапной тектоно-магматической активностью и формированием разновозрастной минерализации, часто совмещенной в длительно развивающихся тектонических зонах [21, 24].

МТМ является типичным представителем орогенного типа месторождений (orogenic gold deposit) [28, 29]. Характеристики его геологического строения, магматизма, минерального состава, условий рудообразования, возможных источников флюидов представлены в недавно опубликованных работах авторов [6, 10, 23, 28, 34]. Основной структурой, контролирующей положение месторождения, является Мало-Тарынский разлом (рис. 1). Он представлен зонами дробления и смятия, повышенной трещиноватости пород преобладающего северо-западного, а на отдельных отрезках субмеридионального простирания.

Жильно-прожилковая золото-кварцевая минерализация распространена неравномерно, характеризуется высокими содержаниями золота до нескольких сотен г/т. Вкрапленная золото-сульфидная минерализация проявлена как в зонах дробления и смятия мощностью до нескольких десятков метров, так и во вмещающих терригенных породах, формируя довольно обширные ореолы в разной степени золотоносных пирита и арсенопирита. Среднее содержание золота в

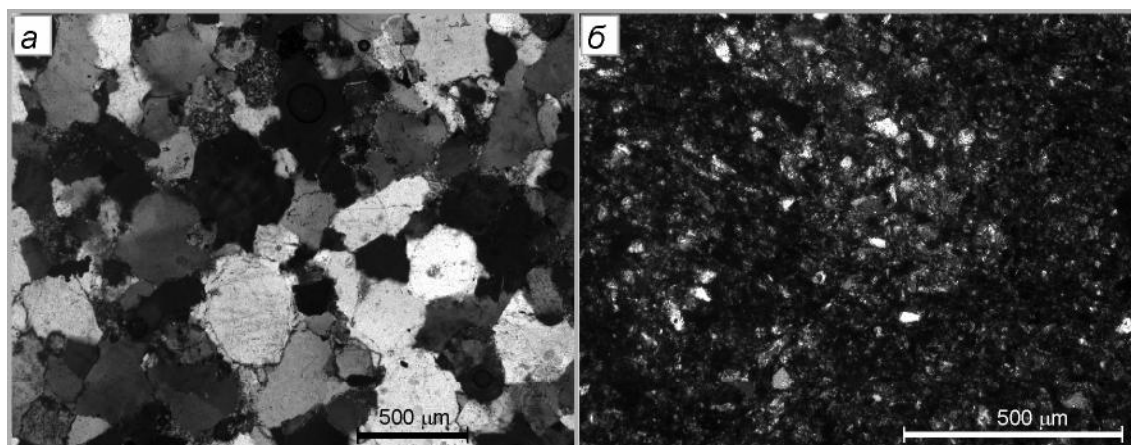


Рис. 2. Кварц-полевошпатовый мелкозернистый массивный песчаник (а) и мелкозернистый алевролит (б). Верхний триас, нижненорийские отложения (T_3n_1).

рудных зонах изменяется от 2.75 до 13.31 г/т [11]. В пирит-арсенопирит-кварцевых метасоматитах содержание золота достигает в пирите 10.1 г/т, в арсенопирите до 73.2 г/т.

Рудовмещающими толщами являются норийские отложения верхнего триаса. Они представлены переслаиванием преимущественно мелко- и среднезернистых песчаников с прослоями алевролитов и алевропесчаников. Отложения норийского яруса разделены на три подъяруса. Нижний подъярус (T_3n_1) представлен переслаиванием алевролитов, кварцево-полевошпатовых и кварцевых песчаников с линзами мелкогалечного конгломерата. Отложения среднего подъяруса (T_3n_2) – алевролиты, в меньшей степени мелкозернистые песчаники. Верхний подъярус (T_3n_2) сложен алевролитами с редкими прослоями песчаников.

Песчаники серые, темно-серые с буроватым оттенком, от тонко- до грубозернистых, в основном тонко- и грубослоистые, реже массивные. В переходных разновидностях (алевропесчаниках) отмечается линзовиднослоистая текстура. В обломочном материале присутствуют кварц, плагиоклаз, полевой шпат, обломки эффузивных пород, мусковит, биотит (рис. 2, а). В песчаниках развит смешанный контакто-базальный, пленочный, крустификационный, коррозионный, регенерационный типы цементации. Состав цемента кварцево-углисто-слюдистый, слюди-сто-хлорит-железистый.

Алевролиты темно-серые, тонко-среднезернистые, алевритовой, псаммоалевропелитовой и алевропелитовой структуры, тонко-, косо-, линзовиднослоистые (рис. 2, б). Кластический материал представлен зернами кварца, плагиоклаза, пластинками слюд, обломками сланцев и эффузивных пород. Це-

мент базальный, контактовый, поровый, по составу кварц-хлорит-глинистый, содержит карбонатный и углистый материал. Из аксессуарных минералов присутствуют апатит, рутил, циркон.

Преобразования осадочных пород достигли уровня глубокого катагенеза–метакатагенеза и начальных стадий зеленосланцевого метаморфизма, а в зонах влияния разрывных нарушений проявлены процессы динамометаморфизма. В результате преобразований произошла вещественная и текстурно-структурная перестройка пород. В песчаниках сформированы рекристаллизационно-грануляционные и полнобластические (гранобластовые) структуры (рис. 3, б) [25]. Дальнейшая гидротермально-метаморфогенная проработка пород привела к формированию маломощных прожилков кварц-хлорит-карбонатного состава и мелкой вкрапленности пирита и марказита. В цементе пород началось формирование новообразованных минералов (гидрослюда, серицит, карбонат).

Околорудные метасоматиты развиты в при-зальбандовых частях кварцевых жил и минерализованных зон дробления и представлены серицитизированными и окварцованными песчаниками и алевропесчаниками с неравномерной вкрапленностью кубических метакристаллов пирита и призматических метакристаллов арсенопирита (рис. 3).

Проявлена интенсивная трещиноватость, развиты нитевидные кварц-карбонатные прожилки. Алевритистые разновидности кливажированы, по плоскостям кливажа наблюдается серицит. В породах широко проявлены процессы лимонитизации. Рудные минералы метасоматической ассоциации представлены идиоморфными кубическими зернами пирита (рис. 3, а, б), зернами арсенопирита призматической,

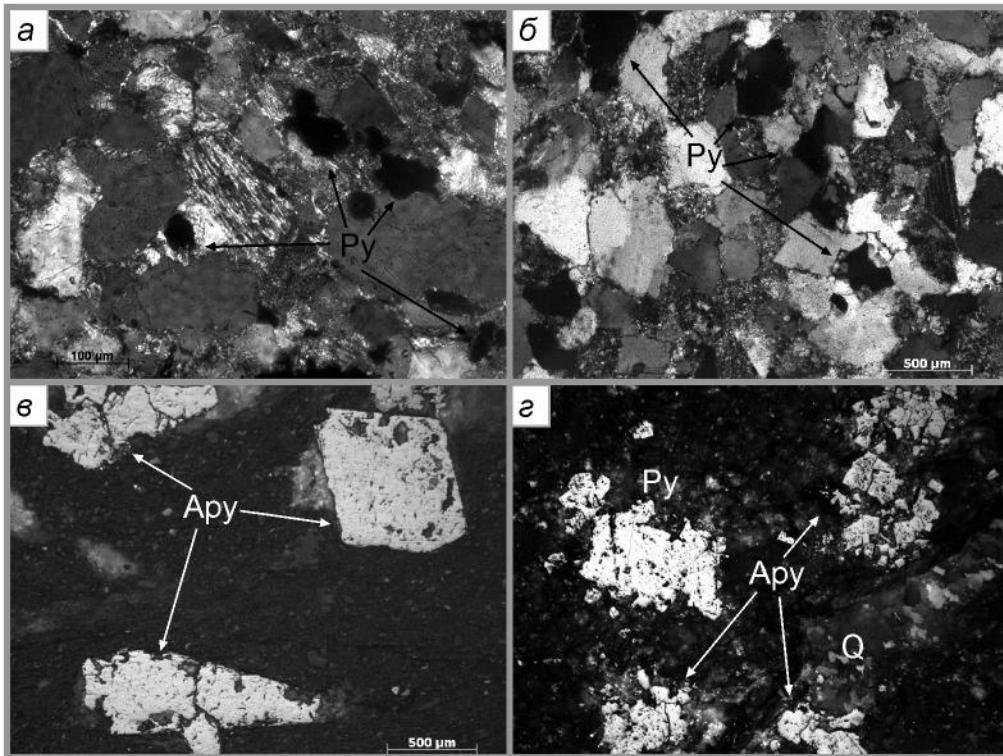


Рис. 3. Околорудные метасоматиты

а – серицит-сульфидный метасоматит по песчанику; *б* – кварц-карбонат-сульфидный метасоматит по песчанику; *в* – идиоморфные зерна арсенопирита (Ару) с развивающимися коррозионными микротекстурами; *г* – пирит-арсенопиритовые агрегаты (Ру-Ару) и кварцевый (Q) прожилок в алевролите.

реже ромбовидной формы (рис. 3, в) и кварцевыми микропрожилками (рис. 3, г). Для минералов метасоматической ассоциации характерны идиоморфно- и гипидиоморфнометазернистые структуры и прожилково-вкрапленные текстуры, а также микротекстуры дробления и коррозии (замещения и разъедания).

Многостадийность формирования рудовмещающих толщ отражена в метасоматической колонке: региональный метаморфизм – дорудный метасоматоз – околорудные метасоматиты (березиты).

Минерализованные зоны дробления и смятия имеют сложную морфологию, часто линейные участки сменяются раздувами и пережимами (рис. 4). В катаклазированном матриксе проявлены разноориентированные системы кварцевых жил и прожилков с гнездами арсенопирита, вкрапленниками галенита, сфалерита, халькопирита и золота.

По данным РФА, главным минералом рудных зон является кварц, как постоянные примеси отмечаются минералы группы полевых шпатов, слюд и смектита. Достаточно часто (30–35 % образцов) в составе рудных зон диагностируются доломит и хлорит. Продукты окисления сульфидов (пирита, марказита,

арсенопирита) представлены ярозитом, реже гетитом и водными арсенатами железа скородитом и фармакоцидеритом (рис. 4).

Минеральный состав кварцевых жил МТМ хорошо изучен [1, 24]. Пирит и арсенопирит ранней жильной ассоциации являются сокварцевыми и наблюдаются как в виде гнездовых обособлений, так и в виде вкрапленности идиоморфных зерен. Первично идиоморфные зерна часто подвергаются катаклазу и коррозии (рис. 5, а). В зернах и агрегатах пирита и арсенопирита наблюдаются микроскопические включения галенита, сфалерита, халькопирита и золота.

На участках с развитием жильного типа оруденения минералы золото-полисульфидной ассоциации представлены микровключениями в кристаллах пирита и арсенопирита, в молочно-белом кварце формируют вкрапленную и гнездовидную текстуры. Основные минералы руд представлены соединениями Fe, As, S, Pb, Cu, Sb, Zn, определяя главные формы нахождения этих элементов в рудах и метасоматитах. Границы между зернами сфалерита и галенита равновесные, для сфалерита характерно развитие эмульсионных вкрапленников халькопирита (рис. 5, б).



Рис. 4. Общий вид рудной зоны участка Зеленый Мало-Тарынского месторождения

Кварц (Q), полевые шпаты (Fs), серицит (Srs), смектит (Sm), доломит (Do), хлорит (Cl), гипс (G), ярозит (Ya), сидерит (Sr), пирит (Py), арсенопирит (Apy), марказит (Ms).

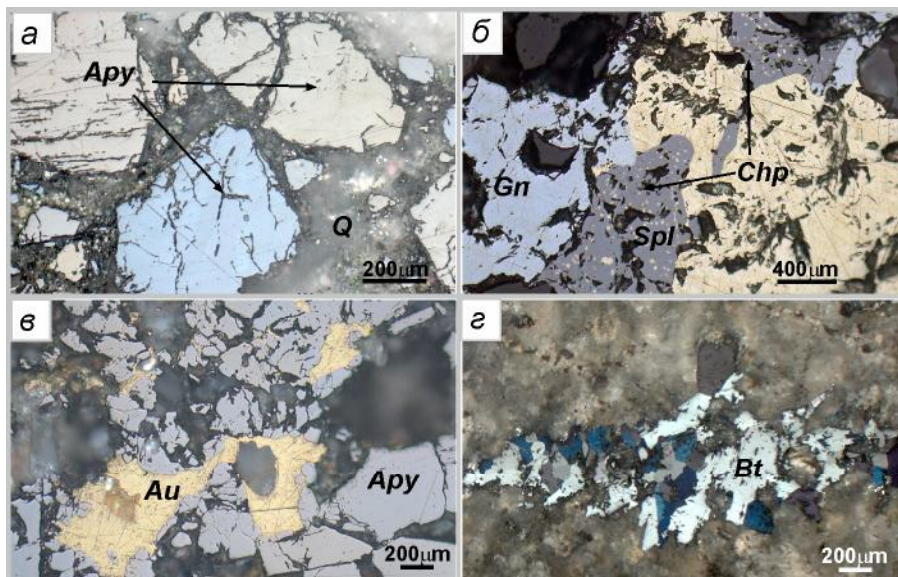


Рис. 5. Минеральный состав руд жильного типа.

а – микротекстуры дробления и коррозии, развитые по зернам арсенопирита (Apy); *б* – галенит (Gn)-сфалерит (Spl)-халькопиритовый (Chp) агрегат (по сфалериту развита эмульсионная структура распада твердого раствора); *в* – заполнение трещин в арсенопирите (Apy) золотом (Au); *з* – микропрожилки бертьерита (Bt).

Развиты аллотриоморфно-бластические структуры и структуры распада твердого раствора. Размер сростаний минералов продуктивной полисульфидной ассоциации – первые миллиметры, жильный арсенопирит формирует в кварцевых жилах гнезда значительных размеров (до 1.5–2 м). Самородное золото формировалось одновременно с минералами золото-полисульфидной ассоциации, о чем свидетельствует их совместное нахождение и тесные сростания в одних и тех же прожилках или трещинах. Оно развивается в интерстициях зерен кварца или заполняет микротрещины в более ранних минералах (рис. 5, *в*). Поздняя бертьерит-антимонитовая минерализация представ-

лена микропрожилками и оторочками бертьерита (рис. 5, *з*), антимонита и карбонатами: сидеритом и доломит-анкеритом.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Главные химические элементы. Содержания породообразующих элементов в метасоматитах и рудных зонах характеризуются широким диапазоном изменений (табл. 2, рис. 6). Концентрации SiO₂ во вмещающих и измененных породах сопоставимы, но в метасоматитах и рудных зонах часто кремнезема все же больше (более 80 %). Среднее содержание Al₂O₃ в породах составляет 14.6 %, а в метасоматитах

и рудных зонах оно снижается до 9.8 %. Измененные породы несколько обеднены MgO, MnO и P₂O₅, в метасоматитах и рудных зонах отмечается повышенное, относительно вмещающих пород, содержание FeO (до 6.1 %), а в рудных зонах – Fe₂O₃ (до 5.7 %), что указывает на пиритизацию пород. Содержания в осадочных породах K₂O (1.3–2.91 %) и Na₂O (1.62–2.71 %) устойчивы, при переменном преобладании калия или натрия, а в метасоматитах и рудных зонах размах вариаций их концентраций заметно больше.

Наиболее контрастные изменения характерны для кальция: в кремнеземистых метасоматитах и рудных зонах происходит вынос практически всех элементов, наблюдаются минимальные содержания CaO (до 0.04 %), участки развития карбонатных метасоматитов и карбонатного прожилкования характеризуются максимальными содержаниями CaO (до 17.6 %). Концентрация S_{общ} в рудных зонах повышается до 1.86 % относительно неизменных пород (S_{общ} = 0.02–0.13 %), что отражает общую повышенную сульфидизацию руд.

Данные, полученные в результате пересчета по методу Барта [19], показывают, что при формировании рудных зон происходит вынос Ti, Al, K и Na, при активном привносе Ca и CO₂ (табл. 3). Поведение железа определить сложно, так как помимо сульфидизации в рудах отмечается гипергенное ожелезнение, нарушающее общий баланс процесса и не позволяющее учесть данные химического анализа однозначно. Увеличение доли Si в рудных зонах связано с окварцеванием пород и развитием кварцевых прожилков.

Микроэлементы. Распределение микроэлементов в изучаемых породах неоднородное. В малоизмененных вмещающих породах коэффициент вариации (CV) большинства элементов изменяется в пределах от 12 до 33 %, что дает возможность считать выборку как однородную со значительной степенью рассеяния. Коэффициент вариации и среднеквадратическое отклонение содержаний микроэлементов в метасоматитах и рудных зонах свидетельствуют о высокой степени изменчивости (табл. 4).

Малоизмененные вмещающие породы МТМ обогащены относительно кларковых содержаний земной коры Li (КК_{кр.} = 2.54), Cr (КК_{кр.} = 6.67), Ag (КК_{кр.} = 5.9), Ni (КК_{кр.} = 2.25), As (КК_{кр.} = 12.3), Cd (КК_{кр.} = 3.34) и Sb (КК_{кр.} = 16.25) (рис. 7, а). Содержания Co, Ni, Zn, Cu, Mo превышают среднекларковые в 1.5–2.0 раза. Проведен сравнительный анализ с региональным геофоном пород Южного Верхоянья по данным Кокина А.В и др. [12]. Для Южно-Верхоянской провинции характерно избыточное накопление Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Mo, Ag, Sn, Pb, W и Au. Относительно среднекларковых

содержаний микроэлементов в стратифицированной коре Южного Верхоянья терригенные породы верхнего триаса МТМ обогащены Li (КК_{кр.} = 1.69), Cr (КК_{кр.} = 4.03), Ag (КК_{кр.} = 1.64), Ba (КК_{кр.} = 2.39) и Pb (КК_{кр.} = 2.09) (рис. 7, а). Изучены содержания микроэлементов в рудных зонах и околорудных метасоматитах относительно малоизмененных вмещающих пород МТМ (рис. 7, б). Содержания As и Sb закономерно повышаются в системе порода – метасоматиты – рудные зоны. Содержание этих элементов в метасоматитах превышает содержание во вмещающих в 2–3 раза, а в рудных зонах – в десятки раз. Отмечается устойчивое повышенное содержание W в метасоматитах (КК_{кр.} = 2.2) и рудных зонах (КК_{кр.} = 7.46) и реже Mo (КК_{кр.} = 1.38, рудные зоны).

Результаты парной корреляции показали наличие устойчивой связи As–W, в метасоматитах и рудных зонах в данную ассоциацию также входит сурьма (As–W–Sb). Вторая устойчивая парагенетическая ассоциация Co–Cu–Ni–Zn проявляется как в измененных, так и неизмененных породах.

Редкоземельные элементы. Общий состав РЗЭ в изучаемых породах не выдержан, коэффициент вариации для отдельных элементов изменяется в пределах от 14 до 31 %, в общем, характеризуя выборки как однородные со средней (для малоизмененных пород) и значительной степенью рассеяния (для метасоматитов). Коэффициент вариации для РЗЭ из рудных зон превышает 35 %, что характеризует неоднородность совокупности. Сумма РЗЭ во вмещающих породах изменяется от 117.62 до 193.87 ppm (REE_{кр.} = 156.49 ppm), что соизмеримо со средними содержаниями РЗЭ в глинистых сланцах и алевролитах [21]. В метасоматитах и рудных зонах суммарное содержание РЗЭ изменяется в более широком диапазоне от 80.32 до 188.27 ppm (REE_{кр.} = 116.6 ppm для метасоматитов и REE_{кр.} = 100.89 ppm для рудных зон) (табл. 5).

Нормированные на хондрит содержания РЗЭ в изученных породах образуют наклонные спектры, в целом сходные с распределением РЗЭ во вмещающих верхнетриасовых породах с некоторой тенденцией к уменьшению их суммы (рис. 8). Они образуют малоамплитудные изгибы, что связано с процессами фракционирования РЗЭ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ содержаний главных элементов, микроэлементов и РЗЭ во вмещающих малоизмененных породах, околорудных метасоматитах и минерализованных зонах дробления и смятия позволяет уточнить условия формирования Мало-Тарынского месторождения.

Таблица 2. Содержание главных химических элементов (в мас. %) в малоизмененных породах, метасоматитах и рудных зонах МТМ.

Элементы	Малоизмененные вмещающие породы							Метасоматиты				Рудные зоны				
	Г-17	Г-19	Э-1	3-28	КЮ-6	Ms-1	108-02	423-03	124-02	124-02a	CT-1-311	CT-1-327	CT-2-338	Э-55	Э-74	Г-48
SiO ₂	64.88	73.84	61.93	56.89	61.09	54.87	58.69	56.9	51.43	83.28	83.29	70.61	70.87	55.56	87.4	66.51
TiO ₂	1.07	0.61	0.91	1.16	1.08	0.74	0.94	0.85	0.66	0.13	0.25	0.85	0.73	0.32	0.41	1.09
Al ₂ O ₃	12.22	9.19	16.00	20.06	17.82	12.02	17.02	12.00	7.32	4.37	4.94	13.44	11.52	7	6.23	13.88
Fe ₂ O ₃	2.42	1.71	2.39	3.38	1.74	2.34	0.76	2.07	0.77	0.44	1.62	1.96	2.66	5.67	0.72	2.97
FeO	3.62	2.06	4.25	5.06	4.90	5.11	6.11	4.88	3.43	2.27	1.15	1.57	1.01	3.88	1.57	4.14
MnO	0.05	0.05	0.07	0.05	0.02	0.35	0.09	0.16	0.12	0.08	0.04	0.04	0.03	0.12	0.04	0.03
MgO	1.73	0.98	1.98	2.3	2.41	2.85	2.00	3.25	1.43	0.72	1.03	0.62	0.84	2.62	0.12	1.59
CaO	3.05	2.45	1.54	0.51	0.46	6.56	1.82	5.66	17.56	3.53	2.20	0.04	0.55	9.58	0.26	0.8
Na ₂ O	2.01	2.71	2.28	1.62	2.37	2.12	2.00	1.99	1.31	1.28	0.46	3.34	0.47	0.58	0.2	2.62
K ₂ O	2.22	1.30	2.77	2.91	2.66	1.68	3.42	1.95	0.91	0.32	1.13	3.22	3.34	0.71	1.78	2.17
P ₂ O ₅	0.15	0.12	0.28	0.31	0.23	0.22	0.18	0.36	0.09	0.07	0.05	0.11	0.07	0.16	0.04	0.22
CO ₂	3.80	2.98	1.34	не обн.	0.16	8.38	0.82	5.78	13.05	2.65	2.13	не обн.	не обн.	9.95	не обн.	0.47
S	0.13	0.04	не обн.	0.07	0.02	0.08	0.05	0.11	0.16	0.13	0.32	0.38	1.34	1.86	0.04	0.8
F	0.09	0.06	0.12	0.12	0.11	0.08	0.05	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03	0.05
H ₂ O-	0.10	0.12	0.24	0.4	0.22	0.12	0.04	0.36	0.36	0.14	0.40	0.5	1.28	0.63	0.08	0.22
H ₂ O ⁺	2.55	1.48	2.68	4.12	3.14	2.68	3.40	3.33	1.65	0.97	0.81	1.26	3.04	1.6	0.56	1.97
Σ	100.09	99.7	98.78	98.96	98.43	100.2	97.39	99.71	100.28	100.40	104.80	97.97	97.81	100.28	99.48	99.53
ППП	не обн.	не обн.	1.10	1.16	1.28	не обн.	2.20	не обн.	не обн.	0.15	0.01	1.99	3.15	не обн.	0.45	1.00

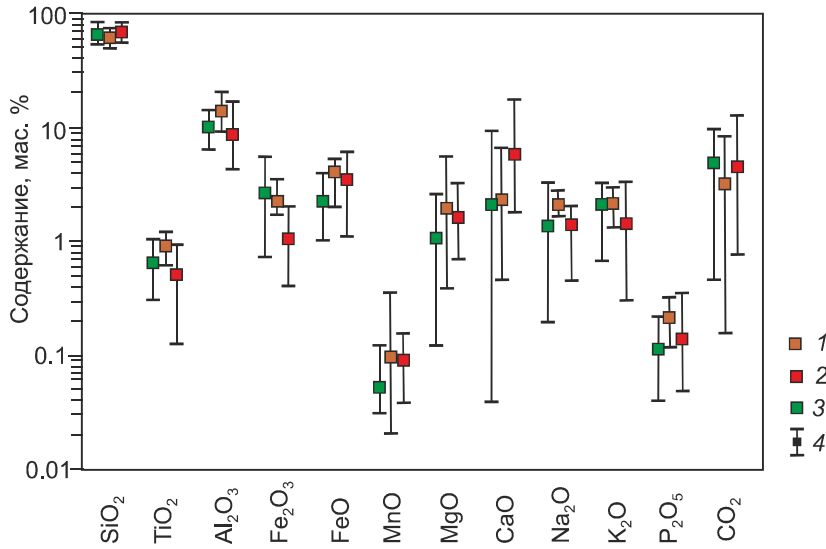


Рис. 6. Вариации содержаний главных элементов в неизмененных породах (1), метасоматитах (2), рудных зонах (3), диапазон изменения (min; max; среднее содержание) (4).

Таблица 3. Характер изменения химического состава малоизмененных пород и рудных зон МТМ.

Элементы	Кол-во атомов в СКЯ*		П/в-1**	Кол-во атомов в СКЯ*		П/в-2	Кол-во атомов в СКЯ		П/в-3	Кол-во атомов в СКЯ*		П/в-4
	Н.п.	Р.з.		Н.п.	Р.з.		Н.п.	Р.з.		Н.п.	Р.з.	
Si	62.19	55.09	-7.10	59.69	70.11	10.43	61.45	68.13	6.69	60.99	51.83	-9.16
Ti	0.69	0.62	-0.07	0.92	0.16	-0.76	0.76	0.84	0.08	0.76	0.22	-0.53
Al	9.47	6.85	-2.62	12.40	2.45	-9.95	6.82	8.38	1.56	10.88	3.85	-7.03
Fe ³⁺	0.90	0.75	-0.15	1.33	0.51	-0.82	0.86	1.14	0.28	0.80	1.99	1.19
Fe ²⁺	3.57	3.95	0.38	4.44	0.81	-3.63	2.87	3.55	0.68	2.95	3.03	0.08
Mn	0.06	0.13	0.07	0.04	0.03	-0.02	0.04	0.03	-0.01	0.03	0.09	0.07
Mg	2.96	4.69	1.73	3.59	1.29	-2.30	2.44	2.43	-0.01	3.41	3.64	0.23
Ca	1.66	5.87	4.21	0.57	1.98	1.41	3.10	0.88	-2.22	0.67	9.58	8.91
Na	2.22	1.87	-0.35	1.65	0.38	-1.27	1.85	2.60	0.76	2.27	0.52	-1.75
K	1.77	1.20	-0.57	1.95	0.61	-1.34	1.34	1.42	0.08	2.16	0.42	-1.73
P	0.12	0.15	0.03	0.14	1.78	1.64	0.06	0.10	0.04	0.10	0.06	-0.04
C	1.84	7.64	5.80	0.00	2.45	2.45	4.91	0.66	-4.26	0.07	12.67	12.61
H	17.95	21.51	3.55	28.83	4.55	-24.29	16.11	13.46	-2.65	18.92	9.96	-8.96
Σ кат.	105.40	110.32	4.91	115.56	87.11	-28.45	102.60	103.61	1.00	103.99	97.87	-6.12
Σ ан.	142.05	138.49	-3.55	131.17	155.45	24.29	143.89	146.54	2.65	141.08	150.04	8.96

Примечание. *СКЯ – «стандартная кислородная ячейка»: Н.п. – неизмененные породы; Р.з. – рудные зоны; **П/в – привнос/вынос катионов на стандартную ячейку.

В результате гидротермально-метасоматической проработки в породах протекали процессы гидрослюдизации, карбонатизации, сульфидизации и окварцевания. Околорудные метасоматиты (березиты) носят линейный характер и имеют зональное строение относительно главного канала рудоотложения. При увеличении доли кварца в околорудных метасоматитах и рудных зонах происходил вынос большинства порообразующих элементов: К, Na, Al, Fe, Mg, Ti, а также редкоземельных элементов. В метасоматических процессах миграционная способность малоподвижных элементов, таких как Al и Ti, может изменяться в результате смены кислотно-щелочных условий и благодаря особенностям раствора.

С увеличением кислотности растворов или в зоне окисления сульфидов миграционная способность Al и Ti усиливается. Вынос этих элементов из пород наблюдается при воздействии относительно низкотемпературных (220–340 °С) слабокислых (pH = 4) растворов [16], что соответствует условиям формирования околорудных березитов.

В осадочных породах наблюдаются повышенные, относительно кларков земной коры, содержания As, Sb, Ag и реже Au. Сравнение с региональным геофоном Южного Верхоянья показало увеличение концентраций Ag и Pb. В результате гидротермально-ме-

Таблица 4. Характеристики вариаций содержания микроэлементов (в ppm) в малоизмененных породах, метасоматитах и рудных зонах МТМ.

№	Малоизмененные породы					Метасоматиты					Рудные зоны				
	\bar{X}	R	σ	CV	КК	\bar{X}	R	σ	CV	КК	\bar{X}	R	σ	CV	КК
Li	50.77	117.0	33.42	65.82	2.54	31.28	69.6	20.45	65.39	1.56	140.31	208.7	86.53	61.67	5.69
Be	2.04	1.6	0.51	25.24	0.68	1.35	2.3	0.83	61.47	0.45	2.29	1.9	0.65	28.23	0.60
Cr	233.60	250.0	88.90	38.06	6.67	206.35	323.2	93.48	45.30	5.90	123.92	159.0	52.50	42.37	3.76
Au											3.24	11.4	5.71	176.00	96.35
Ag	0.30	0.1	0.05	17.30	5.90	0.34	0.6	0.19	56.70	6.77	0.52	1.9	0.68	130.69	8.58
Co	14.53	11.7	3.16	21.75	1.45	7.87	14.4	4.67	59.32	0.79	12.04	13.9	5.70	47.37	1.14
Ni	44.92	47.0	14.08	31.35	2.25	18.98	29.8	10.10	53.23	0.85	16.26	49.8	18.98	116.73	0.71
Cu	28.26	33.0	9.37	33.15	1.13	21.86	41.8	11.50	52.63	0.87	24.19	32.3	12.09	49.99	0.93
Zn	106.90	112.0	36.81	34.43	1.51	62.15	59.9	21.72	34.95	0.88	74.26	82.2	24.52	33.01	0.98
Ga	16.52	12.8	4.14	25.03	0.97	14.48	23.4	6.78	46.83	0.85	15.80	11.7	3.84	24.28	0.85
Ge	1.59	0.7	0.19	12.02	0.99	1.44	1.3	0.38	26.70	0.90	1.51	0.7	0.23	15.06	1.02
As	18.45	20.0	8.35	45.28	12.30	54.92	123.1	42.05	76.57	25.63	518.12	2666.1	981.45	189.43	472.70
Rb	70.76	57.0	20.04	28.32	0.63	59.24	101.0	29.28	49.43	0.53	72.80	89.7	31.25	42.93	0.60
Sr	210.30	250.0	76.41	36.33	0.60	137.94	84.5	34.12	24.73	0.39	157.96	162.4	63.67	40.31	0.48
Y	14.93	8.7	2.58	17.30	0.68	13.33	14.0	4.01	30.09	0.61	12.50	13.6	4.43	35.42	0.51
Zr	143.30	97.0	36.47	25.45	0.75	97.46	100.8	34.48	35.38	0.51	106.23	110.1	36.92	34.75	0.52
Nb	16.18	10.0	3.02	18.67	0.65	10.37	10.1	3.73	35.95	0.41	8.08	13.1	5.37	66.44	0.32
Mo	1.96	3.8	1.24	63.44	1.31	1.70	2.8	0.81	47.95	1.13	2.99	6.8	2.60	86.88	1.80
Cd	0.33	0.2	0.08	24.48	3.34	0.17	0.2	0.05	29.84	1.75	0.20	0.3	0.10	49.71	1.70
Sn	2.31	1.3	0.48	20.56	0.42	1.68	2.5	0.73	43.80	0.30	2.08	1.3	0.51	24.30	0.36
Sb	3.25	8.0	2.32	71.53	16.25	7.81	23.0	6.99	89.52	39.06	42.80	52.2	16.91	39.52	175.10
Cs	3.89	4.2	1.50	38.49	1.05	4.61	9.2	2.71	58.77	1.25	25.35	56.2	21.54	85.00	5.48
Ba	382.00	320.0	91.63	23.99	0.69	347.46	530.5	156.04	44.91	0.63	433.23	951.4	332.53	76.75	0.74
Hf	2.53	1.7	0.60	23.79	0.44	2.34	2.6	0.80	33.97	0.40	2.57	1.5	0.54	20.85	0.42
W	1.59	1.1	0.41	25.55	0.79	3.50	17.8	5.46	155.86	1.75	14.92	25.9	11.24	75.35	5.93
Pb	15.29	17.7	5.12	33.51	0.76	12.05	18.1	6.18	51.30	0.60	16.95	21.3	7.05	41.60	0.73
Bi	0.13	0.1	0.04	31.38	0.99	0.12	0.4	0.11	87.13	0.96	0.13	0.1	0.05	37.53	0.91

Примечание. \bar{X} – среднее содержание, R – размах вариации, σ – среднее квадратичное отклонение, CV – коэффициент вариации, КК – коэффициент концентрации нормирован к кларковым содержаниям в земной коре [21].

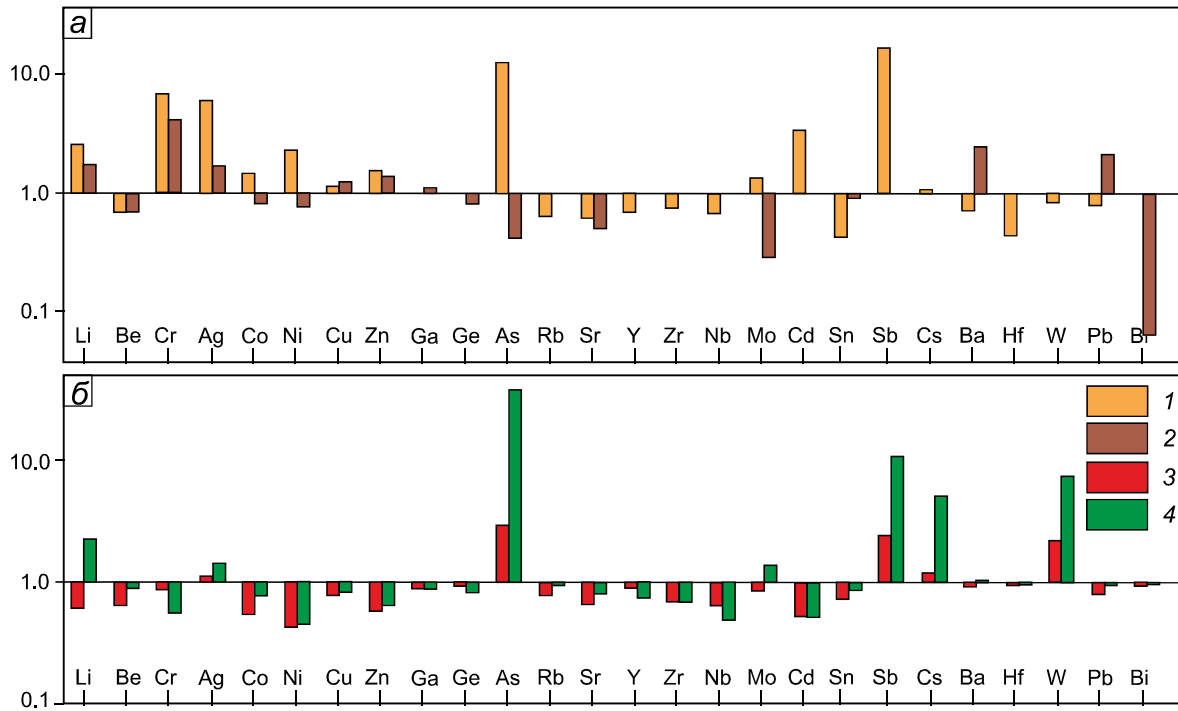


Рис. 7. Распределение микроэлементов.

а – в малоизмененных вмещающих породах, содержания нормализованы к средним значениям для верхней коры (1) [21], к кларкам коры Южного Верхоянья (2) [12];

б – в околорудных метасоматитах (3) и рудных зонах (4). Содержания нормализованы к малоизмененным породам верхнего триаса Мало-Тарынского месторождения.

тасоматических преобразований концентрации этих элементов в рудных зонах увеличиваются в сотни раз. Повышенные содержания Co и Ni фиксируются во вмещающих породах (КК = 1.2–3.4), а в метасоматитах и рудных зонах они ниже кларковых содержаний, при этом между ними сохраняется тесная корреляционная связь ($r = 0.4–0.7$), что может свидетельствовать о первичной специализации осадков. Установлена обогащенность руд W (КК_{max} = 13.9) и Mo (КК_{max} = 5.2). Появление гранитофильных элементов в метасоматитах и рудных зонах, вероятно, связано с наложением на орогенное золото-кварцевое оруденение (142.7 ± 1.8 млн лет, серицит, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, [24]) золото-висмутовой минерализации, ассоциирующей с гранодиорит-гранитными плутонами (136.7 ± 0.4 Ма, биотит, гранодориты, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)[31], вскрывающимися к северо-западу от Мало-Тарынского месторождения. Магматическое тело предполагается также на глубине по появлению в скважинах пирротина [1].

Концентрация РЗЭ в минерализованных зонах уменьшается по сравнению с протолитом в 3–5 раз, что характерно для большинства золоторудных месторождений Верхне-Колымского района [4, 5, 7, 8]. Отмеченное позволяет предположить влияние ру-

доносных флюидов на подвижность РЗЭ [20]. Значения отношения La_n/Yb_n в изученных породах находятся в интервале от 5.89 до 16.14. Для песчаников и алевролитов среднее значение $\text{La}_n/\text{Yb}_n = 13.01$, что указывает на их первичное обогащение продуктами разрушения пород кислого состава [18, 21]. Минимальное отношение La_n/Yb_n (5.05) типично для рудных зон. Средний тетрад-эффект, полученный из расчетов первой и третьей тетрады, не является значимым, лишь в отдельных случаях проявляется слабый тетрад-эффект W-типа ($\text{TE}_{1-3} = 0.85–0.86$) [9, 27].

Значения соотношений Hf/Sm, Nb/La и Th/La в метасоматитах и рудных зонах менее 1 (от 0.3 до 0.9), что указывает на повышенные концентрации легких РЗЭ, характерных для гидротермальной системы NaCl-H₂O, обогащенной хлором [27, 30, 32, 33]. Ранее проведенные исследования показали наличие в рудообразующих флюидах растворенных хлоридов натрия и магния (концентрация 5.9–2.6 мас. %-экв. NaCl), уголекислоты (6.6–3.4 моль/кг раствора) и метана (1.0–0.6 моль/кг раствора) [6, 24].

В изученных породах проявляется отрицательная Eu аномалия, которая является маркером окислительно-восстановительных условий среды рудо-

Таблица 5. Характеристики вариации содержания редкоземельных элементов (в ррт) в малоизмененных породах, метасоматитах и рудных зонах МТМ.

№ пр.	Малоизмененные породы					Метасоматиты					Рудные зоны				
	\bar{X}	R	σ	CV	КК	\bar{X}	R	σ	CV	КК	\bar{X}	R	σ	CV	КК
La	30.90	17.0	6.40	20.72	130.38	24.03	16.65	5.98	24.87	101.39	21.01	35.0	10.28	48.94	88.64
Ce	68.72	37.8	14.68	21.37	112.29	47.88	34.24	12.87	26.89	78.23	41.73	69.2	21.16	50.72	68.18
Pr	7.91	4.3	1.60	20.20	83.28	5.90	4.23	1.57	26.61	62.07	4.93	7.3	2.31	46.90	51.84
Nd	28.80	13.0	5.35	18.58	61.67	22.65	16.99	5.48	24.19	48.51	19.36	29.8	9.89	51.09	41.45
Sm	5.75	2.5	0.81	14.16	37.58	4.25	3.13	0.99	23.39	27.80	3.61	5.4	1.58	43.79	23.60
Eu	1.15	0.6	0.18	15.71	19.83	0.92	0.65	0.22	23.98	15.94	0.82	1.2	0.34	41.08	14.16
Gd	4.88	1.8	0.57	11.66	23.81	3.84	3.23	1.05	27.33	18.75	3.25	4.3	1.25	38.33	15.85
Tb	0.76	0.8	0.27	35.10	20.35	0.51	0.39	0.14	26.36	13.76	0.42	0.5	0.16	38.15	11.11
Dy	3.05	1.6	0.43	14.12	12.00	2.68	1.89	0.60	22.23	10.56	2.26	3.1	0.90	39.66	8.91
Ho	0.60	0.4	0.13	21.86	10.62	0.51	0.30	0.11	20.68	9.06	0.47	0.8	0.22	47.99	8.23
Er	1.71	0.9	0.29	17.29	10.30	1.47	1.09	0.38	25.88	8.86	1.26	1.8	0.49	38.78	7.63
Tm	0.27	0.1	0.05	17.36	10.39	0.22	0.16	0.05	24.27	8.53	0.21	0.3	0.07	35.76	8.06
Yb	1.72	1.1	0.35	20.47	10.12	1.49	1.41	0.44	29.57	8.79	1.36	2.0	0.55	40.61	7.97
Lu	0.28	0.2	0.07	23.27	11.02	0.23	0.22	0.07	31.80	8.98	0.22	0.3	0.08	37.51	8.79
REE	156.49	76.3	29.56	18.89		116.60	82.64	28.61	24.54		100.89	160.9	48.56	48.13	
LREE	143.23	73.2	28.49	19.89		105.64	74.40	26.28	24.87		91.45	147.8	45.25	49.48	
HREE	13.26	5.7	1.77	13.38		10.96	8.25	2.56	23.31		9.44	13.1	3.68	38.95	
L/H	10.82	5.4	1.68	15.50		9.67	3.30	1.09	11.23		9.66	6.5	1.97	20.39	
Ce/Ce*	1.13	0.2	0.05	4.64		1.02	0.51	0.13	12.96		1.01	0.2	0.06	5.59	
Eu/Eu*	0.73	0.2	0.07	10.02		0.79	0.22	0.07	8.64		0.83	0.2	0.06	7.51	
La _n /Y _{bn}	13.01	6.6	1.99	15.26		12.02	9.59	2.61	21.70		11.33	8.7	2.61	23.05	
La _n /Sm _n	3.45	1.1	0.37	10.83		3.68	1.51	0.55	15.03		3.73	2.1	0.61	16.35	
Eu/Sm	0.53	0.2	0.05	9.07		0.58	0.23	0.07	11.60		0.61	0.2	0.06	9.49	

Примечание. Коэффициент корреляции (КК) нормирован по хондриту [21].

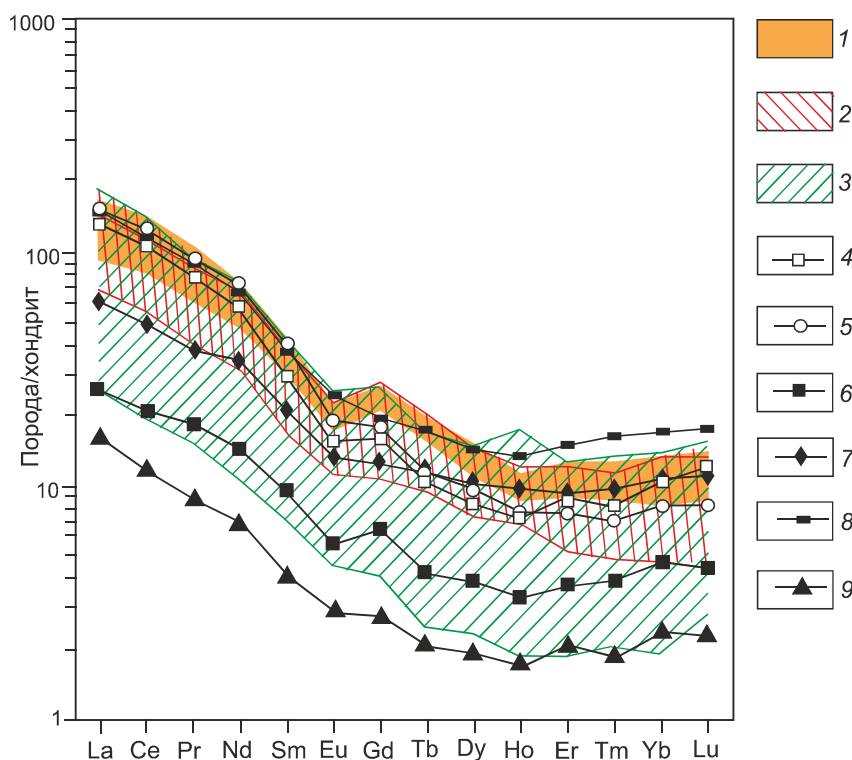


Рис. 8. Распределение РЗЭ в метасоматитах и рудах золото-кварцевых месторождений Яно-Колымского складчатого пояса, нормированных по хондриту [21].

1–3 – вариации содержаний (Мало-Тарынское месторождение): 1 – неизмененные породы; 2 – околорудные метасоматиты; 3 – рудные зоны; 4–5 – околорудные метасоматиты: 4 – Наталкинское месторождение [8], 5 – Нежданское месторождение [3]; 6–9 – руды месторождений: 6 – Наталкинское; 7 – Дразное, 8 – Павлик, 9 – Родионовское [4].

образования. Eu аномалия в метасоматитах и рудных зонах имеет слабоотрицательные значения ($Eu/Eu^* = 0.61–0.88$). Величина Ce/Ce^* близка к 1.0, отклоняясь в сторону положительных и отрицательных значений ($1.3 > Ce/Ce^* > 0.6$). Эти данные указывают на слабовосстановительные условия рудообразования и ограничивают участие окисленных метеорных вод [8, 30].

Проведенные ранее микротермометрические исследования и валовой анализ флюидных включений кварца из рудных зон [24] показали различия в составе рудообразующего флюида и условиях образования разных типов минерализации Мало-Тарынского месторождения. Изотопный состав O, C и S минералообразующего флюида свидетельствует о ведущей роли метаморфогенных флюидов при формировании золото-кварцевых месторождений.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований на ряде объектов Верхояно-Колымской складчатой области. Результаты изучения золото-кварцевых месторождений, таких как Нежданское [3], Наталкинское [5, 8], Жданное [2] и другие, позволяют предполагать различный состав рудообразующего флюида и сложный режим мета-

морфогенно-гидротермальной системы. Вместе с тем, полученные данные указывают на участие в рудообразовании вмещающих терригенных углеродистых толщ, которые могли служить дополнительным источником микроэлементов и РЗЭ [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ химического состава малоизмененных пород, метасоматитов и рудных зон показал, что:

1. Руды и метасоматиты месторождения характеризуются As-Au-Sb-W-специализацией, при низких концентрациях Bi, Co, Ni, Cr, Cu, Zn и повышенных Li, Ag, Cd, Cs. Аномальность цезия пока объяснения не находит и требует дальнейших исследований.

2. В формировании метасоматитов и рудных зон важную роль играли процессы гидрослюдизации, карбонатизации, сульфидизации и окварцевания, обеспечившие разную подвижность макроэлементов, с преобладанием кислотного низкотемпературного углекислотно-кальциевого метасоматоза.

3. В измененных породах проявлены устойчивые парагенетические ассоциации As-W-Sb и Co-Cu-Ni-

Zn, что характерно для золоторудных месторождений в терригенных толщах.

4. При формировании рудных тел происходит вынос редкоземельных элементов, а особенности их спектров указывают на формирование руд месторождения в слабо восстановительных условиях и ограничивают участие окисленных метеорных вод.

Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проекту ДВО РАН 15-И-2-073 при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-45-140040 p_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов Г.Ю., Крючков А.В., Крылова Т.Л., Сидоров А.А. Тарынское месторождение жильно-вкрапленных руд – новый тип золотого оруденения в Верхне-Индигирском районе Якутии // Докл. АН. 2004. Т. 397, № 3. С. 363–368.
- Аристов В.В., Бабарина И.И., Григорьева А.В., Алексеев В.Ю., Прокофьев В.Ю., Узюнкоян А.А., Заболотская О.В., Титов С.Г. Золото-кварцевые месторождения Жданинского рудно-россыпного узла (Восточная Якутия): структурный контроль и условия образования // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 58, № 6. С. 559–594.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданнинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49, № 2. С. 99–145.
- Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Прокофьев В.Ю., Колова Е.Е., Савчук Ю.С., Мурашов К.Ю., Сидорова Н.В., Земскова М.И., Аристов В.В., Вольфсон А.А. Золото-кварцевые месторождения Яно-Колымского складчатого пояса: геохимические особенности руд и флюидов, условия рудообразования // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2016. № 3. С. 3–21.
- Волков А.В., Мурашов К.Ю., Сидоров А.А. Геохимические особенности руд месторождения золота Наталкинское – крупнейшего на Северо-востоке России // Докл. АН. 2016. Т. 466, № 5. С. 574–577.
- Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Викентьева О.В. Благороднометалльная минерализация Адыча-Тарынской металлогенической зоны: геохимия стабильных изотопов, флюидный режим и условия рудообразования // Геология и геофизика. 2018. № 10. С. 1586–1605.
- Горячев Н.А. Золоторудообразующие системы орогенных поясов // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 1. С. 2–16.
- Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-восток России) // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 50, № 5. С. 414–444.
- Гусев А.И., Гусев Н.И. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания. 2011. № 5. С. 45–49.
- Зайцев А.И., Фридовский В.Ю., Кудрин М.В. Интенсивные параметры формирования и минерагенический потенциал гранитоидов Курдатского и Самырского массивов, Тас-Кыстабытский магматический пояс Верхояно-Колымской складчатой области // Отеч. геология. 2017. № 5. С. 80–89.
- Информационный портал «NEDRADV»: база данных содержит сведения о месторождениях всех видов полезных ископаемых[сайт]. URL: <https://nedradv.ru/> (дата обращения 28.01.2019)
- Кокин А.В., Сухоруков В.И., Шишигин П.Р. Региональная геохимия (Южное Верхоянье) // Ростов-на-Дону: ООО Ростиздат, 1999. 432 с.
- Кокин А.В. Геохимия золота в углесодержащих рудообразующих системах юго-восточной Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. Ч. 2. № 3с. С. 50–53.
- Михалицына Т.И., Соцкая О.Т. Геохимическая характеристика рудовмещающих пород юго-восточного фланга Яно-Колымского орогенного пояса // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2019. Т. 3, № 55. С. 19–33.
- Мягков В.Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
- Омельяненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 216 с.
- Парфенов Л.М. Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука, 1984. 192 с.
- Полуфунтикова Л.И., Фридовский В.Ю. Литологические особенности, реконструкции редокс-обстановок и состав источников сноса отложений верхнего триаса Кулар-Нерского сланцевого пояса // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 3. С. 75–87
- Соболев Р.Н., Фельдман В.И. Методы петрохимических пересчетов горных пород и минералов. М.: Недра, 1984. 178 с.
- Соцкая О.Т. Минералогические и геохимические особенности месторождений золото-сульфидно-вкрапленного типа в южной части Яно-Колымского золотоносного пояса: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. Магадан, 2017. 27 с.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. (Пер. с англ.). М.: Мир, 1988. 384 с.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
- Фридовский В.Ю. Структуры золоторудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного пояса (Восточная Якутия – территория Верхояно-Колымской коллизионной области) // Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок. Т. 1. М.: ГЕОС, 2002. С. 6–241.
- Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н., Полуфунтикова Л.И. Структуры, минералогия и флюидный режим формирования руд полигенного Малотарынского золоторудного поля (Северо-Восток России) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 4. С. 39–52.
- Япаскурт О.В. Генетическая минералогия и стадийный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования./ Учеб. пособие, М.: ЭСЛАН, 2008. 356 с.
- Bau M., Möller P. Rare earth elements fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite // Mineralogy and Petrology. 1992. V. 45. P. 231–246.
- Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho and Zr/Hf of revolving peraluminous garnet suites // Geochim Comochim Acta. 1999. V. 63, N ¼. P. 489–508.
- Fridovsky V.Y. Structural control of orogenic gold deposits of

- the Verkhoyansk-Kolyma folded region, northeast Russia // *Ore Geol. Rev.* 2018. V. 103. P. 38–55.
29. Goldfarb, R.J., Groves, D.L., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis // *Ore Geol. Rev.* 2001. V. 18. P. 1–75.
30. Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // *Chin. J. Geochem.* 2014. V. 33. P. 109–118.
31. Layer P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Trunilina V., Bakharev A. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and trace element geochemistry. *Geol.* 2001. V. 29. P. 167–170.
32. Lottermoser B.G. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes // *Ore Geol. Rev.* 1992. V. 7. P. 25–41.
33. Oreskes N., Einaudi M.T. Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia // *Natural Resources.* 2014. N 5. P. 478–495.
34. Zaitcev A., Fridovsky V., Yakovleva K., Kudrin M., Vernikovskaya A. Composition and age of the basitic dikes of the Nastenka site of the Malo-Tarynskoye orogenic gold deposit (Verkhoyansk-Kolyma folded region, Northeast Russia) // *International Multidisciplinary Scientific Geoconf. SGEM 2019, Bulgaria, 2019.* P. 99–108.

Рекомендована к печати В.Г. Хомичем
 после доработки 16.01.2020 г.
 принята к печати 19.05.2020 г.

L.I. Polufuntikova, V.Y. Fridovsky, N.A. Goryachev

Geochemical features of ores and host rocks of the Malo-Tarynsky orogenic gold deposit (Verkhoyansk-Kolyma folded area, Northeast Russia)

The paper presents the results of studying the distribution of major, rare, and rare earth elements in the terrigenous rocks, wall-rock metasomatites, and ore zones of the orogenic Malo-Tarynsky gold deposit (Upper Kolyma folded area, Northeast Russia). Hydromicatization, carbonatization, sulfidization, and silicification played an important role in the formation of metasomatites and ore zones leading to different mobility of macroelements with a predominance of acidic low-temperature carbonic-calcium metasomatism. Increase in the proportion of quartz in wall-rock metasomatites and ore zones involved the loss of the most of the rock-forming elements: K, Na, Al, Fe, Mg, and Ti, and Ca and CO_2 were supplied. The ores and metasomatites of the deposit are characterized by As-Au-Sb-W geochemical specialization with low Bi, Co, Ni, Cr, Cu, and Zn and high Li, Ag, Cd, and Sc concentrations. The distribution spectra of REE contents in modified rocks are similar to that of REE in Upper Triassic host rocks showing some tendency to decreasing their amount. The removal of rare earth elements during the formation of metasomatites and ores was established. The values of the Eu/Eu^* (0.61–0.88) and Ce/Ce^* (0.6–1.3) anomalies indicate slightly reducing conditions of the ore formation with a limited involvement of oxidized meteoric water.

***Key words:* Malo-Tarynsky deposit, terrigenous strata, wall-rock metasomatites, mineralized crushed zones, rare and rare-earth elements, Verkhoyansk-Kolyma folded area, Northeast Russia.**