

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

УДК 553.45:553.452

ХАПЧЕРАНГИНСКОЕ ОЛОВОПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ВЕРОЯТНЫЕ ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)



Б.Н. Абрамов

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

Отмечается четкая горизонтальная зональность оруденения относительно Хапчерангинского штока. Выявлено, что формирование даек диоритовых порфиритов и рудоносных лейкократовых гранитов Хапчерангинского штока происходило из единого глубинного магматического очага. Это подтверждается их соответствием единому эталонному интрузивному тренду щелочных лейкогранитов, близкими возрастными интервалами их формирования (163 ± 7 – 165 – 170 ± 7 млн лет), а также наличие оловополиметаллического оруденения в дайках диоритовых порфиритов.

Ключевые слова: Хапчерангинское месторождение, магматические очаги, источники оруденения, степень дифференциации, индикаторные отношения элементов, Восточное Забайкалье.

Введение

Хапчерангинское оловополиметаллическое месторождение расположено в южной части Забайкальского края в оловянно-вольфрамово-редкометалльном поясе, выделенном С.С. Смирновым [Смирнов, 1936]. Особенности геологического строения месторождения описаны в работах многих предшествовавших исследователей [Константинов и др., 1971; Онтоев, 1974; Гонгальский, Сергеев, 1993]. Представленная работа дополнит сведения о геохимических особенностях пород и руд Хапчерангинского месторождения. Актуальность статьи заключается в выяснении условий формирования, обнаружении связи оруденения с конкретными магматическими образованиями. Исследование имеет большое значение для понимания условий образования подобных месторождений. Ранее магматические источники пород дайкового комплекса не рассматривались как возможные источники оруденения.

Методы исследования

Аналитические исследования проведены в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ). Определение элементного состава пород проводилось рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре ЭДПС-1, аналитик Б.Ж. Жалсараев. Содержание редкоземельных элементов установлено ICP-AES-методом (атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой). Средство измерения – атомно-эмиссионный спектрометр OPTIMA 2000 DV (PerkinElmer), аналитики Л.А. Левантуева, Т.И. Казанцева, А.А. Цыренова.

Содержание петрогенных компонентов определялось стандартным методом «мокрой» химии.

Краткая геологическая характеристика Хапчерангинского оловополиметаллического месторождения

В Хапчерангинском рудном районе развиты Хапчерангинское, Курултыкенское и Тарбальджейское рудные поля, расположенные в узлах пересечения Тарбальджейского глубинного разлома с тектоническими нарушениями северо-западного простирания. Рудная минерализация в месторождениях пространственно связана со скрытым Хапчерангинским гранитным массивом. Гравиметрическими исследованиями на разных глубинах установлено наличие вытянутых вдоль Тарбальджейского глубинного разлома кровли гранитоидов Хапчерангинского массива, не выходящих на дневную поверхность (рис. 1).

Размеры кровли интрузии, по геофизическим данным, занимают площадь 50 км^2 . Отмечаются три выступа кровли интрузии: Хапчерангинский, обнажающийся на дневной поверхности, и Центральный и Тарбальджейский, выделенные по геофизическим данным [Зорин, Бугров, 1964]. В геологическом строении Хапчерангинского месторождения принимают участие граниты Хапчерангинского массива харалгинского комплекса (J_{2-3}), дайковый комплекс пород средне-позднеюрского возраста, осадочные отложения ингодинской серии (C_{1-2}), отложения хапчерангинской серии (T_1) (рис. 2). Хапчерангинский шток сложен резкопорфировидными гранитами и маломощной зоной гранит-порфиоров в апикальной части купола. К экзо-

эндоконтактовой части штока приурочено редкометалльное грейзеновое оруденение. По данным Р.М. Константинова и соавт. образование грейзеновой формации Хапчерангинского месторождения происходило во временной период $165-170 \pm 7$ млн лет. Образование касситерит-сульфидной формации, развитой южнее Хапчерангинского штока, происходило в интервале $148 \pm 5,0$ млн лет [Константинов и др., 1971].

В пределах рудного поля дайковый комплекс представлен диоритовыми порфирами, лампрофитами, кварцевыми порфирами, диабазовыми порфирами [Онтоев, 1974]. Дайки диоритовых порфиритов и лампрофиров локализованы в разрывных структурах субмеридионального и северо-западного простирания. Установлено, что дайки диоритовых порфиритов, расположенные вблизи Хапчерангинского штока, подвергнуты контактовому метаморфизму – интенсивно биотитизированы и местами превращены в роговики. Это свидетельствует о догранитном возрасте даек. На глубоких горизонтах месторождения отмечено пересечение даек диорито-

вых порфиритов дайками кварцевых порфиров. Абсолютный возраст даек диоритовых порфиритов, расположенных вблизи Хапчерангинского массива, составляет 163 ± 7 млн лет [Онтоев, 1974]. Близость временного интервала формирования даек диоритовых порфиритов и грейзеновой формации Хапчерангинского штока свидетельствует о возможном единстве магматических источников их формирования.

В результате поисково-разведочных и тематических исследований соотношения дайковых комплексов с рудными телами выявлено, что дайки диоритовых порфиритов являются дорудными, а кварцевых порфиров (палеориолитов) – синрудными. Эти данные свидетельствуют о двух основных временных интервалах магматической активности. Наиболее важными структурными элементами Хапчерангинского месторождения являются зоны тектонических нарушений субширотного и северо-западного направлений. В зонах тектонических нарушений локализовано большинство оловополиметаллических рудных тел (рис. 2).

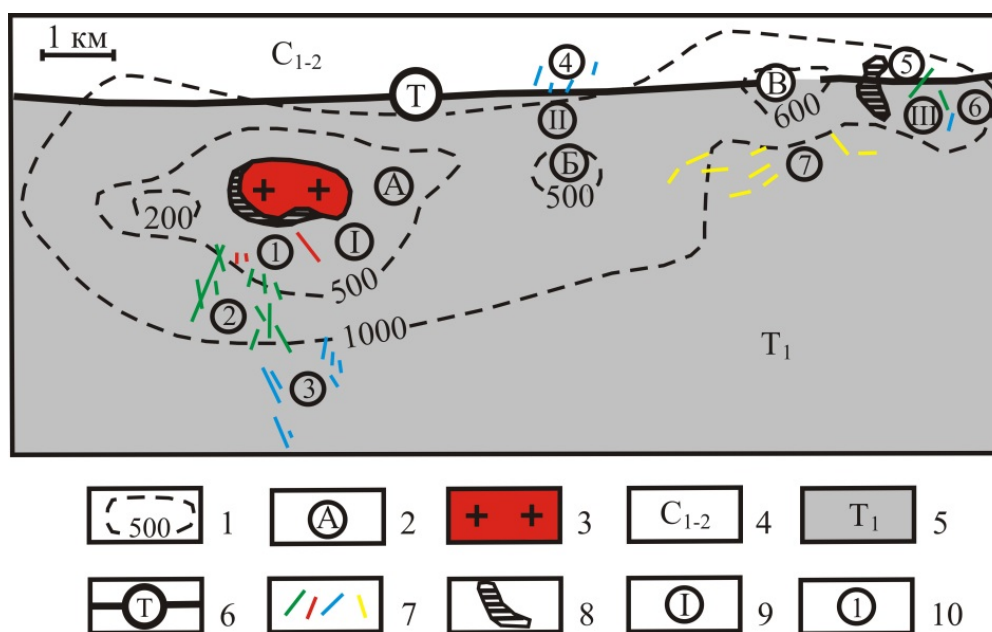


Рис. 1. Схема Хапчерангинской интрузии, по геофизическим данным [Зорин, Бугров, 1964], и размещения месторождений Хапчерангинского рудного района

1 – линии равных глубин залегания кровли гранитов; 2 – выступы кровли Хапчерангинской интрузии: А – Хапчерангинский, Б – Центральный, В – Тарбальджейский; 3 – граниты Хапчерангинского штока; 4 – вмещающие филлиты и сланцы ингодинской серии (C_{1-2}); 5 – песчаники и алевролиты хапчерангинской серии (T_1); 6 – Тарбальджейский разлом; 7 – рудные жилы; 8 – штокверки; 9 – рудные поля: I – Хапчерангинское, II – Курултыкенское, III – Тарбальджейское; 10 – месторождения (цифры в кружках): 1 – Гранитное грейзеновое оловянно-вольфрамовое, 2 – Хапчерангинское хлорит-сульфидно-касситеритовое, 3 – Южный участок свинцово-цинковое, 4 – Курултыкенское полиметаллическое, 5 – Тарбальджейское оловянное, 6 – Курултейское оловянно-полиметаллическое, 7 – Тарбальджейское золоторудное

Fig. 1. Scheme of Khapcheranginsky intrusion, based on geophysical data [Zorin, Bugrov, 1964], and location of deposits of Khapcheranginsky ore district

1 – Equal depth lines of the granite roof bedding; 2 – roof protrusions of Khapcheranginsky intrusion: A – Khapcheranginsky, B – Central, C – Tarbaldzheysky; 3 – granites of Khapcheranginsky rod; 4 – host phyllites and shales of Ingodinsky series (C_{1-2}); 5 – sandstones and siltstones of Khapcheranginsky series (T_1); 6 – Tarbaldzheysky fault; 7 – ore veins; 8 – stockworks; 9 – ore fields: I – Khapcheranginsky, II – Kurultikensky, III – Tarbaldzheysky; 10 – deposits (numbers in circles): 1 – Granite greisen tin-tungsten deposit; 2 – Khapcheranginsky chlorite-sulphide-cassiterite deposit; 3 – Southern section lead-zinc deposit; 4 – Kurultikensky polymetallic deposit; 5 – Tarbaldzheysky tin deposit; 6 – Kurulteysky tin-polymetallic deposit; 7 – Tarbaldzheysky gold ore deposit

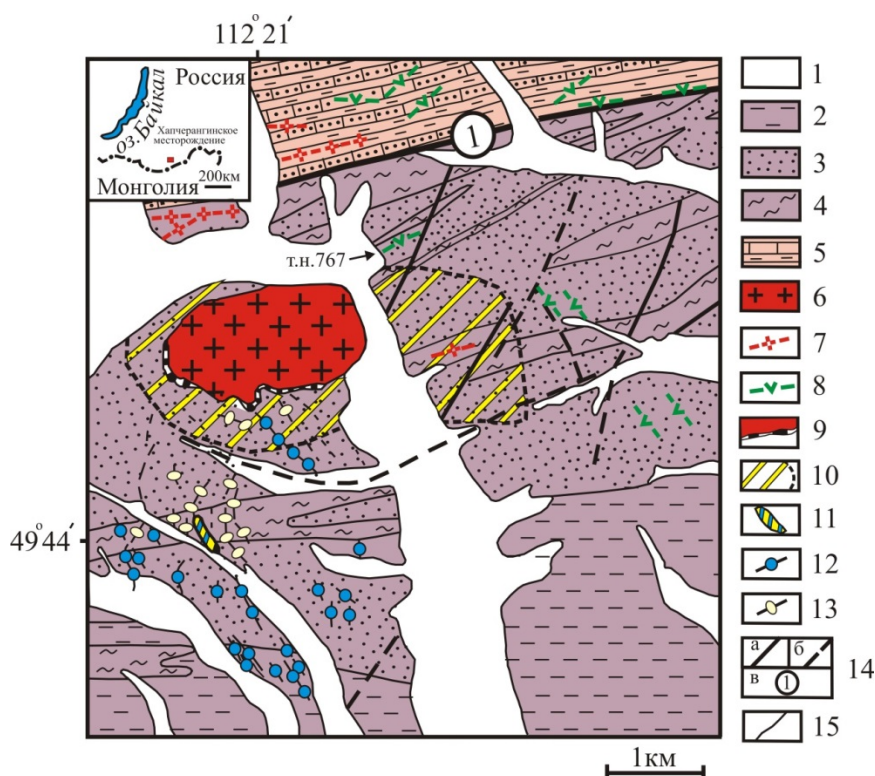


Рис 2. Схема геологического строения Хапчерангинского оловополиметаллического месторождения [по данным В.Д. Куikliна, В.Н. Полягина, Н.И. Винникова, А.Р. Кучуриной, 1975 фонды]

1 – Четвертичные отложения (пески, галечники, суглинки, глины); Хапчерангинская серия (Т) нижний отдел: 2 – глинистые и алевролитистые сланцы с прослоями песчаников, 3 – полимиктовые и кварцитовидные песчаники, туфо-песчаники, реже глинистые и алевролитовые сланцы, 4 – глинистые и алевролитовые сланцы с прослоями песчаников, гравелитов и конгломератов; 5 – Ингодинская серия (C₁₋₂): филлиты, филлитовидные сланцы с прослоями кварцито-сланцев и песчаников; Кыринский интрузивный комплекс: 6 – гранит-порфиры Хапчерангинского массива, 7 – дайки кварцевых порфиров и фельзит-порфиров, 8 – дайки диоритовых порфиров, лампрофиров; 9 – роговики и ороговикованные породы; 10 – олово-редкометалльные грейзены; 11 – штоковерковые зоны; 12 – кварц-касситеритовые жилы, 13 – полиметаллические жилы; 14 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые, в – Тарбальджейский разлом; 15 – геологические границы

Fig. 2. Geological structure scheme of Khapcheranginsky tin-polymetallic deposit [according to V.D. Kuklin, V.N. Polyagin, N.I. Vinnikov, A.R. Kuchurina, 1975 funds]

1 – Quaternary sediments (sands, gravels, loams, clays); Khapcheranginsky series (T) lower division: 2 – clayey and silty shales with interlayers of sandstones, 3 – polymict and quartzitic sandstones, tuff-sandstones, rarely clayey and silty shales, 4 – clayey and silty shales with interlayers of sandstones, gravelites and conglomerates; 5 – Ingodinsky series (C₁₋₂): phyllites, phyllite shales with interlayers of quartzitic shales and sandstones; Kyrinsky intrusive complex: 6 – granite-porphyries of Khapcheranginsky massif, 7 – dikes of quartz porphyries and felsite porphyries, 8 – dikes of diorite porphyries, lamprophyries; 9 – hornfels and hornfelsed rocks; 10 – tin-rare-metal greisens; 11 – stockwork zones; 12 – quartz-cassiterite veins, 13 – polymetallic veins; 14 – tectonic disturbances: a – credible, b – inferred, c – Tarbaldzheisky fault; 15 – geological boundaries

Образование Хапчерангинского гранитного штока, даек среднего и кислого составов связывается с Тарбальджейским глубинным разломом. В непосредственной близости от данного разлома отмечается сгущение дайковых образований. Дайки имеют преимущественное близширотное и северо-западное простирание, что и оловорудные жилы месторождения.

Гранит-порфиры Хапчерангинского штока имеют следующий минеральный состав: калиевый полевой шпат – 35–40 %, плагиоклаз – 20–25 %, кварц – 30–35 %, биотит – 5 %, акцессорные минералы – до 2 % (циркон, апатит, анатаз, касситерит, монацит).

Структура порфировидная, обусловленная наличием вкрапленников калиевого полевого шпата (микроклин-пертита), кварца и, в меньшей степени, плагиоклаза. Структура основной массы микроаллатриоморфнозернистая.

Субвулканические дайки кварцевых порфиров имеют порфировую структуру. Основная масса скрытокристаллическая фельзитовой структуры. Текстура флюидальная. Фенокристаллы представлены кварцем (до 40 %), олигоклазом (до 20–30 %). В небольших количествах присутствует биотит. Диоритовые порфириты массивной текстуры, порфировой структуры. Порфировые вкрапленники

представлены андезитом, в меньшей степени биотитом и роговой обманкой. Структура основной массы микродиоритовая, состоит из микролейст плагиоклаза, микропризм роговой обманки и чешуек биотита.

На месторождении зафиксировано несколько десятков оловополиметаллических жил и несколько прожилковых зон (Западная, Южная, Центральная, Террасовая, Восточная, Спектральная, Тыринская, Грейзеновая). Их простирание – северо-западное, вкрест простирания вмещающих палеозойских складчатых структур. Мощность рудных жил колеблется от нескольких сантиметров до 2,5–150 м.

Оловополиметаллическое оруденение имеет четкую горизонтальную зональность относительно Хапчерангинского штока. В эндоконтактовой зоне гранитов развиты олово-редкометалльные грейзены с касситеритом, вольфрамом, бериллом и топазом. Далее, по мере удаления от гранитного штока, развиты пирит-касситерит-кварцевые, кварц-касситерит-арсенопиритовые руды, затем следуют

сфалерит-галенитовые руды. Вертикальная рудная зональность Хапчерангинского месторождения выражается в изменении состава рудных жил, уменьшением с глубиной их протяженности и мощности. В верхних горизонтах месторождения развиты сфалерит-галенитовые руды, ниже отмечаются кварц-касситерит-арсенопиритовые руды, в нижних горизонтах – пирит-касситерит-кварцевые. В самых глубоких горизонтах отмечаются жильные трещины, выполненные безрудным кварцем и кальцитом. Вертикальный интервал активного рудоотложения составляет 500–800 м. Ширина рудной зоны сульфидно-касситеритового оруденения около 1,5 км, длина – 3,5 км.

Геохимические особенности пород и руд Хапчерангинского месторождения

По геохимическим особенностям граниты и кварцевые порфиры Хапчерангинского штока соответствуют коллизионным образованиям (рис. 3).

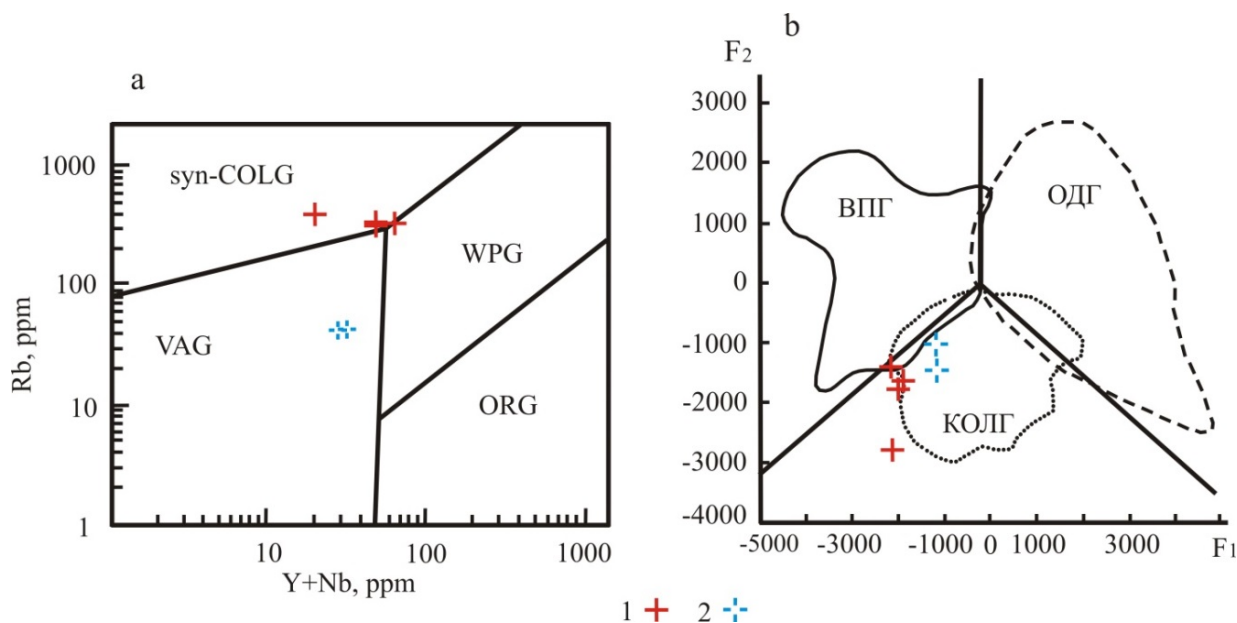


Рис 3. Дискриминационная диаграмма Rb – (Y + NB) [Pearce et al., 1984], F₁–F₂ [Великославинский, 2003] интрузивных образований кислого состава харалгинского комплекса (J₂₋₃)

a – диаграмма Rb – (Y+Nb) для гранитов хапчерангинского комплекса. Поля на диаграммах: syn-COLG – коллизионные граниты, WPG – внутриплитные граниты, VAG – граниты вулканических дуг, ORG – граниты океанических хребтов. 1 – граниты, 2 – кварцевые порфиры. b – граниты: ВПГ – внутриплитные, ОДГ – островодужные, КОЛГ – коллизионные. $F_1 = 196,203\text{SiO}_2 + 753,953\text{TiO}_2 + 481,96\text{Al}_2\text{O}_3 + 92,664\text{FeO}^* + 521,5\text{MgO} + 374,766\text{CaO} + 7,571\text{Na}_2\text{O} - 584,778\text{K}_2\text{O} + 0,379\text{Ba} - 0,339\text{Sr} - 0,733\text{Rb} - 0,429\text{La} - 3,33\text{Ce} - 5,242\text{Nd} + 10,565\text{Sm} - 19823,8$. $F_2 = 1292,962\text{SiO}_2 + 4002,667\text{TiO}_2 + 1002,231\text{Al}_2\text{O}_3 + 1297,136\text{FeO}^* + 262,067\text{MgO} + 1250,48\text{CaO} + 1923,417\text{Na}_2\text{O} + 1009,287\text{K}_2\text{O} + 0,3634\text{Ba} - 0,325\text{Sr} - 0,701\text{Rb} + 0,8015\text{La} + 3,347\text{Ce} + 2,68\text{Nd} + 10,11\text{Sm} - 126860,0$. $\text{FeO}^* = 0,9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$

Fig. 3. Discrimination diagram Rb – (Y + NB) [Pearce et al., 1984], F₁–F₂ [Velikoslavinsky, 2003] of acidic intrusive formations of Kharalginsky complex (J₂₋₃)

a-diagram Rb - (Y+Nb) for granites of the Khapcheranginsky complex. Fields on the diagrams: syn-COLG – collisional granites, WPG – intraplate granites, VAG - granites of volcanic arcs, ORG – granites of oceanic ridges. 1 – granites, 2 – quartz porphyries. b – granites: ВПГ – intraplate, ОДГ – island-arc, КОЛГ – collisional. $F_1 = 196.203\text{SiO}_2 + 753.953\text{TiO}_2 + 481.96\text{Al}_2\text{O}_3 + 92.664\text{FeO}^* + 521.5\text{MgO} + 374.766\text{CaO} + 7.571\text{Na}_2\text{O} - 584.778\text{K}_2\text{O} + 0.379\text{Ba} - 0.339\text{Sr} - 0.733\text{Rb} - 0.429\text{La} - 3.33\text{Ce} - 5.242\text{Nd} + 10.565\text{Sm} - 19823.8$. $F_2 = 1292.962\text{SiO}_2 + 4002.667\text{TiO}_2 + 1002.231\text{Al}_2\text{O}_3 + 1297.136\text{FeO}^* + 262.067\text{MgO} + 1250.48\text{CaO} + 1923.417\text{Na}_2\text{O} + 1009.287\text{K}_2\text{O} + 0.3634\text{Ba} - 0.325\text{Sr} - 0.701\text{Rb} + 0.8015\text{La} + 3.347\text{Ce} + 2.68\text{Nd} + 10.11\text{Sm} - 126860.0$. $\text{FeO}^* = 0.9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$

Для расчета глубин формирования магматических очагов и степени их дифференциации использованы Eu/Sm , Eu/Eu^* и Rb/Sr отношения [Интерпретация..., 2001]. Магматические очаги, функционировавшие в верхней континентальной коре, имеют значения Eu/Sm менее 0,2 [Винокуров, 1996]. Минерализация и геохимические особенности гранитов Хапчерангинского массива имеют редкометалльную специализацию, которая подтверждается развитием касситеритового оруденения.

Индикаторные отношения элементов свидетельствуют о формировании рудно-магматических образований Хапчерангинского месторождения из разновывших и в различной степени дифференцированных магматических очагов. Граниты Хапчерангинского массива были образованы из очень диффе-

ренцированных магматических очагов, расположенных в верхней континентальной коре ($\text{Eu}/\text{Sm} = 0,04\text{--}0,05$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,14\text{--}0,17$). Более значительными глубинами функционирования и меньшей степенью дифференциации отличались магматические расплавы диоритовых порфиров ($\text{Eu}/\text{Sm} = 0,21\text{--}0,23$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,75\text{--}0,77$), кварцевых порфиров ($\text{Eu}/\text{Sm} = 0,14$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,48\text{--}0,59$) и олово-полиметаллических руд ($\text{Eu}/\text{Sm} = 0,23\text{--}0,32$; $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,55\text{--}0,69$) (табл. 1, 2, рис. 4). Известно, что величина европиевой аномалии (Eu/Eu^*) является индикатором степени дифференцированности магматических расплавов, определяемой процессами фракционирования плагиоклаза. Степень проявления минимума оценивается показателем Eu/Eu^* [Тейлор, Мак-Леннан, 1988].

Таблица 1

Химический состав интрузивных образований Хапчерангинского месторождения

Table 1

Chemical composition of the intrusive formations of Khapcheranginsky deposit

№ пробы	742	742-1	744	*	767	773	774	775	775-1
SiO_2	73,10	73,30	72,10	72,79	—	63,10	61,80	78,20	77,60
TiO_2	0,13	0,15	0,14	0,17	—	0,49	0,46	0,19	0,17
Al_2O_3	13,70	13,60	13,40	13,54	—	14,00	13,50	10,90	10,80
Fe_2O_3	1,05	0,69	0,99	0,33	—	1,09	1,44	0,74	0,92
FeO	0,94	1,33	1,06	1,96	—	6,11	8,43	1,29	1,37
MnO	0,05	0,05	0,04	0,04	—	0,16	0,28	0,11	0,14
MgO	0,26	0,25	0,27	0,12	—	1,41	1,78	0,37	0,41
CaO	0,50	0,38	1,05	0,79	—	1,02	1,06	0,53	0,64
Na_2O	3,81	3,92	3,69	3,82	—	0,88	0,58	3,82	3,82
K_2O	5,32	5,41	5,29	5,16	—	7,62	6,47	2,40	2,36
P_2O_5	0,09	0,09	0,09	0,05	—	0,17	0,14	0,07	0,06
$\text{P}_{\text{тп}}$	0,82	0,85	1,04	0,62	—	2,48	3,44	0,88	1,01
F	0,1	0,13	0,36	—	—	0,02	0,03	0,02	0,02
Σ	99,97	100,02	99,16	99,39	—	99,13	99,38	99,50	99,30
Zn	240	186	180	55	7 800	2 300	770	110	130
As	36	32	120	—	—	32	70	19	20
Pb	51	42	41	28	5 370	2 601	470	75	83
Mo	4	3	2	—	—	4	5	7	2
Rb	331	318	347	400	19	134	109	43	41
Sr	77	76	80	90	70	213	196	341	333
Zr	156	161	160	168	94	147	142	220	152
Nb	22	21	21	20	3	7,1	7,3	10	9
Sn	31	25	30	12,5	79	267	470	32	35
Sb	—	—	4	—	24	6	—	3	3
U	4,3	5,9	—	5,1	—	—	—	6,8	5,9
Th	38	37	4,8	29	—	—	—	24	37
Hf	5,8	1,0	4,8	5,9	—	—	3,8	3,6	1,5
Ba	240	245	258	270	25	2 430	2 320	660	630
La	41,7	43,7	40,1	41,9	3,50	22,7	22,4	28,6	21,7
Ce	94,2	94,2	87,9	96,9	7,80	44,3	43,2	58,9	48,6
Pr	9,5	9,5	9,8	11,3	0,90	4,0	4,0	5,2	4,5
Nd	38,2	39,3	36,8	36,6	3,30	19,5	18,3	24,5	20,0
Sm	8,9	9,1	8,9	9,2	0,64	4,1	3,8	5,2	4,4
Eu	0,38	0,41	0,45	0,17	0,24	0,93	0,82	0,71	0,63
Gd	7,5	7,3	7,7	7,9	1,15	3,3	2,9	3,9	3,4
Tb	1,19	1,15	1,4	1,4	<1,0	<0,5	<0,5	<0,5	0,59
Dy	8,1	8,0	8,3	8,0	1,15	3,3	3,0	4,15	3,9
Ho	1,52	1,54	1,7	1,7	<0,5	0,70	0,63	0,90	0,83
Er	4,4	4,25	4,7	5,4	0,96	1,9	1,8	2,6	2,4
Tm	0,66	0,56	0,72	0,83	0,17	<0,3	<0,3	0,34	0,32
Yb	4,4	4,0	4,4	3,9	0,77	1,65	1,60	2,35	2,33

Продолжение табл. 1
Extension of Table 1

№ пробы	742	742-1	744	*	767	773	774	775	775-1
Lu	0,50	0,46	0,48	0,78	0,15	0,18	0,17	0,26	0,26
Y	42,5	39,4	41,2	—	7,90	17,5	16,0	22,7	20,5
ΣTR	263,7	262,9	254,6	225,9	28,63	124,1	118,6	160,3	134,4
(La/Yb) _n	6,6	7,6	6,3	0,13	3,2	9,5	9,7	8,4	6,5
Eu/Eu*	0,14	0,15	0,17	0,06	0,86	0,77	0,75	0,48	0,50
Eu/Sm	0,04	0,04	0,05	0,02	0,37	0,23	0,21	0,14	0,14
Rb/Sr	4,29	4,18	4,33	4,44	0,27	0,63	0,55	0,13	0,12
U/Th	0,11	0,16	—	0,17	—	—	—	0,28	0,16
ASI	1,06	1,05	0,98	1,07	—	1,20	1,35	1,12	1,09

Примечание. 742, 742-1, 744, * – граниты; 767, 773, 774 – диоритовые порфириды; 775, 775-1 – кварцевые порфиры. ASI = $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ в молекулярных количествах. * – данные [Козлов и др., 2008]; «—» – нет данных.

Note. 742, 742-1, 744, * – granites; 767, 773, 774 – diorite porphyrites; 775, 775-1 – quartz porphyries. ASI = $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ in molecular quantities. * – data [Kozlov et al., 2008]; «—» – no data.

Таблица 2

Содержание редких, рудных и редкоземельных элементов в рудах Хапчерангинского месторождения, г/т

Table 2

Content of rare, ore and rare-earth elements in ores of Khapcheranginsky deposit, ppm

Элемент	Номер пробы							
	746	748	749	751	753F	754	757	759
Bi	48	59	46	93	150	250	120	13
Ag	670	61	56	104	69	115	61	80
Cd	1950	560	740	1800	2640	1840	1540	1650
Mo	0	7	2,1	1,3	0	2,4	6,5	6,5
Cu	10180	2840	3200	12400	11300	6800	5200	8790
Zn	343000	62300	91000	257000	434000	263000	205000	257460
As	1820	3040	1230	93			580	1870
Pb	82400	30800	14000	2280	245	1990	5500	3100
Rb	43	13	18	15	4300	4000	26	5
Sr	334	159	263	61	9	8	64	10
Nb	4,8	1,6	3	2,3	51	19	3,8	1,3
Sn	610	27	420	1390	13	5,6	50	393
Sb	240	69	44	0	10700	2360	76	22
Ba	0	16	29	25	0	27	53	18
La	—	—	—	—	0	0	—	—
Ce	—	—	—	—	8,2	—	—	—
Pr	—	—	—	—	16,2	—	—	—
Nd	—	—	—	—	<2	—	—	—
Sm	—	—	—	—	6,6	—	—	—
Eu	—	—	—	—	1,6	—	—	—
Gd	—	—	—	—	0,36	—	—	—
Tb	—	—	—	—	2,5	—	—	—
Dy	—	—	—	—	<0,5	—	—	—
Ho	—	—	—	—	3,3	—	—	—
Er	—	—	—	—	0,69	—	—	—
Tm	—	—	—	—	1,7	—	—	—
Yb	—	—	—	—	<0,3	—	—	—
Lu	—	—	—	—	0,94	—	—	—
Y	—	—	—	—	<0,15	—	—	—
					18,2	—		
ΣTR	—	—	—	—	60,29	—	—	—
(La/Yb) _n	—	—	—	—	6,1	—	—	—
Eu/Eu*	—	—	—	—	0,55	—	—	—
Eu/Sm	—	—	—	—	0,22	—	—	—
Nb/La	—	—	—	—	1,68	—	—	—
Y/Ho	—	—	—	—	30,3	—	—	—

Продолжение табл. 2
Extension of Table 2

Элемент	Номер пробы						
	761F	762 Cl	764F	765	769	770	771
Bi	53	34	29	3	16	150	4
Ag	0	15	157	21	21	456	0
Cd	1480	1760	0	41	41	2490	356
Mo	5,1	13	0	3,4	0	0	0
Cu	3200	4300	0	360	0	6900	0
Zn	186500	244200	3900	4380	4460	107280	12340
As	0	200	0	1970	810	0	970
Pb	7300	3780	48620	6740	8800	75170	9500
Rb	96	13	17	6	307	620	310
Sr	14	1417	32	20	4	25	5
Nb	14	2	54	6	82	45	157
Sn	23	21	77000	375	113870	99210	176360
Sb	34	54	980	50	0	870	0
Ba	28	7	14	12	0	160	19
La	2,8	8,18	16,1	—	—	—	<2
Ce	5,5	18,2	32,1	—	—	—	<4
Pr	<2	1,80	3,83	—	—	—	<2
Nd	2,5	3,50	16,2	—	—	—	<2
Sm	<1	2,23	5,01	—	—	—	<2
Eu	0,29	0,66	0,79	—	—	—	<2
Gd	1,3	3,13	7,22	—	—	—	<2
Tb	<0,5	0,75	1,42	—	—	—	<2
Dy	1,5	5,40	9,16	—	—	—	6,2
Ho	<0,5	1,26	1,94	—	—	—	1,2
Er	0,91	3,19	5,19	—	—	—	3,6
Tm	<0,3	0,33	0,56	—	—	—	0,40
Yb	0,52	1,73	2,79	—	—	—	1,8
Lu	<0,15	0,20	0,35	—	—	—	—
Y	9,7	31,7	52,3	—	—	—	32,0
ΣTR	25,02	62,26	154,96	—	—	—	45,20
(La/Yb) _n	3,8	3,3	4,0	—	—	—	—
Eu/Eu*	—	0,76	0,40	—	—	—	—
Eu/Sm	—	0,29	0,16	—	—	—	—
Nb/La	5,0	0,24	3,35	—	—	—	—
Y/Ho	—	25,1	26,9	—	—	—	26,7

Примечание. Рудные жилы арсенопирит-халькопирит-галенит-сфалерит-кварцевого состава: 746, 749, 754, 759; халькопирит-пирит-арсенопирит-галенит-сфалерит-кварцевого состава: 748, 765; халькопирит-галенит-сфалерит-кварцевого состава: 751, 753F, 757, 762Cl, 770; галенит-сфалерит-касситерит-кварцевого состав: 764F, 769, 770, 771; «—» — нет данных.

Note. Ore veins of arsenopyrite-chalcopyrite-halenite-halenite-sphalerite-quartz composition: 746, 749, 754, 759; chalcopyrite-pyrite-arsenopyrite-halenite-sphalerite-quartz composition: 748, 765; chalcopyrite-pyrite-galenite-sphalerite-quartz composition: 751, 753F, 757, 762Cl, 770; galena-pyrite-sphalerite-cassiterite-quartz composition: 764F, 769, 770, 771. «—» — no data.

Значения ASI интрузивных образований кислого состава харалгинского комплекса соответствуют коллизионным и островодужным образованиям $1,05 < ASI < 1,15$ [Интерпретация..., 2001]. Наличие европиевого минимума в гранитах хапчерангинского штока, дайках кварцевых порфиров указывает на их образование из дифференцированного магматического источника. При этом дайки диоритовых порфиров в сравнении с гранитами были образованы из более глубинного и менее дифференцированного магматического очага.

В непосредственной близости от Хапчерангинского штока в дайках диоритовых порфиров отме-

чаются включения галенитов, сфалеритов размерами до 0,5 см (т. н. 767, см. рис. 1). Характерной особенностью химического состава рудной минерализации в дайках диоритовых порфиров является повышенные концентрации (г/т): Sn — 79–470; Zn — 770–2 300; Pb — 470–2 601; Sb — 267–470; Ba — 2 330–2 430 (табл. 1). Отличиями химического состава руд в дайках от химического состава основных рудных ассоциаций месторождения являются повышенные содержания Ba, низкие концентрации As и отсутствие Cu, что свидетельствует о разных условиях их формирования (табл. 1, 2).

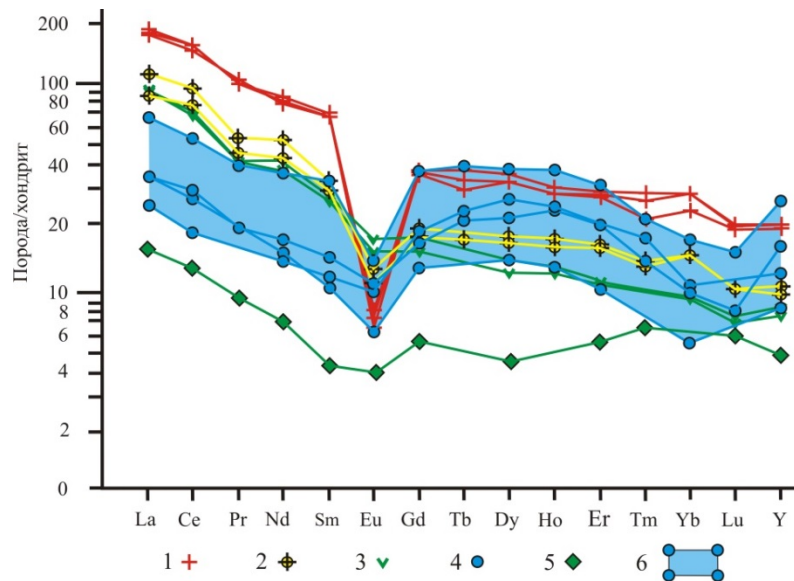


Рис. 4. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в породах и рудах Хапчерангинского месторождения

Интрузивные образования: 1 – граниты Хапчерангинского штока, 2 – дайки кварцевых порфиров, 3 – дайки диоритовых порфиров; 4 – оловополиметаллические руды; 5 – кварцево-полиметаллические жилы в дайке диоритовых порфиров; 6 – поля значений оловополиметаллических руд

Fig. 4. Spider-diagram of rare earth elements distribution in rocks and ores of Khapcheranginsky deposit

Intrusive formations: 1 – granites of Khapcheranginsky stock, 2 – dikes of quartz porphyries, 3 – dikes of diorite porphyrites; 4 – tin-polymetallic ores; 5 – quartz-polymetallic veins in diorite porphyrite dike; 6 – value fields of tin-polymetallic ores.

Обсуждение результатов

В период формирования интрузивных рудно-магматических образований Хапчерангинского месторождения (143–154 млн лет) в Восточном Забайкалье происходила смена коллизионной стадии развития региона на рифтогенную [Гордиенко, Кузьмин, 1999]. Для выявления принадлежности интрузивных образований Хапчерангинского месторождения к единому магматическому очагу была использована диаграмма Л.С. Бородина [Бородин, 2004]. На классификационной диаграмме эталонных трендов рудогенных интрузивных образований граниты Хапчерангинского штока и дайки диоритовых порфиров соответствуют тренду щелочных лейкогранитов, дайки кварцевых порфиров – известково-щелочному тренду (рис. 5). Отличия также проявляются в принадлежности гранитов Хапчерангинского массива к калиево-натриевой серии, кварцевых порфиров – к натриевой серии (см. табл. 1). Эти данные свидетельствуют о различиях магматических источников, за счет которых были образованы граниты Хапчерангинского штока и даек кварцевых порфиров.

Рудная зональность Хапчерангинского месторождения аналогична рудной зональности Шерловогорского оловополиметаллического месторождения [Абрамов, 2020] и оловополиметаллических место-

рождений Дальнего Востока [Томсон, 1998]. Подобная рудная зональность типична для золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, приуроченных к кольцевым структурам.

В центральных частях этих структур располагаются гранитные штоки с W, Mo и Sn минерализацией, затем по мере удаления от гранитного штока следует оруденение колчеданной стадии (Cu, As, Bi); полиметаллической (Pb, Zn, Ag); сульфосолевой (Ag, Pb, Sb, Bi, Cu, As, Hg). Во всех исследуемых рудно-магматических системах отмечается совмещение в пространстве шононит-латитовых и известково-щелочных серий магматических пород, образованных в процессе мантийно-корового взаимодействия [Спиридонов, Зорина, 2006].

Установлено, что типоморфные отношения микроэлементов в рудах отражают обстановки их формирования. В гидротермальных флюидах, содержащих хлор, отношения Hf/Sm, Nd/La и Th/La в рудах, преимущественно, меньше единицы, а во флюидах, обогащенных фтором, больше единицы [Ridley, Diamond, 2000]. Значения Y/Ho отношений, позволяет судить об источниках лантаноидов во флюидах [Baum, 1996]. Преобладающие значения Y/Ho отношений золоторудных месторождений Восточного Забайкалья 22–32 соответствуют значениям флюидов гидротермальных систем [Абрамов, 2019].

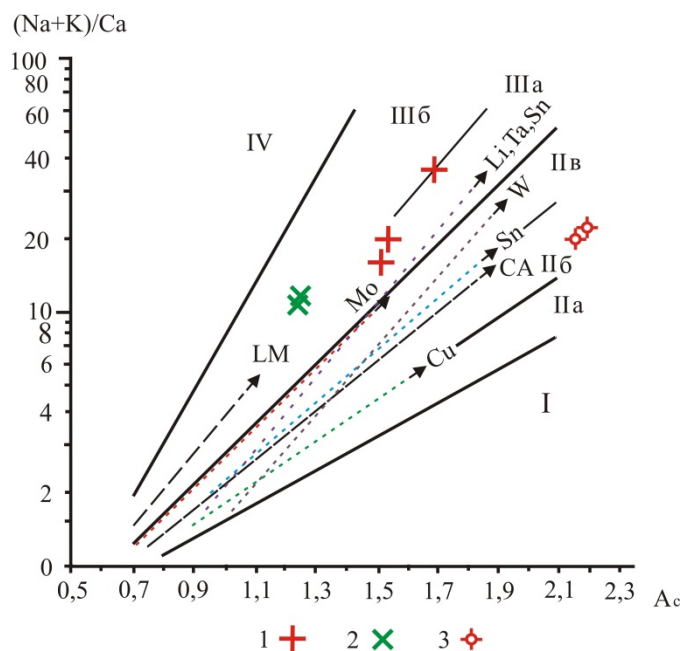


Рис. 5. Диаграмма $(Na + K) / Ca - A_c$ для магматических образований Хапчерангинского оловополиметаллического месторождения с эталонными трендами интрузивных образований [Бородин, 2004]

Квалификационные поля: I – известковое, II – известково-щелочное (IIa – субизвестковистые, IIb – известково-щелочные, IIв – известково-субщелочные граниты); III – субщелочное (IIIa – субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб – щелочные агапитовые граниты и лейкограниты); IV – щелочное. Эталонные тренды (штрихпунктирные линии): CA – главный известково-щелочной, LM – латитовый (монзонитовый). A_c – коэффициент валовой кислотности пород.

Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций (пунктирные линии): Sn – оловянный, Cu – медно-порфировый, Mo (Cu) – молибденовый, W (Mo) – вольфрам-молибденовый; Li, Ta, Nb, Sn – литий-тантал-ниобий-оловянный. 1 – граниты Хапчерангинского штока, 2 – дайки диоритовых порфиров, 3 – дайки кварцевых порфиров

Fig. 5. $(Na + K) / Ca - A_c$ diagram for magmatic formations of Khapcheranginsky tin-polymetallic deposit with reference trends of intrusive formations [Borodin, 2004]

Qualification fields: I – lime, II – lime-alkaline (IIa – sub-lime, IIb – lime-alkaline, IIc – lime-subalkaline granites); III – subalkaline (IIIa – subalkaline and alkaline granites and leucogranites, IIIb – alkaline agapaitic granites and leucogranites); IV – alkaline. Reference trends (dashed lines): CA – main lime-alkaline, LM – latite (monzonite). A_c – coefficient of gross acidity of rocks.

Reference trends of ore-formations of granitoid formations (dotted lines): Sn – tin, Cu – copper-porphyritic, Mo (Cu) – molybdenum, W (Mo) – tungsten-molybdenum; Li, Ta, Nb, Sn – lithium-tantalum-niobium-tin. 1 – granites of Khapcheranginsky stock, 2 – dikes of dioritic porphyrites, 3 – dikes of quartz porphyries

Этим же значениям соответствуют Y/No отношения оловополиметаллических руд Хапчерангинского месторождения.

В рудах Хапчерангинского месторождения отмечаются пробы, обогащенные как хлором ($Nb/La < 1$), так и фтором ($Nb/La > 1$) (см. табл. 2). Это можно объяснить разными стадиями рудного процесса. Так, в медно-молибден-порфировых месторождениях Сибири начальные стадии рудного процесса характеризуются повышенными концентрациями хлора, конечные стадии – фтора [Берзина, 1992].

Установлено, что ASI интрузивных образований кислого состава харалгинского комплекса соответствуют коллизионным образованиям. Пространственная приуроченность рудных месторождений Хапчерангинского рудного поля к Тарбальджейскому глубинному разлому свидетельствует о возможности поступления мантийного источника

рудного вещества в верхние горизонты земной коры.

В Восточном Забайкалье в средне-позднеюрский период формирование коллизионных образований происходит при столкновении Сибирского и Монголо-Китайского континентов [Зорин и др., 1998]. В завершающие стадии коллизионного этапа (J_3-K_1), в начальные стадии рифтогенеза территория испытывает воздействие Северо-Азиатского суперплюма [Ярмолук и др., 2003]. В Восточном Забайкалье воздействие мантийного плюма в этот период сопровождалось формированием первичных, промежуточных и периферических магматических очагов [Хомич, Борискина 2017]. Рудоносные диоритовые порфириды района Хапчерангинского месторождения, вероятнее всего, являются производными нижнекорового промежуточного магматического очага. Соответствие гранитов Хапчерангинского штока и

даек диоритовых порфиров единому эталонному интрузивному тренду щелочных лейкогранитов указывает на вероятность их формирования из единого глубинного магматического очага.

Заключение

Таким образом, вероятным источником оловополиметаллического оруденения Хапчерангинского месторождения был глубинный магматический очаг (вероятно, основного состава), функционировавший в нижней континентальной коре. В течение первого этапа формирования месторождения повышенная проницаемость Тарбальджейского глубинного разлома способствовала проникновению в нижние горизонты земной коры рудоносных магм, с мантийными составляющими, за счет которых были образованы рудоносные дайки диоритовых порфиров. В течение

второго этапа, вероятно в промежуточной магматической камере, в верхней континентальной коре, в ходе дифференциации единой рудоносной магмы и поступления его по проницаемым зонам глубинного Тарбальджейского глубинного разлома был сформирован рудоносный Хапчерангинский гранитоидный массив с сопутствующим оловополиметаллическим оруденением. Интерпретация отношений индикаторных элементов в рудах ($Y/No = 25,1-30,3$) указывает на их образование из разноглубинных ($Eu/Sm = 0,16-0,29$) магматических очагов. Наличие в рудоносных расплавах руд, обогащенных как хлором ($Nb/La < 1$), так и фтором ($Nb/La > 1$), можно объяснить разными стадиями рудного процесса. Так, в медно-молибден-порфировых месторождениях Сибири начальные стадии рудного процесса характеризуются повышенными концентрациями хлора, конечные стадии – фтора [Берзина, 1992].

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Б.Н.** Источники рудоносных флюидов As , Mo , W и $Pb-Zn$ месторождений Восточного Забайкалья (по данным распределения редких и редкоземельных элементов) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 7. С. 71–83. DOI: 10.18799/24131830/2019/7/2178.
- Абрамов Б.Н.** Особенности формирования рудно-магматических систем Шерловогорского и Хапчерангинского оловополиметаллических месторождений Восточного Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. № 6. С. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-6-6-13.
- Берзина А.Н.** Хлор и фтор в рудно-магматическом процессе (на примере $Cu-Mo$ -порфировых месторождений Сибири) : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск, 1992. 19 с.
- Бородин Л.С.** Модельная система петрохимических и металлогенических трендов гранитоидов как система прогноза месторождений Sn , Li , Ta , W , Mo , Cu // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 1–26.
- Гонгальский Б.И., Сергеев А.Д.** Хапчерангинское оловорудное месторождение // Месторождения Забайкалья. М. : Геоинформмарк, 1993. Т. 1, кн. 1. С. 101–105.
- Гордиенко И.В., Кузьмин М.И.** Геодинамика и металлогения Монголо-Охотского региона // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 11. С. 1545–1562.
- Великославинский С.Д.** Геохимическая типизация кислых магматических пород ведущих геодинамических обстановок // Петрология. 2003. Т. 11, № 4. С. 363–380.
- Винокуров С.Ф.** Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // Доклады академии наук. 1996. Т. 346, № 6. С. 792–795.
- Зорин Ю.А., Бугров Ю.Н.** Морфология кровли Хапчерангинского плутона по геофизическим данным // Записки Забайкальского отдела географического общества СССР. Чита, 1964. Вып. XXIII. С. 145–147.
- Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г. и др.** Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 11. С. 104–112.
- Интерпретация геохимических данных** : учеб. пособие / под ред. Е.В. Склярова. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Константинов Р.М., Томсон И.Н., Полякова О.П.** Возрастная последовательность формирования рудных формаций Восточного Забайкалья // Новые данные по магматизму и минерализации в рудных районах востока СССР. М. : Наука, 1971. С. 36–49.
- Козлов В.Д., Спиридонов А.М., Чокан В.М.** Петрогеохимия, редкоэлементная и редкоземельная характеристики гранитоидов Любавинско-Хапчерангинского района Центрального Забайкалья // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. 2008. № 7 (33). С. 4–17.
- Онтеев Д.О.** Стадийность минералообразования и зональность месторождений Забайкалья. М. : Недра, 1974. 244 с.
- Смирнов С.С.** Схема металлогении Восточного Забайкалья // Проблемы советской геологии. 1936. Вып. 6, № 10. С. 846–864.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д.** Геолого-генетические модели золоторудных месторождений Забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 11. С. 1158–1169.
- Томсон И.Н.** Генетические модели глубинных ярусов на оловянных месторождениях Приморья // Доклады Академии наук. 1998. Т. 358, № 5. С. 653–656.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.** Континентальная кора, ее состав и эволюция. М. : Мир, 1988. 384 с.
- Хомич В.Г., Борискина Н.Г.** Совершенствование минерагенического районирования Восточного Забайкалья на основе геофизических исследований // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 7. С. 1029–1046. DOI: 10.15372/GiG20170706.
- Ярмолюк В.В., Коваленко В.И.** Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 556–586.
- Baum M.** Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/No , Zr/Hf , and lanthanide tetrad effect // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1996. V. 123. P. 323–333. DOI: 10.1007/s004100050159.

Pearce J.A., Harris N.B., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology. 1984. V. 25. P. 956–983. DOI: 10.1093/petrology/25.4.956.

Ridley J. R., Diamond L. W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // Reviews in Economic Geology. 2000. V. 13. P. 141–162.

Автор:

Абрамов Баир Намжилевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН, Чита, Россия.

E-mail: b_abramov@mail.ru

Geosphere Research, 2021, 1, 6–17. DOI: 10.17223/25421379/18/1

B.N. Abramov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

KHAPCHERANGINSKY TIN-POLYMETALLIC DEPOSIT: GEOCHEMICAL FEATURES, PROBABLE SOURCES OF ORE MATERIAL (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Structurally, Khapcheranginsky tin-polymetallic deposit is associated with the Tarbaldzheisky deep fault zone. Spatially, intrusions outcrops of the Kharkaralinsky complex (J_{2-3}) gravitate to this zone. It has been revealed that the formation of ore-magmatic formations of Khapcheranginsky tin-polymetallic deposit occurred from a deep magmatic source as a result of collisional and postcollisional processes. In the deposit area, the dyke complex is represented by dioritic porphyries, lamprophyries, quartz porphyries, and diabase porphyries. Several dozens of tin-polymetallic veins and several vein zones have been identified at the deposit. The tin-polymetallic mineralisation has a clear horizontal zoning in relation to the Khapcheranginsky rod. In the endocontact zone of granites tin-rare metal greisens with cassiterite, wolframite, beryl and topaz are developed. Further, pyrite-cassiterite-quartz, quartz-cassiterite-arsenopyrite ores are developed as they move away from the granite seam, followed by sphalerite-galenite ores. The vertical ore zoning of Khapcheranginsky deposit is represented by a change in the composition of ore veins, reduction in their length and thickness with depth. Sphalerite-galenite ores are developed in the upper horizons of the deposit, quartz-cassiterite-arsenopyrite ores are recorded below, pyrite-cassiterite-quartz ores are observed in the lower horizons. The ore zoning of Khapcheranginsky deposit is similar to the ore zoning of Sherlovogorsky tin-polymetallic deposit of Eastern Transbaikalia and tin-polymetallic deposits of the Far East. It has been established that the dikes of dioritic porphyrites and leucocratic granites of the Khapcheranginsky rod were formed from a single deep magmatic chamber. This is confirmed by their correspondence to the single reference intrusive trend of alkaline leucogranites, close age intervals of their formation ($163 \pm 7 - 165 - 170 \pm 7$ Ma), and presence of tin-polymetallic mineralization in dykes of diorite porphyrites. It was found that the most differentiated were magmatic sources of granites ($Eu/Eu^* - 0.14 - 0.17$), less differentiated were magmatic sources of tin-polymetallic ores ($Eu/Eu^* - 0.40 - 0.76$), and the least differentiated were sources of polymetallic ores in diorite porphyrites ($Eu/Eu^* - 0.75 - 0.77$). The indicator ratio of elements in the ores indicates that the ores have been enriched in both chlorine ($Nd/La < 1$) and fluorine ($Nd/La > 1$). These differences can be explained by different stages of the ore process. Thus, in the copper-molybdenum-porphyry deposits of Siberia the initial stages of the ore process are characterized by higher concentrations of chlorine, the final stages by fluorine.

Keywords: *Khapcherginsky deposit, magmatic chambers, mineralization sources, degree of differentiation, indicative ratios of elements, Eastern Transbaikalia.*

References

Abramov B.N. Sources of orebearing fluids Au, Mo, W and Pb-Zn OF Eastern Transbaikalia deposits (according to the rare earth elements distribution) // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2019. V. 330. No 7. pp. 71–83. DOI: 10.18799/24131830/2019/7/2178. In Russian.

Abramov B. N. Formation features of ore-magmatic systems of Sherlovogorsky and Khapcheranginsky tin-polymetallic deposits of Eastern Transbaikalia // Bulletin of ZabGU. 2020. V. 26. No 6. pp. 6–13. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-6-6-13. In Russian.

Berzina A. N. *Khlor i fluor v rudno-magmaticheskom protsesse (na primere Cu-Mo-porfirovykh mestorozhdeniy Sibiri)* [Chlorine and fluorine in the ore-magmatic process (the example of Cu-Mo-porphyry deposits in Siberia): dissertation abstract]. Novosibirsk. 1992. 19 p. In Russian.

Borodin L. S. Model system of petrochemical and metallogenic trends of granitoids as a basis for the prognosis of Sn, Li, Ta, Nb, W, Mo, and Cu deposits // Geology of ore deposits. 2004. V. 46. No 1. pp. 1–21.

Gongal'skiy B.I., Sergeev A.D. *Khapcheranginskoe olovorudnoe mestorozhdenie (kn. Mestorozhdeniya Zabaykal'ya)* [Khapcheranginsky tin ore deposit (book Deposits of Transbaikalia)]. Moscow: Geoinformmark. 1993. V. 1. No 1. pp. 101–105. In Russian.

Gordienko I.V., Kuz'min M.I. Geodinamika i metallogeniya Mongolo-Okhotskogo regiona [Geodynamics and metallogeny of the Mongol-Okhotsk region] // Russian Geology and Geophysics. 1999. V. 40. No 11. pp. 1545–1562. In Russian.

Velikoslavinskii S.D. Geochemical classification of silicic igneous rocks of major geodynamic environments // Petrology. 2003. V. 11. No 4. pp. 327–372.

Vinokurov S.F. *Evropievy anomalii v rudnykh mestorozhdeniyakh i ikh geokhimicheskoe znachenie* [Europium anomalies in the ore deposits and their geochemical significance] // Doklady Earth Sciences. 1996. V. 346. No 6. pp. 792–795. In Russian.

Zorin Yu.A., Bugrov Yu.N. *Morfologiya krovli Khapcheranginskogo plutona po geofizicheskim dannym* [Roof morphology of Khapcheranginsky pluton from geophysical data] // Zapiski Zabaykal'skogo otdela georaficheskogo obshchestva SSSR. Chita. 1964. V. XXIII. pp. 145–147. In Russian.

Zorin Yu.A., Belichenko V.G., Rutshteyn I.G. et al. *Geodinamika zapadnoy chasti Mongolo-Okhotskogo poyasa i tektonicheskaya pozitsiya rudnykh proyavleniy zolota v Zabaykal'e* [Geodynamics of the western part of the Mongol-Okhotsk belt and the tectonic position of gold ore manifestations in Transbaikalia] // Russian Geology and Geophysics. 1998. V. 39. No 11. pp. 104–112. In Russian.

Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh: Uchebnoe posobie [Interpretation of geochemical data: Textbook] (Ed. E.V. Sklyarov). Moscow: Intermet Inzhiniring, 2001. 288 p. In Russian.

Konstantinov R.M., Tomson I.N., Polyakova O.P. *Vozrastnaya posledovatel'nost' formirovaniya rudnykh formatsiy Vostochnogo Zabaykal'ya* [Age sequence of formation of ore formations of Eastern Transbaikalia] // *Novye dannye po magmatizmu i mineralizatsii v rudnykh rayonakh vostoka SSSR*. Moscow: Nauka, 1971. pp. 36–49. In Russian.

Kozlov V.D., Spiridonov A.M., Chokan V.M. Petrological-geochemical features and metallogenic specilaization of the granitoids of the Lubava-Khapcheranga ore district, Central Transbaikalia // *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle RAEN*. 2008. No 7 (33). pp. 4–17. In Russian.

Ontoev D.O. *Stadiynost' mineraloobrazovaniya i zonal'nost' mestorozhdeniy Zabaykal'ya* [Mineralisation staging and zoning of deposits in Transbaikalia]. Moscow: Nedra, 1974. 244 p. In Russian.

Smirnov S.S. *Skhema metallogenii Vostochnogo Zabaykal'ya* [Eastern Transbaikalia metallogeny scheme] // *Problemy sovetskoy geologii*. 1936. Iss. 6. No 10. pp. 846–864. In Russian.

Spiridonov A. M., Zorina L. D. Geologo-genetic models of gold deposits in the Transbaikalian area of the Mongolo-Okhotsk fold belt // *Russian Geology and Geophysics*. 2006. V. 47. No 11. pp. 1158–1169. In Russian.

Tomson I.N. *Geneticheskie modeli glubinykh yarusov na olovyannykh mestorozhdeniyakh Primor'ya* [Genetic models of deep horizons at tin deposits in Primorye] // *Doklady Earth Sciences*. 1998. V. 358. No 5. pp. 653–656. In Russian.

Taylor S. P., McLennan S. M. The continental crust: its composition and evolution. Moscow: Mir, 1988. 384 p. In Russian.

Khomich V. G., Boriskina N. G. Advancement of mineragenic regionalization of Eastern Transbaikalia based on geophysical studies // *Russian Geology and Geophysics*. 2017. V. 58. No 7. pp. 822–835. DOI: 10.1016/j.rgg.2017.06.005.

Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I. Deep geodynamics and mantle plumes: their role in the formation of the Central Asian fold belt // *Petrology*. 2003. V. 11. No 6. pp. 504–531.

Baum M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aquatic systems: evidence from Y/Nb Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1996. V. 123. pp. 323–333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004100050159>.

Pearce J. A., Harris N. B., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Journal of Petrology*. 1984. V. 25. pp. 956–983. DOI: 10.1093/petrology/25.4.956.

Ridley J. R. and Diamond L. W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // *Reviews in Economic Geology*. 2000. V. 13. pp. 141–162.

Author's:

Abramov Bair N., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geochemistry and Ore genesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: b_abramov@mail.ru