

УДК 553.411. (571.5)

© Б.Н.Абрамов, 2014

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КЛЮЧЕВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ

Б.Н.Абрамов (ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН)

Золотое оруденение Ключевского золоторудного месторождения парагенетически связано с заключительными стадиями образования даек амуджиканского комплекса (J_3). Выявлено, что магматические очаги даек данного комплекса, ранних взрывных брекчий и сульфидно-кварц-турмалинового оруденения функционировали на глубинах, соответствующих нижней континентальной коре, и имели близкие значения степени дифференциации магматического очага, что указывает на образование их в одинаковых условиях.

Ключевые слова: золотое оруденение, амуджиканский комплекс, магматический очаг.

Абрамов Баир Намжиллович, b_abramov@mail.ru

FORMING PARTICULARITIES OF ORE-MAGMATIC SYSTEM FROM KLUCHEVSKOY GOLD DEPOSIT, EASTERN TRANSBAIKALIA

B.N.Abramov

Gold mineralization of Kluchevskoy gold deposit paragenetically associated with the final stages of the dikes formation from Amudzhikansky complex (J_3). Revealed that the magma chambers of dikes of this complex, early explosive breccias and sulfide-quartz-tourmaline mineralization functioned at the depths corresponding lower continental crust and had similar values of the degree of differentiation of the magma chamber, that indicating about its formation in the same conditions.

Key words: gold mineralization, Amudzhikansky complex, magma chamber.

Под рудно-магматической системой понимается эволюция во времени и в пространстве взаимосвязанных рудопроизводящих магматических тел и рудных образований [10]. Золотое оруденение Ключевского месторождения парагенетически связано с дайковым комплексом амуджикано-шахтминского комплекса (J_{2-3}). Новые данные по петрогеохимии интрузий и взрывных брекчий данного комплекса позволяют дополнить сведения о рудно-магматической системе месторождения.

Ключевское золоторудное месторождение, расположенное в южной части Алдано-Становой области, относится к числу крупных объектов золото-молибденового пояса [9]. Большой вклад в его изучение внесли М.Б.Бородаевская, Н.В.Петровская и др. Они были изучены структура, петрогеохимические особенности пород и руд [2, 8].

В структурном плане месторождение приурочено к зоне широтного разлома, являющегося составной частью Могочинско-Бушулейского тектонического нарушения. На площади месторождения развиты интрузивные образования амананского (J_{2-3}) и амуджиканского (J_3) комплексов, трансформирующие Могоча-Бушулейскую ветвь Монголо-Охотской сутуры (рис. 1) [6]. Интрузивные образования амуджиканского комплекса представлены штоками гранит-порфиров и дайками. Граниты отличаются порфировидной структурой и присутствием крупных выделений калиевого полевого шпата (до 15 см), реже плагиоклаза, биотита, амфи-

бола, кварца. Их абсолютный возраст, определенный Rb-Sr методом, составляет 146 млн. лет [5].

В районе месторождения в составе амуджиканского комплекса выделяются следующие разновидности даек (от ранних к поздним): диоритовые порфириты → гибридные порфиры → лампрофиры → ортоклазиты. Золотое оруденение парагенетически тесно связано с поздними дайками. Дайки диоритовых порфиритов имеют мощность до нескольких метров, протяженность до нескольких сотен метров. Их основная масса сложена плагиоклазом, в подчиненном количестве развиты кварц, калиевый полевой шпат. Вкрапленники состоят из роговой обманки и биотита. Мощность даек гибридных порфиров до 10 м, протяженность 500 м. Основная масса их сложена плагиоклазом и роговой обманкой. Вкрапленники — калиевый полевой шпат, часто с кварцевыми и роговообманковыми реакционными каемками. Дайки лампрофиров мощностью до нескольких метров состоят из полевого шпата, роговой обманки, пироксена, биотита, кварца. По соотношениям этих минералов выделяются разновидности лампрофиров — спессартит и кersantit. Дайки ортоклазитов маломощны, их протяженность до нескольких десятков метров. В минеральном составе наблюдаются ортоклаз, альбит, кварц. Дайки гибридных порфиров, лампрофиров и ортоклазитов по времени формирования близки к процессам рудообразования. Отмечаются пересечения дайками гибридных порфиров и лампрофиров кварц-турмалиновых жил, которые, в свою очередь,

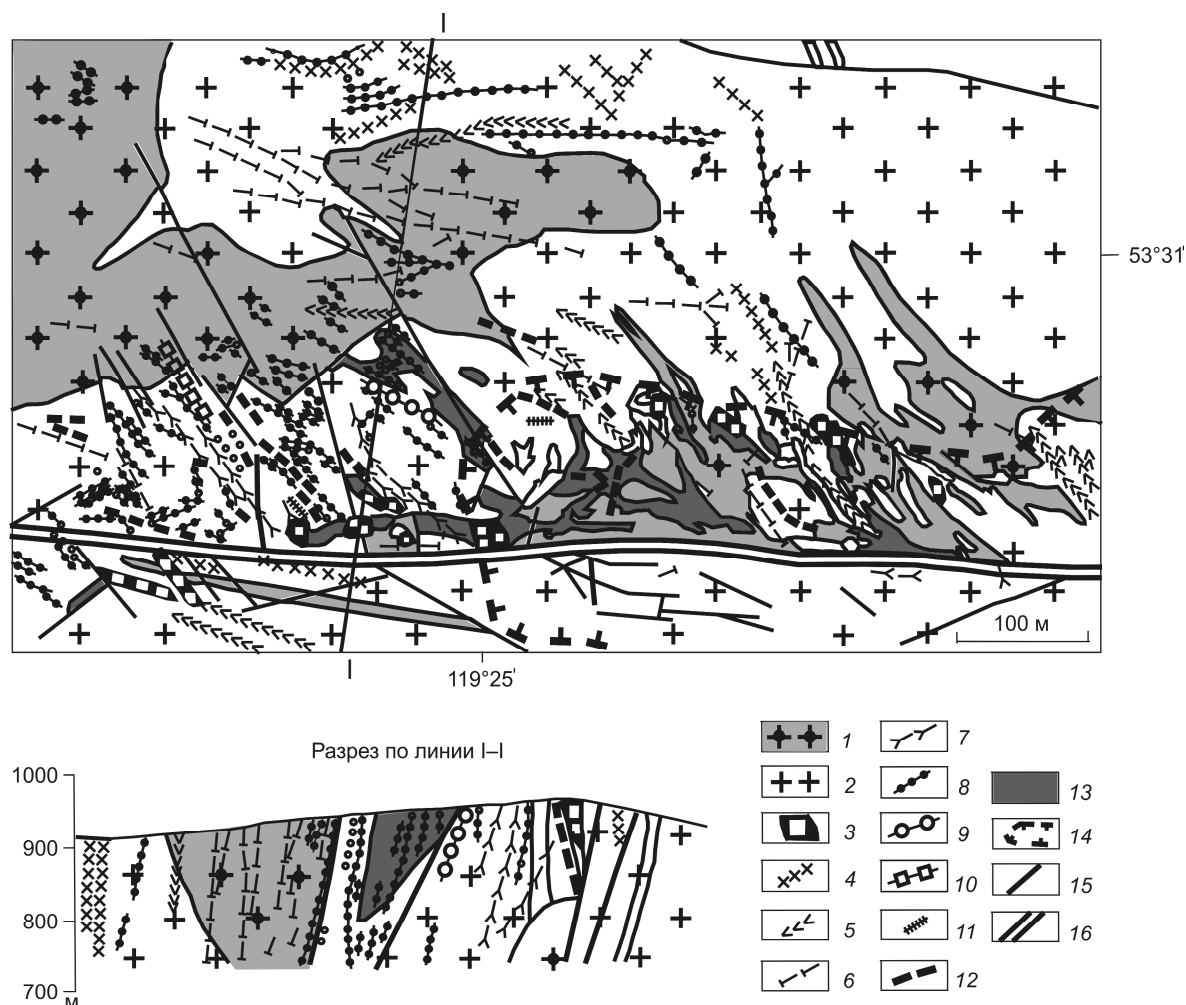


Рис. 1. Схема геологического строения Ключевского золоторудного месторождения:

1 — гранит-порфиры амуджиканского комплекса, J_3 ; 2 — гранодиориты, кварцевые диориты амананского комплекса, J_{2-3} ; 3 — взрывчатые кварц-турмалиновые брекчии; дайковый комплекс: 4 — гранит-порфиры, 5 — диоритовые порфиры, 6 — гибридные порфиры; 7 — лампрофиты; жилы: 8 — кварц-пирит-турмалиновые, 9 — кварцево-сульфидные, 10 — кварцевые с полиметаллической минерализацией, 11 — кварц-карбонатные, 12 — кварц-турмалиновые; 13 — зоны метасоматически измененных пород (окварцевание, турмалинизация); 14 — контуры карьера; 15 — тектонические нарушения; 16 — широтный разлом

секутся сульфидными и кварц-карбонатными прожилками.

Характерной особенностью Ключевского месторождения является наличие конусо-, трубо- и жилообразных тел взрывчатых брекчий (ЭБ), пространственно приуроченных к периферийным частям штоков гранит-порфиров амуджиканского комплекса. Взрывчатые брекчии различаются по времени формирования, морфологии, масштабам выделений, составу цемента, размерам обломков. Брекчиевые тела в диаметре достигают 30–70 м. Размер обломочного материала колеблется от n мм до $10n$ см. В крупных брекчиевых телах размер обломков от центральной части к периферии увели-

чивается. Наличие обломков «древних» брекчий в более «поздних» указывает на существование разновозрастных брекчий. В ранних ЭБ преобладает кварц-турмалиновый цемент, в поздних — хлорит-турмалин-актинолитовый, карбонат-хлорит-пиритовый и карбонатный. К поздним относятся брекчии, характеризующиеся повышенными концентрациями редкоземельных элементов. В них тонкие дробленные частицы кварц-турмалинового состава сцементированы карбонатным материалом. Образование части ЭБ происходило в периоды рудообразования, отмечаются сульфидизированные участки с содержаниями Au до нескольких грамм на 1 т. В Восточном Забайкалье в некоторых мезозойских

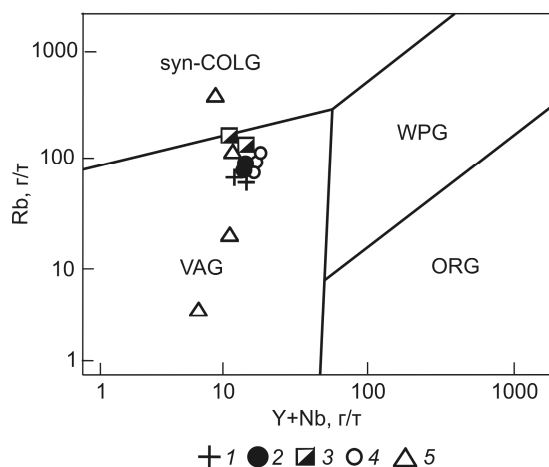


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма Rb – (Y+Nb) для гранитоидов [11]:

поля гранитов на диаграммах: syn-COLG — коллизионные, WPG — внутриплитные, VAG — вулканических дуг, ORG — океанических хребтов; амуджиканский комплекс: 1 — гранит-порфиры, 2 — диоритовые порфиры, 3 — гибридные порфиры, 4 — лампрофиры, 5 — эксплозивные брекчии

золоторудных месторождениях с ЭБ связано основное золотое оруденение [1].

Положение интрузивных образований и эксплозивных брекчии амуджиканского комплекса на дискриминационной диаграмме Rb – (Y+Nb) свидетельствует о формировании их в островодужной обстановке (рис. 2).

Интрузивные образования амуджиканского комплекса имеют как сходные, так и отличительные петрохимические особенности. Гранитоиды по соотношениям петрохимических параметров соответствуют гранитам I-типа (рис. 3). По коэффициенту глиноземистости ($al' = 1,33–1,50$) и коэффициентам окисленности железа дайки гибридных порфиров, лампрофиров, диоритовых порфиров и ранние ЭБ близки ($F = 0,30–0,32$), что говорит о сходных условиях их формирования [4]. В гранитах эти параметры имеют большие значения ($al' = 3,47–3,82$, $F = 0,76–0,79$), что свидетельствует об образовании их в окислительной обстановке. Поздние ЭБ отличаются очень высоким коэффициентом окисленности железа ($F = 12,44$), что объясняется образованием их в окислительной обстановке (табл. 1).

Характерная особенность интрузий амуджиканского комплекса — повышенные содержания K_2O . На диаграмме K_2O – SiO_2 они соответствуют магматическим образованиям высококальциевой известково-щелочной серии, а некоторые дайки гибридных порфиров и лампрофиров — шошоновитовой серии (рис. 4).

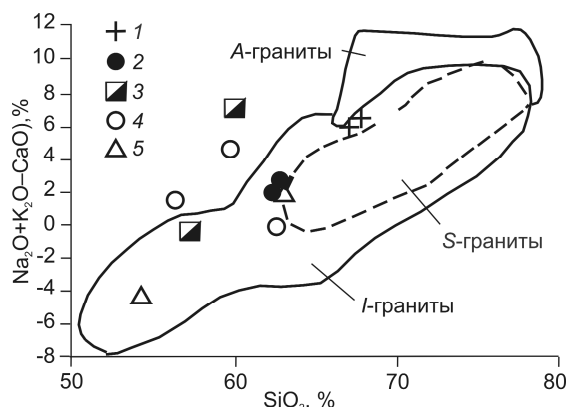


Рис. 3. Диаграмма (Na_2O+K_2O-CaO) – SiO_2 для гранитоидов:

усл. обозн. см. рис. 2

Морфологически рудные образования представлены жилами, жильными и штокверковыми зонами. Основные концентрации золота сосредоточены в центральном штокверке (1000×300 м). Главный рудный минерал — пирит, второстепенные — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, антимонит, молибденит, золото.

Рудная минерализация подразделяется на несколько стадий (от ранних к поздним): молибденит-кварцевая → сульфидно-кварц-турмалиновая (наиболее распространенная) → кварц-пиритовая → кварц-полиметаллическая → карбонатно-кварцевая [6, 7]. Установлено, что температуры образования минералов молибденит-кварцевой стадии соответствовали 390–450°C, кварц-турмалиновой — 290–365°C,

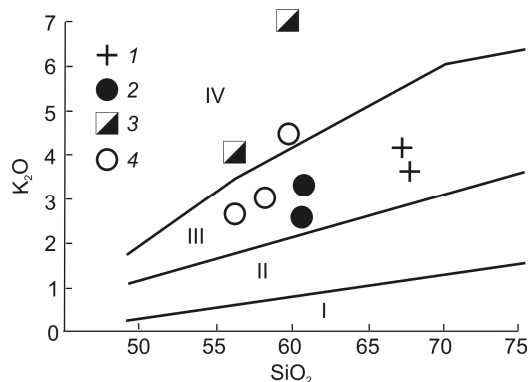


Рис. 4. Соотношение K_2O – SiO_2 в интрузивных и эксплозивных образованиях Ключевского золоторудного месторождения:

поля интрузивных серий на диаграмме: IV — шошоновитовая, III — высококальциевая известково-щелочная, II — среднекальциевая известково-щелочная, I — островодужная толеитовая; остальные усл. обозн. см. рис. 2

**1. Содержания петрогенных компонентов в интрузивных и эксплозивных образованиях
Ключевского золоторудного месторождения, мас. %**

Породы	Гибридные порфиры		Эксплозивные брекчии с кварц-турмалиновым цементом		Граниты амуджиканского комплекса		Диоритовые порфиры		Эксплозивные брекчии с карбонатным цементом	Лампрофиры		
SiO ₂	59,70	56,40	62,60	59,80	67,80	67,30	62,10	62,20	54,5	59,30	57,00	56,00
TiO ₂	0,60	0,50	0,25	0,54	0,35	0,33	0,49	0,53	0,06	0,63	0,57	0,60
Al ₂ O ₃	14,40	12,80	11,70	14,10	15,00	14,70	14,40	14,90	4,30	14,50	13,70	14,20
Fe ₂ O ₃	1,87	1,05	4,56	1,16	1,28	1,23	1,21	3,07	16,54	1,03	0,85	2,02
FeO	5,80	3,48	1,84	3,76	1,68	1,56	3,64	2,48	1,33	3,88	4,48	4,76
MnO	0,11	0,09	0,08	0,07	0,03	0,04	0,10	0,03	0,04	0,09	0,10	0,12
MgO	2,54	3,26	3,24	5,06	1,40	1,06	4,84	5,06	1,49	4,75	6,48	7,84
CaO	0,42	4,82	3,37	3,61	2,68	2,49	4,24	4,24	4,37	3,07	5,76	5,07
Na ₂ O	0,24	0,25	3,07	3,79	4,53	4,19	3,07	3,19	0,13	2,07	3,20	3,93
K ₂ O	7,06	4,00	0,18	4,00	3,57	4,10	3,38	2,69	0,01	4,39	3,00	2,7
P ₂ O ₅	0,16	0,14	0,23	0,16	0,13	0,13	0,14	0,12	0,31	0,16	0,16	0,20
ППП	6,79	13,38	6,60	3,84	1,25	2,35	1,74	1,75	13,33	6,23	4,42	2,83
Σ	99,69	100,17	97,72	99,89	99,70	99,48	99,35	100,26	96,41	100,10	99,72	100,27
al ⁿ	1,41	1,63	1,33	1,41	3,47	3,82	1,49	1,40	0,22	1,50	1,16	0,97
F	0,32	0,30	0,30	0,31	0,76	0,79	0,33	1,23	12,44	0,26	0,19	0,42

Примечание. $al^n = Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$; $F = Fe_2O_3 / FeO$.

кварц-пиритовой — 250°C, карбонатно-кварцевой — 130–140°C [6]. Среднее содержание сульфидов в рудах составляет 10–15%. Наиболее продуктивны на золото кварц-пиритовая и кварц-полиметаллическая ассоциации. В рудах среднее содержание Au 2–3 г/т. Абсолютный возраст околорудных березитов (К-Аг метод по серициту) составляет 150±5 млн. лет [5].

В процессе исследований выявлено сходство корреляционных связей Au с другими элементами в рудах сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации и в ЭБ с кварц-турмалиновым цементом, что указывает на единые процессы образования в них золота (табл. 2).

Метасоматические изменения вмещающих пород, связанные с рудообразованием выразились в процессах турмалинизации, окварцевания, серици-

тизации и сульфидизации. Мощность таких зон достигает 10 м.

Для оценки глубины формирования и степени дифференциации магматических очагов использованы Eu/Eu^* и Eu/Sm отношения (табл. 3) [3]. Как показывают расчеты, магматические очаги интрузивных образований амуджиканского комплекса и ЭБ с кварц-турмалиновым цементом возникли в пределах нижней континентальной коры (Eu/Sm 0,19–0,21) (см. табл. 2) [3]. Они имеют близкие значения степени дифференциации магматических очагов (Eu/Eu^* 0,64–0,81). Магматические очаги ЭБ с карбонатным цементом более дифференцированы (Eu/Eu^* 0,49–0,51), образование их происходило на меньших глубинах, соответствующих верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,10) (см. табл. 2) [3]. Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ)

2. Среднее содержание и корреляционные связи ($r > 0,5$) Au с другими элементами в сульфидно-кварц-турмалиновых рудах и эксплозивных брекчиях с кварц-турмалиновым цементом

Типы руд	Число проб	Au, от–до среднее	Элементы, имеющие с Au значимые корреляционные связи ($r > 0,5$)
Сульфидно-кварц-турмалиновые руды	37	<u>0–9,02</u> 1,99	Cu, Sn, As, Cd
Эксплозивные брекчии	23	<u>0,01–2,14</u> 0,39	Cu, Cd, Sn, Ag

Примечание. Содержание Au определялось скintилляционным и атомно-абсорбционным методами в аналитических лабораториях ОАО «ЛИЦИМС» (г. Чита).

3. Содержание редких, рудных и редкоземельных элементов в породах и рудах Ключевского золоторудного месторождения, г/т

Элементы	Кварц-турмалин-сульфидные руды	Гибридные порфиры		Эксплозивные брекчи с кварц-турмалиновым цементом		Граниты амуджиканского комплекса		Диоритовые порфиры		Лампрофиры				Эксплозивные брекчи с карбонатным цементом	
Zn	98	71	71	60	44	75	27	65	64	52	39	-	66	80	-
As	3060	47	47	1500	140	39	99	55	49	22	130	430	1270	1150	-
Pb	138	40	40	41	150	35	21	22	49	-	-	24	60	55	-
Rb	3	110	110	6	108	64	80	99	84	110	96	83	20	4	-
Sr	248	390	390	320	400	560	650	490	470	370	460	480	420	220	-
Zr	83	100	100	75	110	110	110	120	120	105	110	140	50	40	-
Nb	4	5	5	4	6	6,4	5,5	3,9	6,1	6	6,4	2,8	3	3	-
Sn	98	1	1	8	-	-	-	1,4	1,5	-	2,6	1,5	11	19	-
Sb	160	14	14	190	9	4	12	3	4	20	9	11,7	21	284	-
Ba	38	420	420	8	760	800	1130	760	680	800	520	520	940	280	-
Au	0,50	0,32	0,32	0,95	0,01	0,01	0,25	0,65	-	0,02	-	-	4,05	0,01	-
La	8,2	19,90	19,90	3,60	18,9	13,50	17,00	16,60	11,90	15,80	18,10	18,10	315,00	282,00	286,00
Ce	17,6	36,50	36,50	14,30	38,00	33,60	32,70	36,80	37,80	38,90	43,70	43,70	530,00	514,00	475,00
Pr	<2	3,10	3,10	<0,2	2,70	2,50	2,60	2,70	2,00	2,90	3,60	3,60	39,00	51,00	33,60
Nd	8,4	13,80	13,80	4,10	12,40	10,90	11,10	12,40	10,80	13,00	15,10	15,10	136,00	141,00	118,00
Sm	2,3	2,50	2,50	<1,0	2,10	1,60	1,70	2,10	1,90	2,30	2,60	2,60	18,60	17,70	15,90
Eu	0,50	0,48	0,48	0,13	0,46	0,33	0,38	0,40	0,38	0,47	0,59	0,59	1,95	1,81	1,42
Gd	2,10	2,24	2,24	<1,0	1,70	1,26	1,18	1,65	1,41	1,89	2,16	2,16	7,90	6,50	5,10
Tb	<0,50	0,37	0,37	<0,4	<0,4	0,39	0,38	0,40	0,40	0,36	0,39	0,39	<1	0,58	<0,50
Dy	2,30	2,24	2,24	0,50	1,40	0,91	0,90	1,30	1,20	1,50	1,70	1,70	3,90	3,20	2,50
Ho	0,52	0,33	0,33	<0,20	0,28	0,20	0,20	0,23	0,26	0,30	0,32	0,32	0,78	0,62	0,50
Er	1,50	0,89	0,84	4,10	0,82	0,51	0,50	0,70	0,56	0,78	0,86	0,86	1,50	0,76	0,85
Tm	<0,30	0,13	<0,10	<0,10	<0,1	0,09	0,08	0,10	0,13	0,12	0,15	0,15	<0,30	<0,30	<0,30
Yb	1,13	0,73	0,35	0,35	0,76	0,51	0,51	0,60	0,56	0,70	0,89	0,89	1,15	0,85	0,74
Lu	0,15	0,12	<0,10	<0,10	0,11	0,08	0,10	0,10	0,11	0,13	0,15	0,15	0,19	0,18	0,11
Y	13,10	8,90	3,80	3,80	8,80	5,60	5,60	8,10	7,90	8,50	10,50	10,50	14,60	12,10	8,4
ΣLREE	25,8	59,50	17,90	59,60	59,60	49,60	52,30	56,10	51,70	57,60	65,40	84,70	884,00	847,00	794,60
ΣHREE	16,40	11,05	8,25	10,77	10,77	6,99	6,99	9,83	9,72	10,53	12,87	21,27	18,22	14,51	10,60
ΣTR	57,80	92,18	30,88	88,43	88,43	71,98	74,93	83,68	77,51	87,65	100,81	141,69	1070,57	1032,30	948,12
(La/Yb) _n	5,03	18,93	17,41	42,85	42,85	18,40	23,10	19,20	12,50	15,60	14,10	12,50	184,99	199,82	268,27
Eu/Eu*	0,69	0,61	-	0,74	0,74	0,69	0,78	0,64	0,58	0,67	0,74	0,81	0,49	0,51	0,48
Eu/Sm	0,22	0,19	-	0,22	0,22	0,21	0,22	0,19	0,20	0,20	0,22	0,22	0,10	0,10	0,09

Примечание. ΣLREE — сумма легких РЗЭ (La–Pr), ΣHREE — сумма тяжелых РЗЭ (Ho–Lu, Y), ΣTR — сумма РЗЭ. Рудные и редкие элементы определены Б.Ж.Жалсаравым методом РФА; редкоземельные элементы — Л.А.Левантуевой, Т.И.Казанцевой методом ASP-AES в аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ). Содержание Au определено сцинтилляционным и атомно-абсорбционным методами в лабораторно-исследовательском центре по изучению минерального сырья (ОАО «ЛНЦ ИМС», г. Чита); «-» — нет данных.

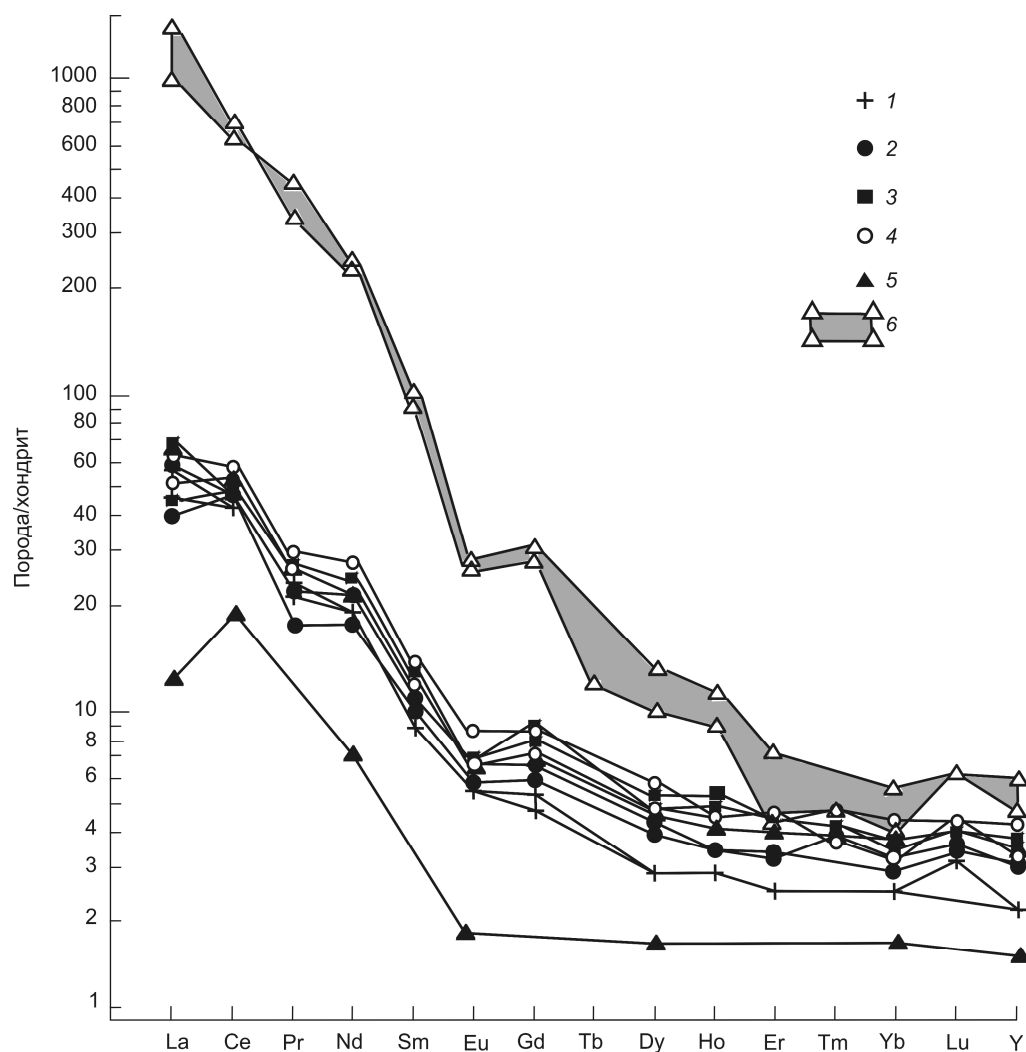


Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в интрузивных и эксплозивных образованиях Ключевского золоторудного месторождения:

1 — гранит-порфиры; 2 — диоритовые порфиры; 3 — гибридные порфиры; 4 — лампрофиры; 5 — эксплозивные брекчии с кварц-карбонатным цементом, 6 — поля значений эксплозивных брекчий с карбонатным цементом

указывает на близкие глубины образования и степени дифференциации магматических очагов интрузий амуджиканского комплекса и некоторых ЭБ. Поздние ЭБ с карбонатным цементом характеризуются повышенными концентрациями РЗЭ (рис. 5). Магматические очаги кварц-турмалин-сульфидных руд по степени дифференциации ($Eu/Eu^* 0,69$) по глубинам функционирования магматических очагов ($Eu/Sm 0,22$) близки к магматическим очагам даек гибридных порфиров, лампрофиров, диоритовых порфиритов и ранних ЭБ.

Таким образом, магматические очаги даек амуджиканского комплекса, ранних ЭБ и руд сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации формировались на

глубинах, соответствующих нижней континентальной коре ($Eu/Sm=0,19-0,22$). Магматические очаги этих пород имели близкие значения степени дифференциации магматического очага ($Eu/Eu^* 0,61-0,74$), коэффициентов глиноземистости ($al^c 1,33-1,50$) и коэффициентов окисленности железа ($F 0,30-0,32$). В отличие от них магматические очаги гранитов амуджиканского комплекса характеризовались большими значениями коэффициентов глиноземистости и окисленности железа ($al^c 3,47-3,82$, $F 0,76-0,79$). Магматические очаги поздних ЭБ функционировали на глубинах, отвечающих верхней континентальной коре ($Eu/Sm 0,09-0,10$). При этом они имели очень высокие значения степени окисленности железа (F

12,44), что можно объяснить образованием их в окислительной обстановке.

С заключительными этапами образования даек амуджиканского комплекса (лампрофирами, гибридными порфирами) парагенетически связано золотое оруденение. Образование ЭБ связано с интрузиями амуджиканского комплекса. Выявлено, что эксплозивные брекчии формировались во все периоды рудного процесса. В ранних ЭБ отмечается кварц-турмалиновый цемент, в поздних — карбонатный. В поздних брекчиях повышены концентрации редкоземельных элементов. Золотое оруденение в рудах сульфидно-кварц-турмалиновой ассоциации и в рудных брекчиях возникло в ходе единых процессов рудообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н.* Условия формирования и рудоносность флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Докл. РАН. 2011. Т. 440. № 1. С. 67–71.
2. *Бородаевская М.Б.* Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послеверхнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1956. № 6. С. 70–91.
3. *Винокуров С.Ф.* Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // Докл. РАН. 1996. Т. 346. С. 792–795.
4. *Ефремова С.В., Стафеев К.Г.* Петрохимические методы исследования горных пород. Справочное пособие. – М.: Недра. 1985.
5. *Комаров П.В., Томсон И.Н.* Возрастная последовательность оруденения и плутогенные циклы на примере Восточного Забайкалья // Отечественная геология. 1995. № 10. С. 26–56.
6. *Криволуцкая Н.А., Гонгальский Б.И.* Ключевское месторождение // Месторождения Забайкалья. М., 1995. Т. 1. Кн. 2. С. 33–40.
7. *Криволуцкая Н.А.* Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 344–361.
8. *Петровская Н.В., Андреева М.Г.* Минералогические особенности Ключевского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Тр. ЦНИГРИ. 1958. Вып. 25. Кн. 1. С. 32–66.
9. *Смирнов С.С.* Очерк металлогении Восточного Забайкалья. – М.: Геолтехиздат, 1944.
10. *Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А.* Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: Гео, 2006.
11. *Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956–983.