

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФЛЮИДНО-ЭКСПЛОЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2015 г. Б. Н. Абрамов

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16 а, а/я 521
E-mail: b_abramov@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.01.2014 г.

В Восточном Забайкалье в результате коллизионных процессов в течение средней–поздней юры широкое развитие получили интрузивные образования амуджикано-шахтаминского комплекса (J₂₋₃). С заключительными стадиями их формирования связано образование золотого оруденения и взрывчатых брекчий. Как правило, выделяется несколько стадий образования взрывчатых брекчий. Отмечаются дорудные, синрудные и пострудные брекчии, различающиеся составом цемента, концентрацией рудных, редких и редкоземельных элементов. Магматические очаги ранних взрывчатых брекчий, относительно поздних, характеризуются большими глубинами и меньшими значениями степени их дифференциации.

Ключевые слова: *Восточное Забайкалье, золоторудные месторождения, взрывчатые брекчии.*

ВВЕДЕНИЕ

Под флюидно-взрывчатыми образованиями (ФЭО) понимают геологические тела, сложенные брекчиями, образованными в результате подземных взрывов, возникших вследствие скачкообразного перепада давления воды и газа (Туговик, 1984). Отмечено, что ФЭО являются поздними дифференциатами интрузивных образований, характеризующихся повышенным содержанием летучих рудоносных компонентов (Таусон, 1977).

В Восточном Забайкалье ФЭО широко распространены в рудных полях многих золоторудных месторождений. Они отмечаются на Дарасунском (Тимофеевский, 1972), Балейском (Максимов, 1968), Илинском (Шубин, 1961), Дельмачикском (Абрамов, 2012), Андрюшкинском и Ключевском (Криволицкая, Гонгальский, 1995; Криволицкая, 1997) золоторудных месторождениях. В геологическом строении этих месторождений имеется много сходного. Характерной особенностью многих из них является наличие ФЭО – производных магматических очагов амуджикано-шахтаминского комплекса. Золотое оруденение парагенетически связано с заключительными стадиями образования даек данного комплекса. Как правило, отмечается несколько стадий образования взрывчатых брекчий (Абрамов, 2011а). В большинстве случаев они предшествуют продуктивным стадиям золо-

того оруденения. Изучение петрогеохимических особенностей ФЭО позволяет дополнить сведения о механизмах образования золоторудных месторождений.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу данной работы положен фактический материал, полученный в результате выполнения базовых проектов Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 2000 по 2013 г. Объектами исследования служили мезозойские золоторудные месторождения Восточного Забайкалья. В процессе исследований применены данные силикатного, химико-спектрального и флуоресцентного анализов на рудные, редкие и редкоземельные элементы и петрогенные компоненты. Анализы проведены в Аналитическом центре Геологического института (г. Улан-Удэ). Редкоземельные элементы определены ISP-AS методом, редкие и рудные элементы – РФА-методом. Золото определялось сцинтилляционным и атомно-абсорбционным методами в аналитических лабораториях ЛИЦИМС (лабораторно-исследовательский центр по изучению минерального сырья Комитета природных ресурсов по Забайкальскому краю, г. Чита). В работе использованы также методы микроскопического исследования пород и руд.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ,
ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ИНТРУЗИВНЫХ И ФЛЮИДНО-
ЭКСПЛОЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Установлено, что в Восточном Забайкалье большинство месторождений и рудопоявлений золота пространственно приурочены к Монголо-Охотской сuture (Зорин и др., 1998) (рис. 1). Образование данной структуры произошло вследствие коллизии Сибирского и Монголо-Китайского континентов (Зорин и др., 1998; Гордиенко и др., 1999). Коллизионные процессы, с которыми связаны магматизм и складкообразование, происходили в течение средней-поздней юры. При повышенной проницаемости Монголо-Охотской сuture в литосферу проникали мантийные рудоносные струи из астеносферного выступа (Спиридонов и др., 2006). Рудоносные интрузии, сформированные в результате коллизионных процессов, характеризуются повышенным содержанием летучих компонентов. На

это указывает широкое развитие в пределах рудных полей ФЭО и зон кварцево-турмалиновой минерализации (Таусон, 1977).

Петрохимические особенности интрузивных образований амуджикано-шахтаминского комплекса указывают на их соответствие интрузиям вулканических дуг (рис. 2). Рассмотрим условия образования и петрогеохимические особенности юрских интрузивных и ФЭО в рудных полях некоторых золоторудных месторождений.

Илинское месторождение приурочено к Онон-Туринской зоне глубинных нарушений, разделяющей Даурскую и Агинскую структурно-формационные зоны и являющейся составной частью Монголо-Охотского коллизионного шва (Шубин, 1961). В геологическом строении месторождения участвуют гранитоиды кыринского комплекса, осложненные дайками кварцевых порфиров, гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, сиенитов, диоритовых порфиритов. Абсолютный возраст гранитов кыринского комплекса, по данным

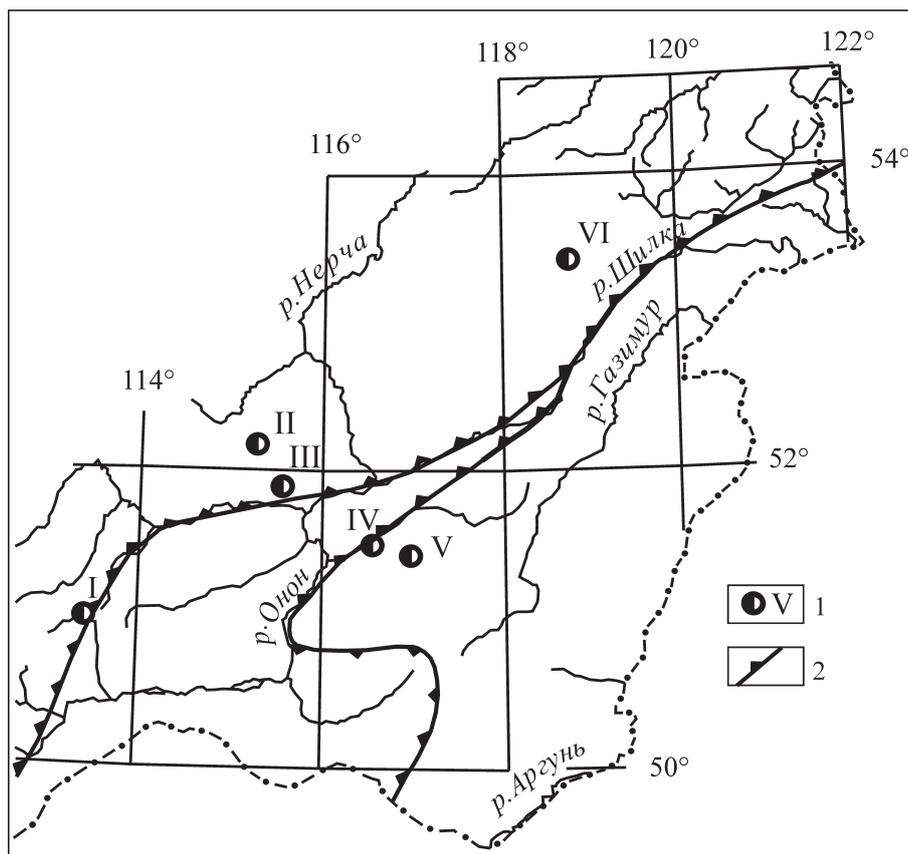


Рис. 1. Схема размещения мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья.

1 – золоторудные месторождения: I – Илинское, II – Дарасунское, III – Дельмачикское, IV – Балеysкое, V – Андрушкинское, VI – Ключевское; 2 – Монголо-Охотская сutura.

Fig. 1. Allocation scheme of the mesozoic gold deposits in East Transbaikalia.

1 – Gold deposits: I – Iilinskoe, II – Darasunskoe, III – Delmachikskoe, IV – Baleykskoe, V – Andrushkinskoe, VI – Kluchevskoe; 2 – Mongol-Okhotsk suture.

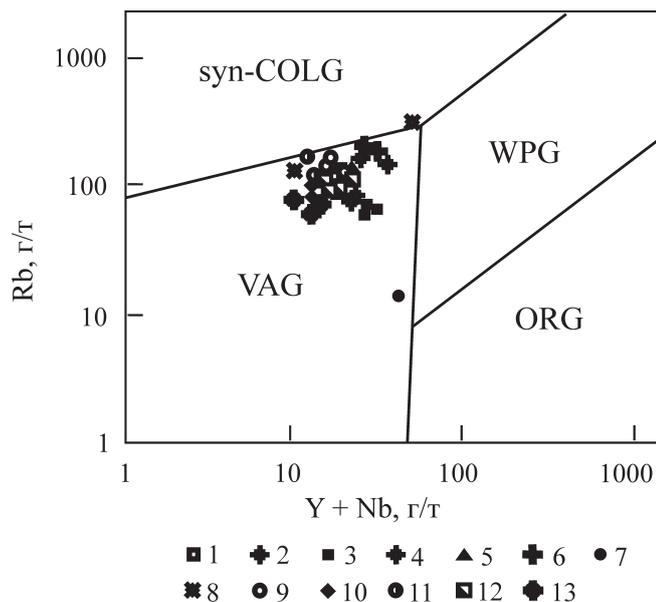


Рис. 2. Дискриминационная диаграмма Rb–Y + Nb для гранитоидов (Интерпретация..., 2001).

Мезозойские интрузивные образования золоторудных месторождений: 1–3 – Илинское, дайки: 1 – кварцевые порфиры, 2 – гранит-порфиры, 3 – диоритовые порфиры; 4–5 – Андрушкинское, дайки: 4 – гранит-порфиры, 5 – диоритовые порфиры; 6, 13 – гранитные штоки амуджикано-шахтаминского комплекса; 7–9 – Дельмачикское, дайки: 7 – диоритовый порфирит, 8 – гранит-порфир, 9 – кварцевый порфир; 10–12 – Ключевское, дайки: 10 – диоритовые порфиры, 11 – гибридные порфиры, 12 – лампрофиры. Поля на диаграммах: syn-COLG – коллизионные граниты, WPG – внутриплитные граниты, VAG – граниты вулканических дуг, ORG – граниты океанических хребтов.

Fig 2. Discriminatory diagram Rb–Y + Nb for the granitoids (Интерпретация..., 2001).

Mesozoic intrusive formations of the gold deposits. 1–3 – Ilinskoe deposit – dikes: 1 – quartz porphyries, 2 – granite-porphyrtes, 3 – diorite porphyrites; 4–5 – Andrushkinskoe deposit – dikes: 4 – granite-porphyrtes, 5 – diorite porphyrites; 6, 13 – granite stocks of Amudzhikan-Shakhtamin complex; 7–9 – Delmachikskoe deposit – dikes: 7 – diorite porphyrites, 8 – granite-porphyrtes, 9 – quartz porphyries; 10–12 – Kluchevskoe deposit – dikes: 10 – diorite porphyrites, 11 – hybrid porphyries, 12 – lamprophyres. The fields in the diagram: syn-COLG – collisional granites, WPG – intraplate granites, VAG – volcanic arc's granites, ORG – granites of ocean ridges.

К-Аг метода, составляет 206 и 239 млн лет, даек кварцевых порфиров – 180 и 187 млн лет (Лавин, Широких, 1981). Основное золотое оруденение локализовано в зонах эксплозивных брекчий, формирование которых тесно связано с породами дайкового комплекса. Протяженность зон брекчирования составляет несколько километров, мощность – от 50 до 600 м.

Основным рудным минералом Илинского месторождения является пирит (до 5% от объема по-

роды). Развита он главным образом в зонах березитизации. Арсенопирит, халькопирит, пирротин, молибденит, антимонит, золото имеют ограниченное распространение. Максимальное содержание золота (более 100 г/т) отмечается в интенсивно пиритизированных, березитизированных участках брекчий. Среднее содержание золота в рудоносных брекчиях составляет 3.04 г/т (Абрамов, 2011б).

Образование эксплозивных брекчий тесно связано с формированием пород дайкового комплекса. Намечается следующая последовательность: дайки сиенитов → эксплозивные брекчии → гранит-порфиры → кварцевые порфиры → диоритовые порфиры (Абрамов, 2011б). Вмещающими породами являются средне- и крупнозернистые биотитовые граниты кыринского комплекса. В гранитах главными породообразующими минералами являются кварц, плагиоклаз (олигоклаз), микроклин и биотит. Граниты секутся дайками кварцевых порфиров и диоритовых порфиров. Кварцевые порфиры представляют собой скрытокристаллическую породу кварц-полевошпатового состава с порфировыми выделениями темно-серого кварца размером от 2 до 10 мм. Сходный состав имеют и дайки гранит-порфиров, которые в отличие от кварцевых порфиров характеризуются мелко- и среднезернистой структурой основной массы. Диоритовые порфиры представляют собой плотные тонкозернистые породы, основная масса которых сложена плагиоклазом и псевдоморфозами хлорита по темноцветным минералам. В порфировых выделениях отмечаются зерна бурого пироксена и слегка округлые выделения кварца.

Для оценки глубин формирования рудоносных магматических очагов использованы Eu/Sm отношения в трактовке С.Ф. Винокурова (1996), в соответствии с которой магматические очаги, расположенные на границе верхней и нижней частей континентальной коры, характеризуются Eu/Sm , равным 0.2, выше этой границы $Eu/Sm < 0.2$, ниже – > 0.2 . Для выяснения степени дифференциации магм использованы Eu/Eu^* отношения из (Интерпретация..., 2001).

Анализ петрогеохимических особенностей интрузивных и эксплозивных образований Илинского месторождения показывает, что наименьшими глубинами функционирования и наибольшей степенью дифференциации магматических очагов характеризуются кварцевые порфиры ($Eu/Sm = 0.06–0.10$; $Eu/Eu^* = 0.21–0.28$) (табл. 1). Магматические очаги диоритовых порфиров были менее дифференцированы ($Eu/Eu^* = 0.65–0.70$) и зарождались на глубинах, соответствующих нижней континентальной коре ($Eu/Sm = 0.21–0.22$). По коэффициентам окисленности железа, отношениям Eu/Sm и Eu/Eu^* эксплозивные брекчии и дайки гранит-порфиров имеют близкие значения, что указывает на сходные условия их образования (Абрамов, Манзырев, 2011).

Таблица 1. Содержание петрогенных компонентов (%), редких, рудных и редкоземельных элементов (г/т) в интрузивных и эксплозивных образованиях Илинского золоторудного месторождения

Table 1. The content of petrogenic components (%), rare, ore-bearing and rare earth elements (ppm) in intrusive and explosive formations of Iilinskoe gold deposit

Компонент/ элемент	Номер пробы								
	479	479-1	480	480-1	477	478	458	457-3	420
SiO ₂	76.20	77.20	69.70	69.00	54.20	54.20	70.30	70.80	69.30
TiO ₂	0.41	0.39	0.39	0.41	1.55	1.46	0.29	0.33	0.38
Al ₂ O ₃	14.50	13.70	14.30	15.10	15.20	14.60	12.00	13.20	14.70
Fe ₂ O ₃	0.86	0.61	0.69	0.98	1.57	1.40	1.20	2.08	0.52
FeO	0.20	0.36	2.16	2.08	5.20	5.04	1.56	0.76	2.12
MnO	0.01	0.01	0.04	0.03	0.09	0.11	0.05	0.11	0.05
MgO	1.16	0.95	1.18	1.20	3.94	3.98	2.40	0.23	1.06
CaO	0.16	0.13	2.16	2.05	4.84	4.84	2.28	1.25	2.67
Na ₂ O ₃	0.22	0.19	3.85	3.87	3.15	3.31	0.45	2.12	4.22
K ₂ O	3.38	3.31	2.93	3.31	2.82	3.25	1.47	4.26	3.19
P ₂ O ₅	0.11	0.08	0.10	0.10	0.58	0.55	0.09	0.35	0.10
П.п.п.	2.52	2.32	1.62	1.75	6.76	6.76	5.37	3.78	1.29
∑	99.73	99.25	99.12	99.88	99.90	99.48	97.46	99.17	99.60
Zn	30	40	34	43	79	56	43	45	27
As	87	62	13	8	21	11	180	3300	170
Pb	13	–	–	14	11	–	26	28	11
Rb	130	140	73	77	69	79	53	120	150
Sr	26	13	260	260	530	390	110	160	110
Y	10	9	15	14	19	15	16	18	20
Zr	94	99	110	110	180	170	97	100	180
Nb	9	7	8	9	15	13	7	8	16
Sn	36	41	4.1	3.0	1.8	1.6	22	4	3
Sb	8	9	–	–	–	–	250	22	–
Ba	235	205	470	535	770	510	220	530	360
Au	<0.005	<0.005	<0.005	0.01	<0.005	<0.005	0.10	16.10	0.005
La	1.85	10.80	13.40	14.00	33.4	25.30	13.6	20.8	15.7
Ce	7.25	27.70	25.30	26.00	75.6	60	35.8	47.3	35.0
Pr	1.90	2.24	3.00	3.10	8.45	6.20	2.70	3.60	3.10
Nd	3.30	9.10	10.90	11.70	24	25	10.7	15.7	12.8
Sm	0.90	1.60	2.16	2.50	6.65	4.80	2.10	3.20	2.60
Eu	0.09	0.10	0.34	0.39	1.44	1.00	0.34	0.38	0.38
Gd	0.95	1.20	2.05	2.10	5.60	4.10	1.80	2.60	2.35
Tb	0.39	0.35	0.38	0.39	0.59	0.42	0.40	0.46	0.40
Dy	0.92	1.20	1.73	1.90	3.20	2.40	1.60	2.00	2.00
Ho	0.23	0.19	0.38	0.40	0.60	0.50	0.35	0.40	0.45
Er	0.72	0.91	1.00	1.10	1.66	1.20	1.00	1.30	1.30
Tm	0.12	0.15	0.20	0.20	0.32	0.15	0.16	0.17	0.20
Yb	0.72	0.95	0.95	1.10	1.25	0.90	0.96	1.20	1.20
Lu	0.12	0.15	0.16	0.18	0.21	0.16	0.16	0.17	0.18
Y	10.80	8.60	10.60	10.90	17.60	12.90	10.3	15.7	13.1
F	0.10	0.08	0.08	0.04	0.09	0.10	0.04	0.04	0.06
∑LREE	11.00	40.74	41.70	43.10	117.45	91.50	52.10	71.70	53.80
∑HREE	12.71	10.95	13.29	13.88	21.54	15.81	12.93	18.94	16.43
∑TR	30.28	65.24	72.55	75.96	180.57	145.03	81.97	114.96	90.76
(La/Yb) _n	1.78	7.88	9.78	8.83	18.54	19.52	9.82	12.02	9.07
Eu/Sm	0.10	0.06	0.16	0.16	0.22	0.21	0.16	0.12	0.15
Eu/Eu*	0.28	0.21	0.49	0.51	0.70	0.65	0.52	0.39	0.46

Примечание. 479, 479-1 – кварцевые порфиры; 480, 480-1 – гранит-порфиры; 477, 478 – диоритовые порфириты; 457-3, 458 – эксплозивные брекчии; 420 – граниты кыринского комплекса. ∑LREE – сумма легких РЗЭ (La–Pr), ∑HREE – сумма тяжелых РЗЭ (Ho–Lu, Y), ∑TR – сумма РЗЭ. Прочерк – значения ниже порога чувствительности анализа. F = Fe₂O₃/FeO.

Note. 479, 479-1 – quartz porphyries; 480, 480-1 – granite-porphyries; 477, 478 – diorite porphyrites; 457-3, 458 – explosive breccias; 420 – granites of Kirinsk complex. ∑LREE – the sum of light REE (La–Pr), ∑HREE – the sum of heavy REE (Ho–Lu), ∑TR – the sum of REE. “–” – values below the threshold of analyze sensitivity. F = Fe₂O₃/FeO.

Дельмачикское месторождение, расположенное в юго-восточной части Дарасунского рудного района, приурочено к шовной зоне Монголо-Охотской сутуры. Характерной особенностью Дельмачикского золоторудного месторождения является наличие крупной воронкообразной рудовмещающей структуры, сложенной взрывными брекчиями. Среднее содержание золота в рудах составляет 3.6 г/т (Абрамов, 2011б).

В районе Дельмачикского месторождения развиты архейские гранитоиды, докембрийские стратифицированные отложения чадорской свиты, юрские субвулканические интрузии и флюидно-эксплозивные образования. Архейские интрузии представлены биотитовыми гнейсовидными гранитами, дайками аплитов, докембрийские стратифицированные отложения – гнейсами, кристаллическими сланцами. Юрские интрузивные образования образуют дайки гранит-порфиров, кварцевых порфиров, диоритовых порфиритов амуджикано-шахтаминского комплекса (J_{2-3}).

Флюидно-эксплозивная структура Дельмачикского месторождения, сложенная брекчиями, имеет в плане эллипсообразную форму размером 1750×1000 м, вытянутую в субмеридианальном направлении. Контакты этого ФЭО с вмещающими архейскими гранитами – интрузивные и тектонические, вертикальные и наклонные под углом $50-80^\circ$ по направлению к центру кальдеры.

В взрывных брекчиях обломочный материал представлен угловатыми, реже сглаженными обломками гранитоидов, гнейсов, кварцевых порфиров и диоритовых порфиритов, составляющих до 80–85% объема породы. Величина обломков достигает нескольких сантиметров. Цемент состоит из тонкоперетертого кварцево-полевошпатового материала. Почти повсеместно цемент брекчий подвержен процессам турмалинизации. Брекчии периферической части палеокальдеры в полосе шириной 20–40 м отличаются укрупнением обломочного материала – от нескольких сантиметров до 1 м. Среди взрывных брекчий закартированы два ксенолита раннепротерозойских гранитов. В.А. Шимановский выделил пять стадий формирования брекчиевого тела Дельмачикского месторождения (Шимановский, Фалькин, 1991).

Образование рассматриваемой флюидно-эксплозивной структуры связано с формированием Дельмачикского дайкового пояса. Мощность даек колеблется от нескольких десятков сантиметров до 45 м. Дайки диоритовых порфиритов сконцентрированы в северо-восточной части месторождения, они сопровождают минерализованную зону тектонических брекчий “Антимонитовую”. В формировании пород дайкового комплекса наблюдается антидромная последовательность образования: гранит-порфиры → кварцевые порфиры → диоритовые порфириты.

Дайки гранит-порфиров и кварцевых порфиров развиты как внутри палеокальдеры, так и за ее пределами, во вмещающих гранитах. Вкрапленники в гранит-порфирах представлены плагиоклазом, биотитом и кварцем, в кварцевых порфирах – кварцем, плагиоклазом, биотитом и калиевым полевым шпатом. Основная масса в дайках имеет кварцево-полевошпатовый состав.

Дайки диоритовых порфиритов сконцентрированы в северо-западной части дайкового пояса. Порфировые вкрапленники представлены плагиоклазом. Основная масса состоит из андезина, роговой обманки и биотита.

Предшествующими исследователями выделено два типа оруденения. Первый тип распространен за пределами трубообразного брекчиевого тела и представлен золото-сульфидно-кварцевыми жилами мощностью до 30 см. Рудные тела локализованы в зонах расланцевания. Второй тип развит в пределах брекчиевого тела и локализуется в метасоматически измененных брекчиях с прожилково-вкрапленной минерализацией, реже – в зонах прожилкового окварцевания. Мощность рудных зон – до 70 м, содержание в них рудных минералов (пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит и др.) достигает 10–15%. Среднее содержание золота в рудных телах – 3.6 г/т. Руды Дельмачикского месторождения относятся к малосульфидным. Содержание рудных минералов обычно не превышает 5%. К числу наиболее распространенных рудных минералов относятся пирит, арсенопирит, пирротин, антимонит, к менее распространенным – сфалерит, галенит, марказит, молибденит, блеклая руда, висмутин, самородное золото.

Для выявления степени дифференциации магматических очагов кислых интрузий используют **Rb/Sr отношения**. По данным Ю.А. Костицына (2000), отношения $Rb/Sr < 0.3$ характерны для примитивных гранитов, $Rb/Sr > 0.3$ свойственны для всех редкометалльных и дифференцированных гранитов I- и S-типов. Среди интрузивных образований Дельмачикского месторождения по степени дифференциации магматических очагов (от больших к меньшим) выделяются: гранит-порфиры ($Rb/Sr - 4.52-6.36$) → кварцевые порфиры ($Rb/Sr - 0.34-1.54$) → взрывные брекчии ($Rb/Sr - 0.24-0.30$) → диоритовые порфириты ($Rb/Sr - 0.05$) (табл. 2).

По Eu/Eu^* отношениям большей степенью дифференциации характеризуются магматические очаги гранит-порфиров и кварцевых порфиров ($Eu/Eu^* = 0.42-0.52$), меньшей – диоритовых порфиритов и взрывных брекчий ($Eu/Eu^* = 0.61-0.74$) (см. табл. 2).

Среди интрузивных образований наименьшими глубинами формирования характеризовались магматические очаги гранит-порфиров и кварцевых порфиров ($Eu/Sm = 0.11-0.13$). Большие глубины

Таблица 2. Содержание микроэлементов в интрузивных и флюидно-эксплозивных образованиях золоторудного месторождения Дельмачик (г/т)

Table 2. The contents of microelements in the intrusive and fluid-explosive formations of gold deposit Delmachik (ppm)

Элемент	Номер пробы												
	22-1	23-1	23-3	26	29-1	30-1	31	595	595-1	598	599	599-1	599-3
Zn	30	20	—	29	28	34	136	83	82	41	38	30	—
As	430	—	240	26	87	980	116	250	47	30	24	51	71
Pb	—	20	—	—	—	5	14	—	—	31	13	—	—
Rb	37	—	140	67	170	41	14	61	337	140	160	128	173
Sr	150	—	270	220	110	160	270	350	53	31	383	378	320
Zr	110	150	120	115	95	106	197	140	16	29	124	122	120
Nb	4	10	4	3	10	5	12.7	14	47	4.3	11.8	11	10.7
Mo	2	1	2	1	3	1	—	—	—	—	—	—	—
Sn	10	20	2	5	2	6	—	—	—	1.3	2.5	2.3	5.6
Sb	42	—	2	6	8	16	5.4	2.5	1.9	2.5	—	5.6	5.3
Ba	260	500	640	580	660	260	730	200	87	27	730	620	770
Au	—	0.2	0.33	2.0	—	0.36	—	0.08	0.06	0.02	0.01	0.06	<0.01
La	15.0	18.7	26.0	38.0	29.0	23.3	37.9	14.7	<2	8.8	25.8	18.3	18.9
Ce	27.4	38.1	52.3	78.8	71.1	46.0	79.2	35.5	<4	13.0	48.4	34.3	30.5
Pr	3.2	3.3	4.8	7.0	7.5	4.2	9.3	4.9	<2	<2	6.0	4.8	3.5
Nd	11.4	14.0	21.3	29.5	31.8	18.5	36.0	18.7	2.7	7.7	19.7	12.6	12.8
Sm	2.2	2.5	4.0	5.6	5.3	3.3	7.4	5.0	<1.5	2.0	4.7	3.1	3.0
Eu	0.41	1.39	0.68	0.92	0.59	0.68	1.61	0.95	<0.1	0.23	0.63	0.43	0.33
Gd	1.5	1.6	2.8	3.8	3.5	2.4	5.9	4.0	<1	1.23	3.3	1.84	1.63
Tb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.97	0.71	<0.5	<0.5	0.56	<0.5	<0.5
Dy	<1.5	<1.5	2.1	2.6	2.2	1.8	4.7	2.93	<1	1.15	2.5	1.8	0.34
Ho	<0.5	<0.5	<0.5	0.57	<0.5	<0.5	0.96	0.64	<0.5	<0.5	0.53	<0.5	<0.5
Er	1.1	1.0	1.3	1.7	1.2	1.2	2.6	1.73	<1	<1	1.52	1.16	<1
Yb	1.0	0.71	1.1	1.6	1.0	1.1	2.3	1.5	0.21	0.74	1.4	1.04	0.83
Lu	0.14	<0.15	0.14	0.25	0.15	0.17	0.36	0.23	<0.15	<0.15	0.21	0.18	0.14
Y	8.7	6.5	14.0	17.2	12.1	11.0	23.9	18.0	4.1	6.6	14.8	9.6	7.5
Rb/Sr	0.24	0.52	0.52	0.30	1.54	0.26	0.05	0.17	6.36	4.52	0.42	0.34	0.54
(La/Yb) _n	10.41	18.26	16.40	16.48	14.70	14.70	11.43	6.80	—	8.26	12.80	12.20	15.81
Eu/Eu*	0.69	2.12	0.62	0.61	0.42	0.74	0.74	0.65	—	0.45	0.49	0.55	0.46
Eu/Sm	0.19	0.55	0.17	0.16	0.11	0.21	0.22	0.19	—	0.11	0.13	0.14	0.11
∑TR	72.05	87.8	130.52	187.54	175.94	113.65	213.10	109.49	7.01	41.45	130.05	89.15	60.57

Примечание. 23-1, 595 – PR граниты; 22-1, 23-3, 26, 30-1 – эксплозивные брекчии, дайки; 31 – диоритовый порфирит; 595-1, 598 – гранит-порфиры; 29-1, 599, 599-1, 599-3 – кварцевый порфир; прочерк – нет данных.

Note. 23-1, 595 – PR granites; 22-1, 23-3, 26, 30-1 – explosive breccias, dikes; 31 – diorite porphyrites; 595-1, 598 – granite-porphyrines; 29-1, 599, 599-1, 599-3 – quartz porphyries; “—” – no information.

характерны для эксплозивных брекчий и диоритовых порфиритов ($Eu/Sm = 0.16-0.22$) (см. табл. 2).

Эксплозивные брекчии разных стадий имели разноглубинные магматические очаги ($Eu/Sm = 0.16-0.21$). При этом золотоносные брекчии, по сравнению с безрудными, характеризуются повышенными концентрациями суммы редкоземельных элементов ($\sum TR = 113.65-187.54$) и пониженными содержаниями тяжелых редкоземельных элементов ($La/Yb = 14.70-16.48$) (см. табл. 2).

Таким образом, по степени дифференциации магматических очагов и глубинам их образования эксплозивные брекчии близки к диоритовым порфиритам.

Андрюшкинское месторождение находится в юго-восточной части Балейского рудного узла в бас-

сейне р. Верхний Голготай. На площади месторождения развиты гранитоиды архея, интрузии ундинского (C_3) и амуджикано-шахтаминского (J_{2-3}) комплексов. В северной части развиты юрские вулканогенные отложения шадаронской серии (J_{2-3}). Структурная позиция месторождения определяется развитием зоны глубинного нарушения северо-восточного и северо-западного простираний, трассируемой полосой интрузий и дайками разного состава, а также сульфидно-кварц-турмалиновыми жилами. Дайковый комплекс представлен гранит-порфирами, диоритовыми порфиритами, лампрофирами. Образование дайкового комплекса связано с формированием амуджикано-шахтаминского комплекса.

В пределах Андрюшкинского рудного поля по характеру минерализации выделяется две полосы се-

веро-восточного простирания – Северная и Южная. В пределах Северной полосы развиты жилы сульфидно-кварц-турмалинового состава, сопровождающиеся зонами вкрапленной минерализации. Мощность жил составляет 0.5–2.0 м, протяженность – до 100 м. Южная зона представлена редкими короткими (30–50 м) маломощными (20–30 см) жилами сульфидно-кварц-турмалинового состава. В центральной части Южной зоны выявлена группа жил, сложенных крупнозернистым кварцем с золото-висмут-кварцевой продуктивной ассоциацией.

Основное золотое промышленное оруденение развито в восточной части Южной зоны, где под покровом вулканогенно-осадочных отложений шадаронской серии скважинами вскрыты золотоносные кварц-актинолитовые жилы с интенсивно проявленной золото-висмут-козалит-кварцевой минерализацией. Мощность жил 0.6 м, мощность зон вкрапленной минерализации – до 2 м. Выделенная продуктивная площадь характеризуется широким развитием скарновых зон. Содержание золота в рудоносных жилах достигает 119 г/т, при рядовых содержаниях несколько граммов на тонну. Среднее содержание золота в рудных телах составляет 7.9 г/т. Для рудоносных жил характерна тесная ассоциация золота с висмутином, козалитом и тетрадимитом.

В пределах Андриюшкинского рудного поля эксплозивные брекчии развиты в центральной, северной и северо-восточной частях. На поверхности эксплозивные брекчии прослежены в длину на 200 м при ширине до 60 м. Они подсечены скважинами на глубинах 13–38, 210–210.5 м. Вмещающие их породы представлены гранитами, диоритами, амфиболитами, имеющими архейский и палеозойский возраст. Рассматриваемые образования представлены крупно-, мелко- и тонкообломочными породами. Размер обломков колеблется от 1–2 мм до 10 см. В составе обломочного материала преобладают граниты, реже отмечаются амфиболиты, диориты. Цемент брекчий имеет кварц-полевошпатовый и кварц-турмалиновый состав.

На участках выходов эксплозивных брекчий отмечаются сульфидизированные участки с вкрапленностью и прожилками пирита, арсенопирита, реже – халькопирита.

Анализ особенностей распределения редкоземельных элементов и их соотношений показывает, что среди интрузивных образований наибольшей степенью дифференциации и незначительными глубинами функционирования (верхняя континентальная кора) характеризуются магматические очаги гранитных штоков и даек гранит-порфириров амуджикано-шахтаминского комплекса ($Eu/Sm = 0.10–0.11$; $Eu/Eu^* = 0.10–0.12$). Наименьшей степенью дифференциации и наибольшими глубинами функционирования (нижняя континентальная кора) характеризуются магматические очаги андезито-базальтов. Значения Eu/Sm и Eu/Eu^*

магматических очагов даек диоритовых порфириров занимают промежуточное положение между гранитами и андезито-базальтами ($Eu/Sm = 0.14$; $Eu/Eu^* = 0.17$) (табл. 3). Образование скарнов, по видимому, происходило на значительных глубинах ($Eu/Sm = 0.45–0.53$) в результате воздействия магматического очага на карбонатные отложения.

Ключевское месторождение расположено в южной части Алдано-Становой области (Бородаевская, 1956; Петровская, Андреева, 1958). 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, трассирующих Могоча-Бушулейскую ветвь Монголо-Охотской сuture (см. рис. 1) (Кривоуцкая, Гонгальский, 1995).

Интрузивные образования амуджиканского комплекса представлены штоками гранит-порфириров, дайковым комплексом пород. Характерной особенностью гранитов является порфиридная структура, определенная наличием крупных выделений калиевого полевого шпата (до 15 см), реже – плагиоклаза, биотита, амфибола и кварца. Абсолютный возраст гранитов, определенный Rb-Sr методом, составляет 146 млн лет (Комаров, Томсон, 1995).

В районе месторождения в составе амуджиканского комплекса выделяются следующие разновидности даек (от ранних к поздним): диоритовые порфириды → гибридные порфиры → лампрофиры → ортоклазиты (табл. 4). Золотое оруденение имеет тесную парагенетическую связь с поздними дайками.

Диоритовые порфириды образуют дайки мощностью до нескольких метров, протяженностью – до нескольких сотен метров. Их основная масса сложена плагиоклазом, в подчиненном количестве развиты кварц и калиевый полевой шпат. Вкрапленники состоят из роговой обманки и биотита.

Гибридные порфиры представлены дайками мощностью до 10 м и протяженностью до 500 м. Основная масса их сложена плагиоклазом и роговой обманкой. Вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом, часто имеющим кварцевые и роговообманковые реакционные каемки.

Лампрофиры образуют дайки мощностью до нескольких метров. В минеральном составе даек отмечаются полевой шпат, роговая обманка, пироксен, биотит, кварц. По соотношениям этих минералов выделяются такие разновидности лампрофириров, как спессартит и керсантит.

Ортоклазиты, в минеральном составе которых наблюдаются ортоклаз, альбит и кварц, образуют маломощные дайки протяженностью до нескольких десятков метров. Дайки гибридных порфириров, лампрофириров и ортоклазитов по времени формирования близки к процессам рудообразования. От-

Таблица 3. Содержание петрогенных компонентов (%), редких и редкоземельных элементов (г/т) в породах Андрушкинского месторождения

Table 3. The contents of petrogenic components (%), rare and rare earth elements (ppm) in the rocks of Andrushkinskoe deposit

Компонент/ элемент	Номер пробы										
	443	443-2	489	489-1	491	491-1	498	503	503-2	504	504-1
SiO ₂	65.00	25.20	69.00	69.00	56.30	62.80	63.20	–	–	69.30	70.20
TiO ₂	0.58	0.27	0.62	0.61	0.63	0.77	0.52	–	–	0.53	0.52
Al ₂ O ₃	15.80	7.50	14.40	14.00	13.70	13.60	14.80	–	–	13.90	14.10
Fe ₂ O ₃	0.58	18.74	0.64	0.78	0.48	0.94	0.62	–	–	0.67	1.10
FeO	3.36	3.12	2.16	1.84	5.11	4.56	3.92	–	–	2.08	2.00
MnO	0.06	0.38	0.03	0.04	0.15	0.12	0.08	–	–	0.01	0.01
MgO	2.49	0.60	1.66	1.49	8.86	4.53	3.58	–	–	1.48	1.56
CaO	2.65	5.27	2.09	1.83	10.00	5.63	3.98	–	–	1.62	1.87
Na ₂ O	4.47	0.11	3.39	3.88	3.10	3.14	3.56	–	–	3.67	3.60
K ₂ O	3.44	1.71	4.55	4.58	0.44	2.66	3.44	–	–	4.70	2.63
P ₂ O ₅	0.13	4.38	0.17	0.17	0.24	0.29	0.22	–	–	0.18	0.14
П.п.п.	1.21	16.52	1.08	1.06	1.51	1.25	1.33	–	–	1.19	1.38
Σ	99.77	83.80	99.79	99.28	99.52	100.29	99.25	–	–	99.33	99.10
Zn	37	600	40	33	77	53	23	200	220	66	68
As	12	52 000	110	100	23	41	12	7000	6600	490	50
Pb	8	12 000	65	61	26	14	24	30	60	44	47
Rb	98	–	190	200	8	50	140	–	–	170	160
Sr	370	–	410	360	920	600	117	21	24	350	360
Zr	180	70	280	280	155	156	110	8	8	260	290
Nb	8	2	18	18	6	5.4	15	8	17	18	20
Sn	–	49	4	8	4	3	2	50	140	10	7
Sb	–	190	–	5	4.8	4.6	4	13	18	6	3
Ba	500	400	660	580	233	845	680	22	4	650	640
La	21.7	40.0	41.8	40.3	21.4	31.3	23.5	<3	3.8	51.2	39.6
Ce	52.4	82.0	103.0	95.6	4.6	69.0	50.0	9.8	9.5	109.0	90.5
Pr	5.0	8.4	10.0	8.8	5.6	8.6	4.3	<3	<3	9.7	7.95
Nd	18.4	28.2	37.0	31.5	24.3	34.6	16.1	7.6	8.6	32.0	26.8
Sm	3.7	4.0	6.4	5.4	5.2	7.0	2.9	1.6	1.9	5.1	4.5
Eu	0.59	0.82	0.81	0.64	1.3	1.57	0.49	0.72	1.0	0.58	0.51
Gd	3.1	2.6	4.3	3.4	3.5	4.4	2.2	<2	<2	3.7	2.6
Tb	0.49	0.40	0.52	0.47	<0.5	0.65	<0.4	<1	<1	0.43	0.42
Dy	2.6	1.9	2.7	2.3	2.4	3.2	1.6	<2	<2	2.2	1.8
Ho	0.55	0.50	0.53	0.48	<0.5	0.64	0.35	<0.5	<0.5	0.42	0.35
Er	1.54	1.42	1.5	1.26	1.15	1.5	0.93	<1	<1	1.2	0.99
Tm	0.23	0.25	0.18	0.17	<0.3	<0.3	0.13	<0.3	<0.3	0.18	0.12
Yb	1.3	1.5	1.3	1.0	1.0	1.4	0.7	0.28	0.24	1.1	0.84
Lu	0.24	0.25	0.18	0.15	0.15	0.19	0.13	<0.15	<0.15	0.17	0.14
Y	15.2	12.5	16.3	13.3	12.4	16.1	10.5	4.9	3.8	13.4	10.7
Rb/Sr	0.26	–	0.46	0.55	0.01	0.08	1.20	–	–	0.48	0.44
F	0.17	6.00	0.30	0.42	0.10	0.21	0.16	–	–	0.32	0.55
ΣLREE	79.1	130.4	154.8	144.7	31.6	108.9	77.8	9.8	13.3	169.9	138.05
ΣHREE	3.86	3.92	3.69	3.06	2.3	3.73	2.24	0.28	0.24	3.07	2.44
ΣTR	111.84	172.24	210.22	191.47	70.6	164.05	103.33	20.0	25.04	216.98	177.12
(La/Yb) _n	11.57	18.51	29.01	27.97	14.85	15.52	23.28	11.00	11.00	32.30	4.93
Eu/Sm	0.16	0.20	0.13	0.12	0.25	0.22	0.17	0.45	0.53	0.11	0.11
Eu/Eu*	0.13	0.18	0.11	0.11	0.22	0.20	0.14	–	–	0.10	0.12

Примечание. 443, 443-2 – взрывчатые брекчии; 489, 489-1 – граниты амуджикано-шахтаминского комплекса; 491, 491-1 – андезит-базальты; 498 – диоритовый порфирит; 503, 503-2 – скарны; 504, 504-1 – дайки гранит-порфиров.

Note. 443, 443-2 – explosive breccias; 489, 489-1 – granites of Amudzhikan-Shakhtamin complex; 491, 491-1 basaltic andesites; 498 – diorite porphyrites; 503, 503-2 – skarns; 504, 504-1 – dikes of granite-porphyrines.

мечаются пересечения дайками гибридных порфиров и лампрофиров кварц-турмалиновых жил, кото-

рые, в свою очередь, секутся сульфидными и кварц-карбонатными прожилками.

Таблица 4. Содержание петрогенных компонентов в интрузивных и эксплозивных образованиях Ключевского золоторудного месторождения (мас. %)**Table 4.** The contents of petrogenic components in the intrusive and explosive formations of Kluchevskoe gold deposit (wt %)

Компонент	Номер пробы											
	534	538-1	545	547-3	548	548-3	549	549-1	563-1	886	564	719-1
SiO ₂	59.70	56.40	62.60	59.80	67.80	67.30	62.10	62.20	59.30	54.5	57.00	56.00
TiO ₂	0.60	0.50	0.25	0.54	0.35	0.33	0.49	0.53	0.63	0.06	0.57	0.60
Al ₂ O ₃	14.40	12.80	11.70	14.10	15.00	14.70	14.40	14.90	14.50	4.30	13.70	14.20
Fe ₂ O ₃	1.87	1.05	4.56	1.16	1.28	1.23	1.21	3.07	1.03	16.54	0.85	2.02
FeO	5.80	3.48	1.84	3.76	1.68	1.56	3.64	2.48	3.88	1.33	4.48	4.76
MnO	0.11	0.09	0.08	0.07	0.03	0.04	0.10	0.03	0.09	0.04	0.10	0.12
MgO	2.54	3.26	3.24	5.06	1.40	1.06	4.84	5.06	4.75	1.49	6.48	7.84
CaO	0.42	4.82	3.37	3.61	2.68	2.49	4.24	4.24	3.07	4.37	5.76	5.07
Na ₂ O	0.24	0.25	3.07	3.79	4.53	4.19	3.07	3.19	2.07	0.13	3.20	3.93
K ₂ O	7.06	4.00	0.18	4.00	3.57	4.10	3.38	2.69	4.39	0.01	3.00	2.7
P ₂ O ₅	0.16	0.14	0.23	0.16	0.13	0.13	0.14	0.12	0.16	0.31	0.16	0.20
П.п.п.	6.79	13.38	6.60	3.84	1.25	2.35	1.74	1.75	6.23	13.33	4.42	2.83
∑	99.69	100.17	97.72	99.89	99.70	99.48	99.35	100.26	100.10	96.41	99.72	100.27
al'	1.41	1.63	1.33	1.41	3.47	3.82	1.49	1.40	1.50	0.22	1.16	0.97
F	0.32	0.30	0.30	0.31	0.76	0.79	0.33	1.23	0.26	12.44	0.19	0.42

Примечание. 534, 538-1 – гибридные порфиры; 545, 547-3 – эксплозивные брекчии (с кварц-турмалиновым цементом); 886 – эксплозивные брекчии (с карбонатным цементом); 548, 548-3 – граниты амуджиканского комплекса; 549, 549-1 – диоритовые порфиры; 563-1, 564, 719-1 – лампрофиры; al' = Al₂O₃/(FeO + Fe₂O₃ + MgO); F = Fe₂O₃/FeO.

Note. 534, 538-1 – hybrid porphyries; 545, 547-3 – explosive breccias (with quartz-tourmaline cement); 886 – explosive breccias (with carbonaceous cement); 548, 548-3 – granites of Amudzhikan complex; 549, 549-1 – diorite porphyrites; 563, 564, 719-1 – lamprophyres; al' = Al₂O₃/(FeO + Fe₂O₃ + MgO); F = Fe₂O₃/FeO.

Рудовмещающие породы образуют жилы, жильные и штокверковые зоны. Основные концентрации золота локализованы в центральном штокверке (1000 × 300 м). Основной рудный минерал – пирит. Второстепенные рудные минералы – халькопирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, антимонит, молибденит, золото. Рудная минерализация подразделяется на несколько стадий (от ранних к поздним): 1) молибденит-кварцевая; 2) сульфидно-кварц-турмалиновая (наиболее распространенная); 3) кварц-пиритовая; 4) кварц-полиметаллическая; 5) карбонатно-кварцевая (Криволицкая, 1997). Установлено, что температуры образования минералов молибденит-кварцевой стадии составляли 390–450°C, кварц-турмалиновой – 290–365°C, кварц-пиритовой – 250°C, карбонатно-кварцевой – 130–140°C (Криволицкая, Гонгальский, 1995). Среднее содержание сульфидов в рудах 10–15%. Наиболее продуктивными на золото являются кварц-пиритовая и кварц-полиметаллическая ассоциации. Среднее содержание золота в рудах 2–3 г/т. Абсолютный возраст околорудных березитов (К-Аг метод по серициту) составляет 150 ± 5 млн лет (Комаров, Томсон, 1995).

Метасоматические изменения вмещающих пород, связанные с рудообразованием выразились в процессах турмалинизации, окварцевания, серицитизации и сульфидизации. Мощность таких зон достигает десятков метров.

Характерной особенностью Ключевского месторождения является наличие конусо-, трубо- и жилообразных тел эксплозивных брекчий, пространственно приуроченных к периферийным частям штоков гранит-порфиров амуджиканского комплекса. Эксплозивные брекчии различаются по времени формирования, морфологии, масштабам выделений, составу цемента и размерам обломков. Размер брекчиевых тел в диаметре достигает 30–70 м. Размер обломочного материала колеблется от н мм до 10п см. В крупных брекчиевых телах отмечается увеличение размеров обломочного материала от центральной части к периферии. Наличие обломков более “древних” брекчий в “поздних” указывает на существование разновозрастных брекчий. В ранних эксплозивных брекчиях преобладает кварц-турмалиновый цемент, в поздних – хлорит-турмалин-актинолитовый, карбонат-хлорит-пиритовый и карбонатный цемент. Поздние брекчии характеризуются повышенными концентрациями редкоземельных элементов (табл. 5). Они представляют собой тонкие дробленные частицы кварц-турмалинового состава, сцементированные карбонатным материалом. Образование части эксплозивных брекчий происходило в разные периоды рудообразования. Различают дорудные, синрудные и пострудные брекчии. В рудоносных брекчиях отмечаются сульфидизированные участки с содержаниями золота до нескольких граммов на тонну.

Таблица 5. Содержание редких, рудных и редкоземельных элементов в породах и рудах Ключевского золоторудного месторождения (г/т)

Table 5. The contents of rare, ore-bearing and rare earth elements in the rocks and ores of Kluchevskoe gold deposit (ppm)

Элемент	Номер пробы														
	533-2	534	538-1	545	547-3	548	548-3	549	549-1	563-1	564	719-1	538	720-2	886
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	—
Y	6	10	10	5	9	8	5	10	8	12	12	13	9	4	—
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	0.66	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	0.66	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
∑LREE	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
∑HREE	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
∑TR	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	0.68	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. 533-2 – кварц-турмалин-сульфидные руды; 534, 538-1 – гибридные порфиры; взрывчатые брекчии: 545, 547-3 – с кварц-турмалиновым цементом, 538, 720-2, 886 – с карбонатным цементом; 548, 548-3 – граниты амуджиканского комплекса; 549, 549-1 – диоритовые порфиры; 563-1, 564, 719-1 – лампрофиры. Содержание золота определено сцинтилляционным и атомно-абсорбционным методами в Лабораторно-исследовательском центре по изучению минерального сырья (ОАО ЛИЦИМС, г. Чита). Прочерк – нет данных.

Note. 533-2 – quartz-tourmaline-sulfide ores; 534, 538-1 – hybrid porphyries; explosive breccias: 545, 547-3 – with quartz-tourmaline cement; 538, 720-2, 886 – with carbonaceous cement; 548, 548-3 – granites of Amudzhikan complex; 549, 549-1 – diorite porphyrites; 563, 564, 719-1 – lamprophyres. The gold content is determined by scintillation and atomic absorption methods in Research laboratory center for the study of mineral raw materials (JSC LTSIMS, Chita). “—” – no information.

Петрохимические особенности поздних даек амуджиканского комплекса и ранних взрывчатых брекчий имеют близкие значения, что указывает на сходные условия их формирования. Так, по коэффициенту глиноземистости ($al^3 = 1.33-1.50$) и коэффициентам окисленности железа дайки гибридных порфиров, лампрофилов, диоритовых порфиритов и ранних взрывчатых брекчий имеют незначительные различия ($F = 0.30-0.32$) (см. табл. 4) (Ефремова, Стафеев, 1985). В гранит-

ных штоках амуджиканского комплекса эти параметры имеют большие значения ($al^3 = 3.47-3.82$; $F = 0.76-0.79$), что свидетельствует об образовании их в окислительной обстановке. Поздние взрывчатые брекчии характеризуются очень высокой степенью окисленности железа ($F = 12.44$), что объясняется образованием их в окислительной обстановке (см. табл. 4).

Расчеты Eu/Sm - и Eu/Eu^* -отношений показывают, что магматические очаги интрузивных об-

разований амуджиканского комплекса и брекчий с кварц-турмалиновым цементом соответствуют формированию их в пределах нижней континентальной коры ($Eu/Sm = 0.19-0.21$) (табл. 5) (Винокуров, 1996). Они имеют близкие значения степени дифференциации магматических очагов ($Eu/Eu^* = 0.64-0.81$). Магматические очаги эксплозивных брекчий 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) (Винокуров, 1996). Поздние эксплозивные брекчии с карбонатным цементом характеризуются повышенными концентрациями редкоземельных элементов. Магматические очаги сульфидно-кварц-турмалиновых руд по степени дифференциации ($Eu/Eu^* = 0.69$) и по глубинам функционирования магматических очагов ($Eu/Sm = 0.22$) близки магматическим очагам даек гибридных порфириров, лампрофириров, диоритовых порфириров и ранних эксплозивных брекчий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, формирование эксплозивных брекчий мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья тесно связано с юрским интрузивным магматизмом, преимущественно с амуджикано-шахтаминским интрузивным комплексом (J_{2-3}). Отмечается тесная парагенетическая связь золотого оруденения с поздними дайками данного комплекса. Образование эксплозивных брекчий, как правило, предшествует продуктивным стадиям оруденения. При этом существуют дорудные, синрудные и пострудные эксплозивные брекчии. Эти брекчии различаются по составу цемента, концентрациям рудных, редких и редкоземельных элементов. Магматические очаги этих брекчий различаются по степени дифференциации, глубинам образования. Магматические очаги ранних эксплозивных брекчий по отношениям Eu/Eu^* и Eu/Sm близки магматическим очагам диоритовых порфириров, гибридных порфириров и лампрофириров. Магматические очаги поздних эксплозивных брекчий, по сравнению с ранними, были сильнее дифференцированы и функционировали на меньших глубинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов Б.Н. (2011а) Условия формирования и рудоносность флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья. *Докл. АН.* **44**(1), 67-71.
- Абрамов Б.Н. (2011б) Особенности распределения золота в эксплозивных брекчиях Илинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Изв. вузов. Геология и разведка.* (1), 52-55.
- Абрамов Б.Н. (2012) О рудоносности флюидно-эксплозивных структур Дарасунского рудного района. *Вестн. Иркутского гос. тех. ун-та.* **63**(4), 43-46.
- Абрамов Б.Н., Манзырев Д.В. (2011) Петрохимические, геохимические особенности интрузивных и эксплозивных пород Илинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Руды и металлы.* (6), 52-57.
- Бородаевская М.Б. (1956) Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послеверхнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* (6), 70-91.
- Винокуров С.Ф. (1996) Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение. *Докл. АН.* **346**, 792-795.
- Гордиенко И.В., Кузьмин М.И. (1999) Геодинамика и металлогения Монголо-Охотского региона. *Геология и геофизика.* **40**(11), 1545-1562.
- Ефремова С.В., Стафеев К.Г. (1985) Петрохимические методы исследования горных пород. М.: Недра, 511 с.
- Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Рутштейн И.Г. и др. (1998) Геодинамика западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье. *Геология и геофизика.* **39**(11), 104-112.
- Интерпретация геохимических данных (Под ред. Е.В. Складнова). (2001) М.: ИнтерметИнжиниринг, 288 с.
- Комаров П.В., Томсон И.Н. (1995) Возрастная последовательность оруденения и плутоногенные циклы на примере Восточного Забайкалья. *Отчет. геология.* (10), 26-56.
- Костицын Ю.А. (2000) Накопление редких элементов в гранитах. *Природа.* (2), 26-34.
- Кривоуцкая Н.А., Гонгальский Б.И. (1995) Ключевское месторождение. *Месторождения Забайкалья. Т. 1, кн. 2.* М.: Геоинформмарк, 33-40.
- Кривоуцкая Н.А. (1997) Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология рудных месторождений.* (4), 344-361.
- Лапин Б.Н., Широких И.Н. (1981) Геология, метасоматизм и золотое оруденение Восточного Забайкалья (Алханайский район). Новосибирск: Наука, 164 с.
- Максимов С.С. (1968) О брекчиевых телах Балейского рудного района. *Геология и разведка месторождений полезных ископаемых Забайкалья: мат-лы конф.* Чита, 34-35.
- Петровская Н.В., Андреева М.Г. (1958) Минералогические особенности Ключевского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Труды ЦНИГРИ,* **25**, кн. 1, 32-66.
- Спиридонов А.М., Зорина Н.А., Китаев Н.А. (2006) Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 291 с.
- Таусон Л.М. (1977) Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитов. М.: Наука, 280 с.
- Тимофеевский Д.А. (1972) Геология и минерагения Дарасунского золоторудного региона. М.: Мир, 260 с.
- Туговик Г.И. (1984) Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 193 с.
- Шимановский В.А., Фалькин Е.М. (1991) Зоны континентального спрединга и их интегральная петрохимическая зональность на примере Дельмачикского

вулкано-дайкового пояса. *Геодинамика, структура и металлогения складчатых поясов юга Сибири: материалы конф.* Новосибирск, 77-79.

Шубин Г.В. (1961) Структура Илинского золоторудного месторождения. *Изв. вузов. Геология и разведка.* (11), 68-72.

Рецензент С.В. Прибавкин

Forming conditions and petrogeochemical particularities of fluid-explosive productions from gold deposits of Eastern Transbaikalia

B. N. Abramov

Institute of Natural Resources, Ecology and Criology, Siberian Branch of RAS

In Eastern Transbaikalia, as a result of collision processes during Middle–Late Jurassic, formations of amudzhikano-shakhtaminsky complex (J_{2-3}) has been acquired wide development. The origin of gold mineralization and explosive breccias associated with the final stages of their forming. As a rule, a few stages of the formation of explosive breccias are separated. Marked pre-ore, sin-ore and post-ore breccias differ by the composition of cement and concentrations of ore, rare and rare-earth elements. Magma chambers of early explosive breccias characterized by greater depth and smaller values of their differentiation degree.

Key words: *Eastern Transbaikalia, gold deposits, explosive breccias.*