

ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.4(571.55)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФОРМИРОВАНИИ ВЕРХНЕ-АЛИИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО И НОЙОН-ТОЛОГОЙСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Б.Н. Абрамов

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

Установлено, что образование Верхне-Алиинского месторождения связано с шахтаминским комплексом (J_{2-3}), Нойон-Тологойского – с акатуевским (J_3). Магматическим источником данных месторождений была адакитовая магма. Интрузии этих комплексов соответствуют образованиям вулканических дуг, эффузивные образования – известково-щелочным сериям. В магматических образованиях месторождений выявлено присутствие тетрад-эффектов в спектрах лантаноидов, указывающее на обогащение магматических расплавов летучими компонентами.

Ключевые слова: шахтаминский и акатуевский комплексы, адакитовая магма, Восточное Забайкалье.

Введение

В работе приводятся новые данные о формировании Верхне-Алиинского золоторудного и Нойон-Тологойского полиметаллического месторождений Восточного Забайкалья.

Установлено, что в Восточном Забайкалье с рудно-магматическими системами (РМС) шахтаминского интрузивного комплекса (J_{2-3}) связано формирование золоторудных и молибденовых месторождений, с РМС акатуевского комплекса (J_{2-3}) – формирование полиметаллических месторождений [Санин, Зорина, 1980; Спиридонов, Зорина, Китаев, 2006; Абрамов, 2013; Абрамов, Посохов, 2015]. Выявлено, что источниками рудоносных магматических расплавов была адакитовая магма, образованная в результате мантийно-корового взаимодействия, характеризующаяся повышенными концентрациями летучих компонентов.

Методика исследований

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

Краткая геологическая характеристика Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений

Верхне-Алиинское золоторудное месторождение расположено в 30 км восточнее г. Балей, в пределах Мунгинского рудного узла Балейского рудного района. Разведанные запасы месторождения оцениваются в 21 т золота, с содержанием в руде 13 г/т. Образование золотого оруденения связывается с формированием шахтаминского комплекса, образующего совместно с эффузивами шадаронской (J_{2-3}) серии кольцевую вулканоплутоническую структуру (рис. 1). В центре этой структуры развиты гранитоиды шахтаминского комплекса, в периферийных частях – эффузивы шадаронской серии [Абрамов, 2016].

Основными вмещающими породами на площади месторождения являются монцониты и гранодиорит-порфиры. Монцониты имеют следующий минеральный состав: плагиоклаз – 10–60 %, калишпат – 5–35 %, пироксен – 10–90 %, роговая обманка – 0–20 %, биотит – 0–20 %, оливин – 0–20 %, кварц – 0–15 %. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, сфеном и монацитом. Структура пород – гипидиоморфнозернистая, текстура – массивная. Гранодиорит-порфиры в порфировых выделениях представлены, главным образом, плагиоклазом. В меньших количествах присутствуют биотит, роговая обманка, кварц, пироксен, калишпат. Минеральный состав их не постоянен: плагиоклаз – 30–50 %, роговая обманка, калишпат и биотит – 0–15 %, кварц – 0–20 %. Акцессорные минералы – апатит, сфен, циркон.

Вулканогенно-осадочные образования шадаронской серии развиты в северо-восточной части месторождения. В разрезе серии наиболее широко пред-

ставлены андезиты, андезито-базальты, трахиандезиты и их туфы, туфоконгломераты, туфопесчаники и туфоалевролиты.

В пределах вулканоплутонической структуры отмечается рудная зональность – высокотемпературные минеральные ассоциации (кварц, турмалин, арсенопирит), развитые в центральной части ВПС, сменяются на низкотемпературные (кварц, кальцит, антимонит) минеральные ассоциации в периферий-

ной части. Рудные тела представлены кварцевожильными и штокверковыми зонами. Протяженность рудных тел составляет 50–550 м. На месторождении выделяются следующие стадии минерализации: 1) дорудная кварц-турмалиновая; 2) раннесульфидная кварц-пирит-арсенопиритовая; 3) позднесульфидная халькопирит-пирротиновая; 4) позднесульфидная полиметаллическая (продуктивная); 5) кварцево-карбонатная.

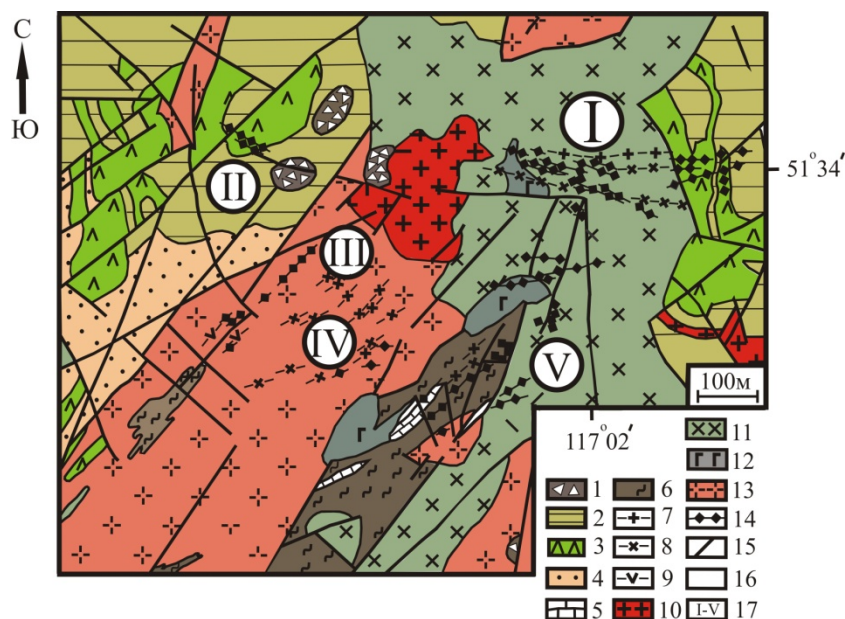


Рис. 1. Схема геологического строения Мунгинского рудного узла

1 – флюидно-эксплозивные брекчии (J_3); 2 – вулканогенные отложения шадаронской серии (J_{2-3}): андезиты, андезито-базальты, андезито-дациты, трахидациты, брекчии, лавы, туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты, гравелиты, дресвяники; 3 – эффузивы шадаронской серии (J_{2-3}): андезито-базальты, андезиты, дациты; осадочные отложения верхнегазимурской свиты (C_1) (4–6): 4 – конгломераты, дресвяники, песчаники, алевролиты, туфы кислого состава, 5 – мраморизованные известняки, 6 – кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; шахтаминский комплекс (J_{2-3}) (7–12): 7 – дайки гранит-порфиров, 8 – дайки диоритовых порфиров, 9 – дайки лампрофиров, 10 – гранит-порфиры, 11 – монзониты, сиениты, 12 – габбро, перидотиты; 13 – гранитоиды ундинского комплекса (C); 14 – золотоносные кварцево-сульфидные жилы; 15 – месторождения и рудопроявления золота Мунгинского рудного узла: I – Верхне-Алиинское месторождение, рудопроявления: II – Мунгинское, III – Ново-Мунгинское, IV – Рябokonь, V – Глазкинское; 16 – тектонические нарушения, 17 – геологические границы

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the Munginsky ore node

1 – fluid-explosive breccia (J_3); 2 – volcanogenic deposits of the Shadaronsky series (J_{2-3}) (andesites, andesites-basalts, andesite-dacites, trachidacites, breccia, lava, tuffs, tuff sandstones, tuff conglomerate, gravelites, gruss); 3 – effusives of the Shadaronsky series (J_{2-3}) (andesite-basalts, andesites, dacites); sediments of the verhnegazimursky Suite (C_1) (4–6): 4 – conglomerates, gruss, sandstones, aleurolites, tuffs of acidic composition, 5 – marbled limestone, 6 – crystalline schists, amphibolites, gneisses; shakhtaminsky complex (J_{2-3}) (7–12): 7 – dikes of granite-porphyry, 8 – dikes of diorite porphyrite, 9 – dikes of lamprophyres, 10 – granite-porphyrines, 11 – monzonite, syenites, 12 – gabbro, peridotite; 13 – granitoids of undinsky complex (C); 14 – gold-bearing quartz-sulphide veins; 15 – deposits and occurrences of Munginsky gold ore node: I – Verkhne-Aliinsky deposit, ore manifestation: II – Munginsky, III – Novo-Munginsky, IV – Ryabokon, V – Glazkinsky; 16 – tectonic disturbances, 17 – geological boundaries

Околорудные изменения пород более всего представлены зонами березитизации, наиболее широко развитыми в Восточной рудоносной зоне. Процессы калишпатизации, серицитизации представлены незначительно. Мощность зон метасоматически измененных пород колеблется от нескольких метров до 10–11 м. Образование околорудных метасоматитов предшествовало рудообразованию. Часто зоны бере-

зитизации пронизаны тонкими кварцевыми прожилками. Зона окисления на месторождении развита незначительна. Окисленные руды наблюдаются до глубины 3–5 м. Они представлены гидроокислами железа, малахита, азурита, ковеллина, замещающими первичные рудные минералы.

Нойон-Тологойское полиметаллическое месторождение расположено в Юго-Восточном Забайкалье

в северной части Кличкинского рудного района. Месторождение было открыто экспедицией 324 «Соснов-геология» в ходе поисково-оценочных работ 1989–1994 гг. По запасам оно относится к числу крупных (Pb – 920 тыс. т, Zn – 1 090 тыс. т, Ag – 4 тыс. т) [Четкин и др., 2011]. Образование Нойон-Тологойского

месторождения связано с процессами формирования акатуевского интрузивного комплекса. На месторождении развиты вулканогенно-осадочные отложения залгатуйской свиты мулинской серии (J_{2-3}), интрузии акатуевского комплекса (J_{2-3}) и средне-позднеюрские осадочные отложения (рис. 2).

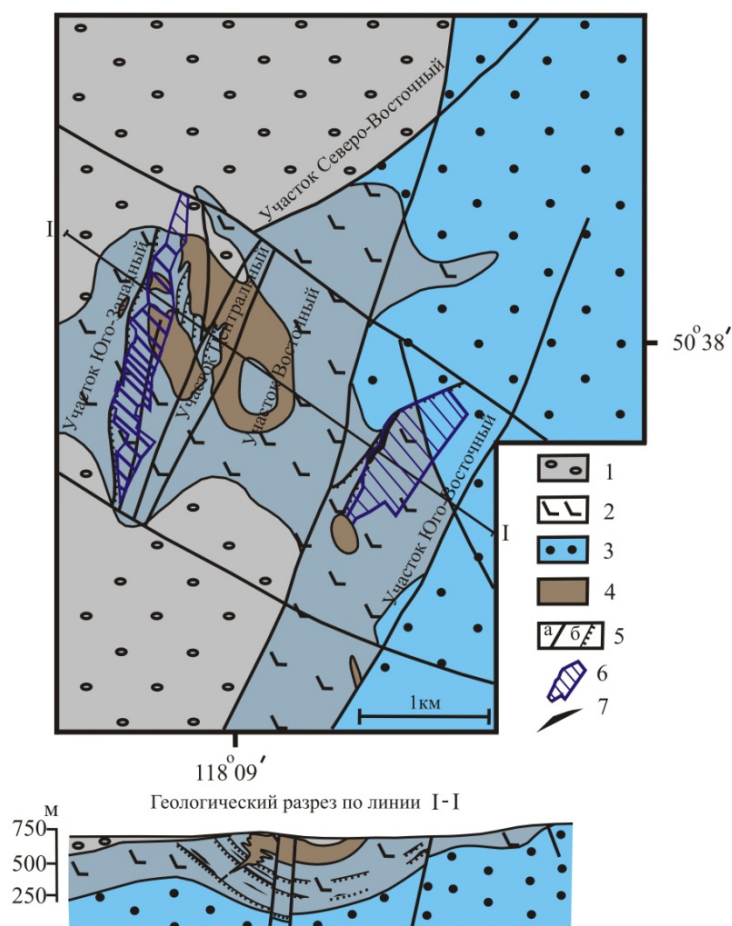


Рис. 2. Схема геологического строения Нойон-Тологойского полиметаллического месторождения

1 – болбойская свита (J_3): конгломераты, песчаники, алевролиты, туфы; 2 – залгатуйская свита (J_{2-3}): покровы андезито-базальтов, базальтов, трахиандезитов с прослоями песчаников, туфов, алевролитов, конгломератов; 3 – верхнегазимульская свита (J_2): конгломераты с прослоями песчаников, алевролитов; 4 – акатуевский интрузивный комплекс (J_{2-3}): сиенит-порфиры, кварцевые сиенит-порфиры; 5 – тектонические нарушения: а – крутопадающие, б – пологозалегающие (межпластовые срывы); 6 – контуры сводных проекций рудных залежей с разведанными запасами; 7 – рудные тела с полиметаллическим оруденением

Fig. 2. Scheme of the geological structure of the Noyon-Tologaisky polymetallic deposit

1 – Bolboiskiy suite (J_3): conglomerates, sandstones, aleurolites, tuffs; 2 – zalgatuyevskiy suite (J_{2-3}): covers of andesite-basalt, basalt, trachandesite with interlayers of sandstones, tuffs, aleurolites, conglomerates; 3 – Verkhnegasimurskiy suite (J_2): conglomerates with sandstone and aleurolite interlayers; 4 – Akaturvskiy intrusive complex (J_{2-3}): syenite-porphry, quartz syenite-porphry; 5 – tectonic faults: a – steeply dipping, b – gently sloping (interstratal breakdowns); 6 – contours of consolidated projections of ore deposits with proven reserves; 7 – ore bodies with polymetallic mineralization

Рудная минерализация локализована в эффузивах залгатуйской свиты, в меньшей мере – в юрских осадочных отложениях и в лакколите сиенит-порфиров акатуевского комплекса.

Рудные тела, имеющие пластообразную, штокверкоподобную и жильную формы, локализуются в зонах тектонических нарушений и на контактах

стратиграфических отложений. Мощность рудных тел колеблется от 1,0 до 44,0 м, в среднем составляя 2,0–3,0 м, протяженность по латерали – до 1,0 км. Наиболее распространенными минералами являются пирит, марказит, арсенопирит, галенит и сфалерит, менее развиты буланжерит, тетраэдрит, фрейбергит. Отмечается следующая последовательность их вы-

деления: арсенопирит + пирит → галенит + сфалерит → буланжерит [Абрамов, 2017].

Метасоматиты отмечаются преимущественно в зонах тектонических нарушений. Наиболее распространены зоны березитизации и пропилитизации пород. В результате более поздних и слабо проявленных процессов аргиллизации в измененных базальтах появляются микропрожилки глинистых минералов. Кварцево-серицит-сульфидные метасоматиты развиты преимущественно в центральных частях рудных зон, хлорит-карбонатные метасоматиты – на флангах рудных зон. Изотопный возраст рудовмещающих березитов (К-Аг метод) составляет 132 ± 5 млн лет [Тарабарко, Губкин, 1996].

Нойон-Тологойское месторождение по геологическому строению и составу руд аналогично Акатуевскому полиметаллическому месторождению, образование которого связано с акатуевским комплексом. Это сходство подтверждается также по соотношениям изотопов стронция в интрузивных образованиях акатуевского комплекса. Начальное отношение изотопов стронция в сиенит-порфирах Нойон-Тологойского месторождения составляет $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,70698 \pm 0,0004$ в монцонитах Акатуевского месторождения – $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,70644 - 0,70677$ [Абрамов, Посохов, 2015; Сасим, Дриль, 2011].

Петрогеохимические особенности интрузивных и эффузивных образований

Изотопный возраст гранитов шахтаминского комплекса составляет $161,7 \pm 1,4$ млн лет [Берзина и др., 2013], монцонитов акатуевского комплекса – 154 ± 4 млн лет [Сасим, Дриль, 2011]. Интрузии шахтаминского комплекса (J_{2-3}) представлены двух-, трехфазными массивами. Породы первой фазы представлены кварцевыми монцонитами, диоритами, габбродиоритами; породы второй фазы – гранодиоритами, гранитами, кварцевыми сиенитами; породы третьей фазы – гранодиоритами, крупнозернистыми порфировидными гранитами [Объяснительная записка... 1997]. Акатуевский интрузивный комплекс образует двухфазные массивы. Породы первой фазы сложены субщелочными габброидами, оливиновыми монцонитами, породы второй фазы – сиенит-порфирами, кварцевыми сиенитами [Объяснительная записка... 1997]. По геохимическим особенностям интрузии шахтаминского и акатуевского комплексов соответствуют породам вулканических дуг, эффузивные образования рассматриваемых месторождений – известково-щелочной магматической серии (рис. 3).

Сиенит-порфиры Нойон-Тологойского месторождения отвечают гранитоидам I-типа, граниты Верхне-Алиинского месторождения – гранитоидам S-типа (см. рис. 3). Эти данные указывают на то что,

формирование РМС Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений связано с коллизионными процессами.

Установлено, что в Восточном Забайкалье источники расплавов средне-позднеюрских магматических образований, образованных в процессе коллизии, находились как в коре, так и в мантии. Это объясняется тем, что при коллизионных процессах, при надвигании Сибирского континента на Монголо-Китайский, была погребена океаническая рифтовая зона. Ее продолжающаяся активность вызвала мантийные источники расплавов [Зорин и др., 1998].

По геохимическому составу интрузивные и эффузивные образования Верхне-Алиинского месторождения, сиенит-порфиры Нойон-Тологойского месторождений близки к адакитам (рис. 4, табл. 1). Образование адакитов связано с процессами плавления субдуцировавшей океанической литосферы [Ефремов, 2010]. Формирование адакитов часто сопровождается промышленной минерализацией элементов халькофильного ряда [Ефремов, 2010]. Геохимические особенности адакитовых интрузий характеризуются следующими характеристиками: величина $(\text{La}/\text{Yb})_n$ не более 10; содержание Yb – менее 1,8 г/т; Y – менее 18,0 г/т; Sr – более 300 г/т. Такие геохимические особенности обусловлены присутствием граната в рестите [Ефремов, 2010]. На диаграмме $(\text{La}/\text{Yb})_n - \text{Yb}_n$ точки составов сиенит-порфиров Нойон-Тологойского месторождения локализованы вдоль линии трендов плавления гранатовых амфиболитов, граниты Верхне-Алиинского месторождения – вдоль линии трендов плавления амфиболитов (рис. 4) [Shaw et al., 2001].

Анализ распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) выявил наличие тетрад-эффектов (ТЭФ) в спектрах лантаноидов в интрузиях шахтаминского комплекса ($\text{TE}_1 - 1,12 - 1,18$), а также в базальтах залгатуйской свиты мулинской серии ($\text{TE}_3 - 0,82 - 0,89$) (табл. 1).

Образование спектров ТЭФ РЗЭ обусловлено их способностью к созданию комплексных соединений в водной среде. Спектры РЗЭ делятся на четыре группы (тетрады): La–Nd, Sm–Gd, Gd–Ho и Er–Lu [Ефремов, 2010; Перетяжко, Савина, 2010]. Величина спектров ТЭФ рассчитывается по отклонению концентраций середины тетрады относительно крайних значений:

$$\text{TE}_i = \sqrt{X_2/X^{2/3}_1 X^{1/3}_4 \times X_3/X^{1/3}_1 X^{2/3}_4}$$

[Объяснительная записка... 1997; Берзина и др., 2013].

Спектры ТЭФ рассчитываются для первой, третьей и четвертой тетрад. Спектры ТЭФ принимаются значимыми, если $\text{TE}_1 > 1,1$ (M-тип), $\text{TE}_1 < 0,9$ (W-тип) [Ефремов, 2010].

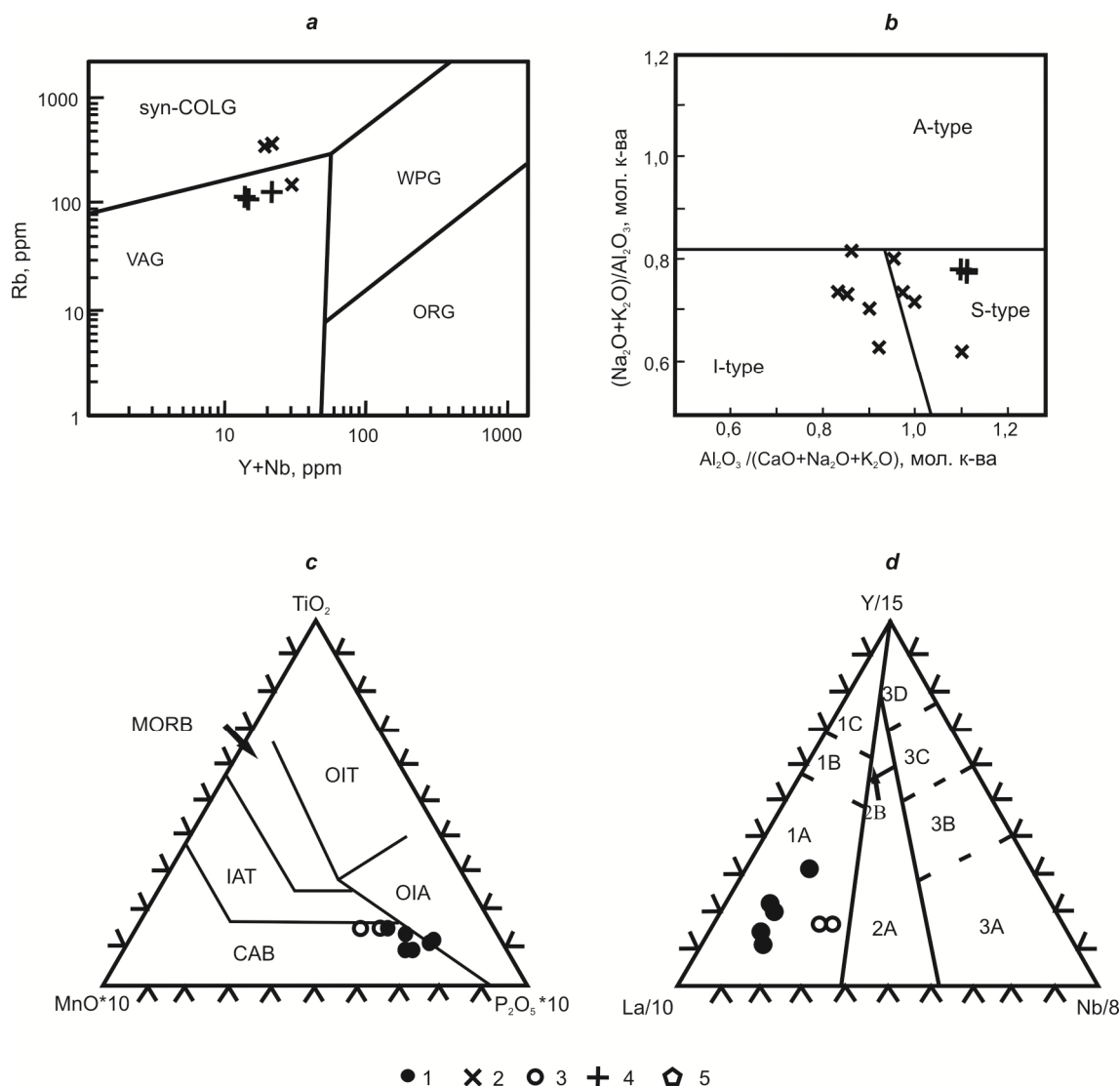


Рис. 3. Квалификационные диаграммы интрузивных и эффузивных образований Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений

a – дискриминационная диаграмма Rb – Y + Nb для разделения гранитоидов различных геодинамических обстановок. VAG – граниты вулканических дуг, ORG – граниты океанических хребтов, WPG – внутриплитные граниты, syn-COLG – коллизионные граниты; *b* – диаграмма $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для гранитоидов. Типы гранитов: I-тип, S-тип, A-тип; *c* – дискриминационная диаграмма MnO – TiO₂ – P₂O₅ для базальтов. На диаграмме: CAB – известково-щелочные базальты, IAT – островодужные толеиты, MORB – базальты срединно-океанических хребтов, OIT – толеиты океанических островов, OIA – андезиты океанических островов; *d* – дискриминационная диаграмма La–Y–Nb для базальтов. 1 – базальты вулканических дуг (1A – известково-щелочные базальты; 1B – известково-щелочные базальты и щелочные толеиты); 1C – островодужные толеиты; 2 – континентальные базальты (2A – континентальные базальты, 2B – базальты задуговых бассейнов); 3 – океанические базальты (3A – щелочные базальты внутриконтинентальных рифтов, 3B, 3C – E-тип MORB; 3B – обогащенные; 3C – слабо обогащенные; 3D – N-тип MORB. 1 – базальты залгатуйской свиты мулинской серии, 2 – сиенит-порфиры акатувеского комплекса, 3 – андезибазальты шадаронской серии, 4 – граниты шахтаминского комплекса, 5 – лампрофиты

Fig. 3. Qualification charts of intrusive and effusive formations of the Verkhne-Aliinsky and Noyon-Tologoyky deposits

a – Discrimination Rb – Y + Nb diagram for the separation of granitoids of various geodynamic settings. VAG – granites of volcanic arcs, ORG – granites of oceanic ridges, WPG – intra-plate granites, syn-COLG – collisional granites; *b* – the diagram $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ for granitoids. Types of granites: I-type, S-type, A-type; *c* – MnO – TiO₂ – P₂O₅ discriminatory diagram for basalts. On the diagram: CAB – calc-alkaline basalts, IAT – island arc tholeiites, MORB – basalts of the mid-ocean ridges, OIT – tholeiites of oceanic islands, OIA – andesites of oceanic islands; *d* – discriminatory La–Y–Nb diagram for basalts. 1 – volcanic arc basalts (1A – calc-alkaline basalts; 1B – calc-alkaline basalts and tholeiites alkaline); 1C – island arc tholeiites; 2 – continental basalts (2A – continental basalts, 2B – back arc basalts); 3 – oceanic basalts (3A – alkaline basalts of inland continental rifts, 3B, 3C – E-type MORB; 3B – enriched; 3C – poorly enriched; 3D – N-type MORB. 1 – basalts of the Zalgatuiskey suite of the Mulinsky series, 2 – syenite-porphry Akatuevsky complex, 3 – andesibasalts of the Shadaronsky series, 4 – granites of the Shakhtama complex, 5 – lamprophyres

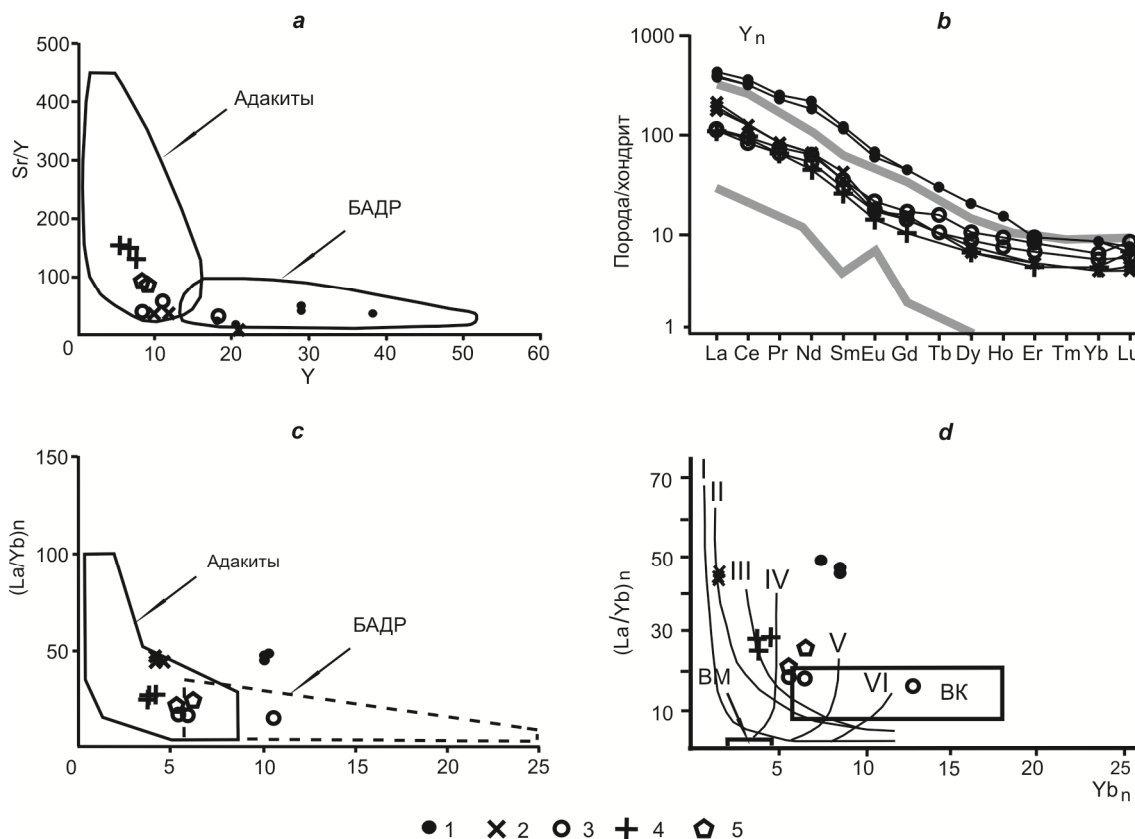


Рис. 4. Дискриминационные диаграммы и геохимические спектры интрузивных и эффузивных образований Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений

a – дискриминационная диаграмма $Sr/Y - Y$ по [Defant et al., 1992]; *b* – дискриминационная диаграмма $(La/Yb)_n - Yb_n$ по [Shaw et al., 2001]. БАДР – породы базальт-андезит-дацит-риолитовых ассоциаций островных дуг и активных континентальных окраин; *c* – спайдер-диаграмма редкоземельных элементов пород Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений. Толстыми серыми линиями ограничены вариации составов адакитов [Ефремов, 2010]. *d* – геохимические спектры сиенит-порфиры и базальтов залгатуйской свиты. Серые толстые линии на рис. «*c*» и «*d*» ограничивают вариации составов адакитов. 1 – базальты залгатуйской свиты, 2 – сиенит-порфиры акатоевского комплекса. Тренды плавления различных источников: I – кварцевые эклогиты, II – гранатовые амфиболиты, III – амфиболиты, IV – гранатсодержащая мантия (10% граната), V – гранатсодержащая мантия (5% граната), VI – гранатсодержащая мантия (3% граната); BM – верхняя мантия, BK – верхняя кора: тоналиты, плагиограниты, плагиогранито-гнейсы. Условные обозначения на рис. 3

Fig. 4. Discrimination charts and geochemical spectra of intrusive and effusive formations of the Verkhne-Aliinsky and Noyon-Tologoy sky deposits

a –discriminatory $Sr/Y - Y$ diagram by [Defant et al., 1992]; *b* – discriminatory diagram $(La/Yb)_n - Yb_n$ by [Shaw et al., 2001]. BADR – basalt-andesite-dacite-rhyolite associations of island arcs and active continental margins; *c* – spider diagram of rare-earth elements of rocks of the Verkhne-Aliinsky and Noyon-Tologoy sky deposits. Thick gray lines are limited to variations in the composition of adakites [Efremov, 2010]; *d* – geochemical spectra of syenite porphyries and basalts of the Zalgatuisky suite. Gray thick lines in fig. “*c*” and “*d*” limit the variations in the composition of adakites. 1 – basalts of the Zalgatuisky suite, 2 – syenite-porphyry of the Akatuevsky complex. Melting trends of various sources: I – quartz eclogites, II – garnet amphibolites, III – amphibolites, IV – garnet-containing mantle with garnet content 10%, V – garnet-containing mantle with garnet 5%, VI – garnet-containing mantle with garnet 3%; VM – the upper mantle, VK – the upper crust: tonalites, plagiogranites, plagiogranite gneisses. Symbols on fig. 3

Таблица 1

Содержание петрогенных компонентов (%), элементов (г/т) и их отношения в породах Верхне-Алиинского и Нойон-Тологойского месторождений

Table 1

The content of petrogenic components (wt. %), elements (ppm) and their relationship in the rocks of the Verkhne-Aliinsky and Noyon-Tologoy sky deposits

Компонент	Номер пробы												
	Верхне-Алиинское месторождение						Нойон-Тологойское месторождение						
	андезибазальты		граниты			лампрофиры		базальты			сиенит-порфиры		
	674-1	675	684	684-1	685	688	692	823	824	829	835	836	837
SiO ₂	58.20	60.40	71.00	69.60	70.50	64.60	66.30	47.10	48.30	47.90	67.10	67.20	66.40

Компонент	Номер пробы												
	Верхне-Алиинское месторождение						Нойон-Тологойское месторождение						
	андезибазальты		граниты			лампрофиры		базальты			сиенит-порфиры		
	674-1	675	684	684-1	685	688	692	823	824	829	835	836	837
TiO ₂	0,80	0,75	0,28	0,32	0,32	0,59	0,47	1,14	1,11	1,13	0,44	0,40	0,39
Al ₂ O ₃	14,60	14,80	15,10	15,50	15,60	15,80	15,80	14,40	14,30	14,30	15,90	16,40	15,70
Fe ₂ O ₃	2,42	1,10	0,77	0,74	0,69	0,98	0,87	1,33	1,35	1,91	1,69	2,74	2,35
FeO	4,25	5,27	1,33	1,48	1,52	3,39	2,42	5,17	5,99	5,37	0,43	0,35	0,31
MnO	0,14	0,16	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,25	0,23	0,17	0,06	0,03	0,09
MgO	5,96	5,96	0,57	0,89	0,80	3,25	2,67	5,79	6,68	6,17	1,07	0,40	0,65
CaO	5,41	3,48	0,92	1,02	1,02	2,47	0,92	6,56	5,33	5,92	0,52	0,64	2,45
Na ₂ O	3,50	4,09	4,54	4,86	4,75	4,04	4,58	0,77	1,84	0,89	1,38	3,41	2,63
K ₂ O	1,23	2,13	3,98	3,92	4,00	3,30	3,41	5,68	4,98	5,72	5,36	5,00	5,06
P ₂ O ₅	0,31	0,25	0,17	0,17	0,16	0,25	0,20	0,80	0,79	0,80	0,22	0,19	0,19
Rb	126	164	127	110	109	92	85	230	160	274	248	163	188
Sr	320	580	780	920	940	770	760	1 420	1 230	1 120	165	390	360
Zr	300	340	160	145	150	180	150	300	290	320	205	200	210
Nb	11	12,2	12	6,4	7	6,8	6	9	10	12	10	9	9
Ba	810	1 020	800	1 000	1 030	820	850	2 250	2 620	1 920	905	900	1 030
La	28,6	25,2	27,7	28,3	29,0	40,6	28,4	94,5	95,4	101,5	46,4	50,1	47,8
Ce	64,2	55,2	66,2	71,6	74,0	82,8	60,1	201,0	200,0	213,5	84,0	87,5	84,5
Pr	7,35	5,9	6,3	6,8	7,0	9,5	6,7	21,7	21,5	23,2	7,8	7,9	7,7
Nd	29,25	24,7	21,5	22,3	22,8	34,2	26,1	90,8	90,3	98,3	30,4	30,1	29,5
Sm	5,8	4,7	3,94	4,2	4,2	6,15	5,1	17,8	17,5	18,9	5,5	5,4	5,4
Eu	1,24	1,07	0,84	1,01	1,03	1,36	1,15	3,42	3,41	3,71	1,02	1,05	1,09
Gd	3,6	2,9	2,15	2,4	2,45	3,8	3,25	9,6	9,4	9,8	3,1	2,8	3,0
Tb	0,59	0,40	<0,5	<0,5	<0,5	0,56	0,50	1,06	1,1	1,1	<0,5	<0,5	<0,5
Dy	2,65	2,2	1,7	1,5	1,6	2,6	2,2	5,26	5,15	5,5	2,1	1,95	2,0
Ho	0,51	0,41	<0,5	<0,5	<0,5	0,54	0,44	0,96	0,91	0,99	<0,5	<0,5	<0,5
Er	1,35	1,1	0,80	0,70	0,75	1,3	1,1	1,6	1,6	1,7	0,80	0,80	0,78
Tm	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Yb	1,1	0,96	0,80	0,67	0,69	1,1	0,94	1,4	1,4	1,42	0,71	0,73	0,72
Lu	0,20	0,15	0,17	<0,15	<0,15	0,21	0,15	0,18	0,17	0,18	<0,15	<0,15	<0,15
Y	12,9	12,1	9,0	8,1	8,1	13,3	11,3	21,4	21,0	21,9	8,8	8,7	9,6
ΣTR	159,3	137,0	141,1	147,6	151,9	184,7	136,1	470,7	468,8	501,7	190,6	197,0	192,1
(La/Yb) _n	26,00	18,36	24,06	29,62	28,88	25,61	20,96	46,87	46,31	49,61	46,41	47,66	46,83
Eu/Eu*	0,83	0,88	0,88	0,97	0,98	0,86	0,86	0,81	0,81	0,83	0,76	0,82	0,83
Eu/Sm	0,21	0,23	0,21	0,24	0,24	0,22	0,22	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20
T ₁	1,00	0,96	1,12	1,18	1,12	1,00	0,99	0,98	0,97	0,98	0,96	0,93	0,93
T ₃	1,01	0,91	—	—	—	0,93	1,19	0,86	0,89	0,82	—	—	—

Примечание: Верхне-Алиинское месторождение: 674-1, 675 – андезибазальты; 684, 684-1, 685 – граниты; 688, 692 – лампрофиры. Нойон-Тологойское месторождение: 823, 824, 829 – базальты; 835, 836, 837 – сиенит-порфиры.

Note: Verkhne-Aliinsky deposit: 674-1, 675 – andesibasalts; 684, 684-1, 685 – granites; 688, 692 – lamprophyres. Noyon-Tologoyisky deposit: 823, 824, 829 – basalts; 835, 836, 837 – syenite-porphyry.

$$TE_1 = \sqrt{\frac{Ce \times Pr}{Gd^{2/3} \times Ho^{1/3} Gd^{1/3} \times Ho^{2/3}}} \quad TE_3 = \sqrt{\frac{Tb \times Dy}{La^{2/3} \times Nd^{1/3} La^{1/3} \times Nd^{2/3}}}$$

Выявлено, что образование спектров ТЭФ связано с наличием во флюиде обогащенных летучих компонентов и перераспределением лантаноидов между несмешиваемыми жидкими фазами [Перетяжко, Савина, 2010]. Наличие спектров ТЭФ в спектрах лантаноидов гранитов шахтаминского комплекса Верхне-Алиинского месторождения и в эффузивах залгатуйской свиты мулинской серии Нойон-Толлогойского месторождения указывает на обогащенность магматических расплавов данных пород летучими компонентами.

Заключение

Таким образом, источником рудоносных магматических расплавов была адакитовая магма, образован-

ная в результате мантийно-корового взаимодействия. В районе Верхне-Алиинского месторождения все составляющие ВПС (граниты, эффузивы) соответствуют адакитам. Наличие рудной зональности в пределах ВПС указывает на магматический источник оруденения. На Нойон-Тологойском месторождении адакитам отвечают только сиенит-порфиры акатуевского комплекса (коллизийные образования), эффузивы мулинской серии не соответствуют им. Вероятно, их образование происходило в постколлизийной обстановке. Наличие ТЭФ в спектрах лантаноидов в гранитах шахтаминского комплекса и эффузивах мулинской серии указывает на обогащенность магматических расплавов данных пород летучими компонентами.

Работа выполнена по проекту IX.137.1.2 (№ государственной регистрации АААА-А17-117011210077-2) при частичной поддержке гранта РФФИ (грант № 16-05-00353).

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Б.Н.** Гранитоиды мезозойских золоторудных месторождений Восточного Забайкалья: условия формирования, геохимические особенности // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 48–54.
- Абрамов Б.Н., Посохов В.Ф.** Изотопы стронция в интрузивных образованиях мезозойских рудно-магматических систем Восточного Забайкалья // Материалы Всероссийского совещания «Флюидный режим эндогенных процессов континентальной литосферы». Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 22–24.
- Абрамов Б.Н.** Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2016. № 4. С. 92–101.
- Абрамов Б.Н.** Нойон-Тологойское полиметаллическое месторождение: петрогеохимические особенности состава пород и руд // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 2. С. 215–230.
- Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О., Крымский Р.Ш., Ларионов А.Н., Николаева И.В., Серов П.А.** Шахтаминская Мо-порфировая система (Восточное Забайкалье): возраст, источники, генетические особенности // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 6. С. 764–786.
- Ефремов С.В.** Раннепалеозойские адакиты Восточного Саяна. Геохимические особенности и источники вещества // Геохимия. 2010. № 11. С. 1185–1201.
- Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Скляр Е.В., Тумуртогов О., Хозбаяр П., Арвисбаатар Н., Бямбаа Ч.** Террейны Восточной Монголии и Центрального Забайкалья и развитие Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 1. С. 11–25.
- Объяснительная записка** к геологической карте Читинской области масштаба 1:500000 (под ред. И.Г. Рутштейна). Чита, 1997. 239 с.
- Перетяжко И.С., Савина Е.А.** Признаки жидкостной несмесимости в онгонитовой магме по данным изучения расплавных и флюидных включений в породах массива Ары-Булак (Восточное Забайкалье) // Доклады академии наук. 2010. Т. 433, № 4. С. 524–529.
- Санин Б.П., Зорина Л.Д.** Формации свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. М. : Наука, 1980. 195 с.
- Сасим С.А., Дриль С.И.** Изотопно-геохимические характеристики пород акатувского массива Восточного Забайкалья и связанных с ними полиметаллических руд // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2011. № 1. С. 78–85.
- Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А.** Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск : Гео, 2006. 291 с.
- Тарабарко А.Н., Губкин Г.Н.** Основные черты геологического строения месторождения Нойон-Тологой // Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию академика С.С. Смирнова. Новосибирск, 1996. С. 190–196.
- Чечеткин В.С., Харитонов Ю.Ф., Чабан Н.Н., Тарабарко А.Н.** Минерально-сырьевые ресурсы Забайкальского края. Перспективы освоения и развития // Материалы IX конференции «Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии». Чита, 2011. С. 12–17.
- Defant M.J., Richerson P.M., Boer J.Z. et al.** The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview // J. Petrol. 1991. V. 32, № 6. P. 1101–1142.
- Shaw J.E., Baker J.A., Menzies M.A. et al.** Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian Plate (Jordan): A mixed lithosphere – asthenosphere source active by lithospheric extension // J. Petrol. 2001. V. 44, № 9. P. 1657–1679.

Автор:

Абрамов Баир Намжилевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: b_abramov@mail.ru

Geosphere Research, 2018, 3, 34–42. DOI: 10.17223/25421379/8/3

B.N. Abramov

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

NEW DATA ON THE FORMATION OF THE VERKHNE-ALIINSKY GOLD AND NOYON-TOLOGOYSKY POLYMETALLIC DEPOSITS (EASTERN TRANSBAIKALIA)

The paper presents new data on the formation of the Verkhne-Aliinsky gold and Noyon-Tologoysky polymetallic deposits in Eastern Transbaikalia. It established that in the Eastern Transbaikalia, the ore-magmatic systems of the Shakhtama intrusive complex (J_{2-3}) are associated with the formation of gold and molybdenum deposits, with the ore-magmatic systems of the Akatuevsky complex (J_{2-3}) – polymetallic deposits.

The Verkhne-Aliinsky gold deposit is located 30 km east of the Baley city, within the Munginsky ore cluster of the Baley ore region of Eastern Transbaikalia. The formation of gold mineralization is associated with the formation of the Shakhtama complex, which together with the effusive structures of the Shadaron (J_{2-3}) series forms a ring volcano-plutonic structure. The granitoids of the Shakhtama complex developed in the center of this structure, and in the peripheral parts – effusives of the Shadaron series.

The Noyon-Tologoysky polymetallic deposit is located in the northern part of the Klichinsky ore region in the South-Eastern Transbaikalia. The formation of the deposit is associated with the formation of the Akatuevsky intrusive complex. The field contains volcanogenic-sedimentary deposits of the Zalgatui Suite of the Mulinsky series (J_{2-3}), intrusions of the Akatuevsky complex (J_{2-3}) and Middle-Late Jurassic sediments.

It established that the isotopic age of granite Shakhtama complex is 161.7 ± 1.4 Ma, monzonites Akatuevsky complex – 154 ± 4 Ma. Intrusion Shakhtama complex (J_{2-3}) is represented by two- three-phase arrays. Rocks of the first phase are represented by quartz monzonites, diorites, gabbrodiorites; rocks of the second phase – granodiorites, granites, quartz syenites; rocks of the third phase – granodiorites, coarse-grained porphyry granites. Akatuevsky intrusive complex forms two-phase arrays. Rocks of the first phase are composed of subalkaline gabbroids, olivine monzonites, rocks of the second phase-syenite-porphyry, quartz syenites. In geochemical features of intrusions Shakhtama and Akatuevsky complexes correspond to volcanic arc rocks, effusive formation of this deposits of calc-alkaline magmatic series.

The syenite-porphyries of the Noyon-Tologoy sky deposit corresponds to I-type granitoids, the Verkhne-Aliinsky granites correspond to S-type granitoids. These data indicate that the formation of the ore-magmatic system of the Verkhne-Aliinsky and Noyon-Tologoy sky deposits is associated with collision processes. The initial ratio of strontium isotopes in the syenite-porphyries of the Noyon-Tologoy sky deposit is $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70698 \pm 0.000$.

The magmatic source of these deposits was the adakite magma, formed as a result of the mantle-crust interaction, characterized by elevated concentrations of volatile components. The intrusions of these complexes correspond to the formations of volcanic arcs, the effusive formations to the calc-alkaline series.

The presence of tetrad effects in the lanthanide spectra revealed in the magmatic formations of both deposits, indicating the enrichment of magmatic melts with volatile components. Analysis of the distribution of rare earth elements revealed the existence of tetrad effects in the spectra of the lanthanides in the intrusions Shakhtama complex ($TE_1 - 1, 12 - 1, 18$), and in basalts Zalgatui Suite of the Mullinsky series ($TE_3 - 0, 82 - 0, 89$).

Keywords: shakhtaminsky and akatuevsky complexes, adakite magma, Eastern Transbaikalia.

References

- Abramov B.N. *Granitoidy mezozoyskikh zolotorudnykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal'ya: usloviya formirovaniya, geokhimicheskiye osobennosti* [Granitoids of the Mesozoic gold deposits of Eastern Transbaikalia: formation conditions, geochemical features] // Rudy i metally, 2013, № 6. pp. 48–54. In Russian.
- Abramov B.N., Posohov V.F. *Izotopy strontiya v intruzivnykh obrazovaniyakh mezozoyskikh rudno-magmaticheskikh sistem Vostochnogo Zabaykal'ya* [Isotopes of strontium in Intrusive formations of Mesozoic ore-magmatic systems in Eastern Transbaikalia] // Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya «Flyuidnyy rezhim endogennykh protsessov kontinental'noy litosfery». Irkutsk. Institut zemnoy kory SO RAN. 2015. pp. 22–24. In Russian.
- Abramov B.N. *Verkhne-Aliinskoe zolotorudnoye mestorozhdenie: usloviya formirovaniya, petrogeo-himicheskie osobennosti porod i rud* (Munginsk ore cluster, Eastern Transbaikalia) // Litosfera. 2016. № 4. pp. 92–101. In Russian.
- Abramov B.N. The Noyon-Tologoy polymetallic deposit: formation conditions and petrogeochemical peculiarities of rocks and ores (eastern Transbaikalia) // Russian Geology and Geophysics. V. 58. Is. 2. pp. 177–179.
- Berzina A.P., Berzina A.N., Gimov V.O. et al. The Shakhtama porphyry Mo ore-magmatic system (eastern Transbaikalia): age, sources, and genetic features // Russian Geology and Geophysics. V. 54. Is. 6. pp. 587–605.
- Efremov S.V. Early Paleozoic Adakites in the Eastern Sayan: Geochemistry and Sources // Geochemistry International. 2010. V. 48. № 11. pp. 1112–1127.
- Zorin Y.A., Belichenko V.G., Turutanov E.K. Terranes in East Mongolia and Central Transbaikalia and evolution of the Okhotsk-Mongolian fold belt // Russian Geology and Geophysics. V. 39. Is. 1. pp. 11–25.
- Obyasnitelnaya zapiska k geologicheskoy karte Chitinskoj oblasti masshtaba 1:500000. [Explanatory note to the geological map of Chita region scale 1: 500000]. pod redaktsiyey I.G. Rutshejna. Chita. 1997. 239 p. In Russian.
- Peretyazhk, I.S., Savina E.A. Sinks of liquid immiscibility in ongonitic magma: Evidence from the study of melt and fluid inclusions in rocks of the Ary-Bulak massif (Eastern Transbaikalia) // Doklady Earth Sciences. V. 433. Is. 2. pp. 1077–1082.
- Sanin B.P., Zorina L.D. *Formatsii svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal'ya* [Formations of lead-zinc deposits of Eastern Transbaikalia]. Moscow : Nauka. 1980. 195 p. In Russian.
- Sasim S.A., Dril' S.I. *Izotopno-geokhimicheskiye kharakteristiki porod akatuevskogo massiva Vostochnogo Zabaykal'ya i svyazannykh s nimi polimetallicheskich rud* [Isotope-geochemical of rocks Akatuevsky massiv in East Trans-Baikal area and related polymetallic ores] // Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdeniy. 2011. № 1. pp. 78–85. In Russian.
- Spiridonov A.M., Zorina L.D., Kitaev N.A. *Zolotonosnyye rudno-magmaticheskiye sistemy Zabaykal'ya*. [Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia]. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2006. 291 p. In Russian.
- Tarabarko A.N., Gubkin G.N. *Osnovnyye cherty geologicheskogo stroyeniya mestorozhdeniya Noyon-Tologoy* // Materialy Vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu akademika S.S. Smirnova. Novosibirsk [The main features of the geological structure of the Noyon-Tologoy Deposit // Materials of the All-Russian Conference all-Russian conference dedicated to the 100th anniversary of academician S. S. Smirnov]. Novosibirsk. 1996. pp. 190–196. In Russian.
- Chechetkin V.S., Haritonov YU.F., Chaban N.N., Tarabarko A.N. *Mineral'no-syr'yevyye resursy Zabaykal'skogo kraya. Perspektivy osvoineniya i razvitiya* // Materialy IX konferentsii «Problemy geologicheskoy i mineragenicheskoy korrelyatsii v sopredel'nykh rayonakh Rossii, Kitaya i Mongolii» [Mineral and raw material resources of the Transbaikalian Territory. Prospects for exploration and development // Proceedings of the IX Conference "Problems of geological and mineragenic correlation in the adjacent regions of Russia, China and Mongolia] Chita. 2011. pp. 12–17. In Russian.
- Defant M.J., Richerson P.M., Boer J.Z. et al. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview // J. Petrol. 1991. V.32. № 6. pp. 1101–1142.
- Shaw J.E., Baker J.A., Menzies M.A. et al. Petrogenesis of the largest intraplate volcanic field on the Arabian Plate (Jordan): A mixed lithosphere – asthenosphere source active by lithospheric extension // J. Petrol. 2001. 44. (9). pp. 1657–1679.

Author:

Abramov Bair N., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geoecology and Ore Genesis, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: b_abramov@mail.ru