

УДК 553.411(571.5)

ВЕРХНЕ-АЛИИНСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД И РУД (МУНГИНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2016 г. Б. Н. Абрамов

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

Поступила в редакцию 02.12.2014 г.

Принята к печати 02.06.2016 г.

Установлено, что образование Верхне-Алиинского золоторудного месторождения связано с процессами формирования кольцевой вулканоплутонической структуры (ВПС), центральные части которой сложены гранит-порфирами шахтаминского комплекса (J_{2-3}), периферийные части – эффузивами шадаронской серии (J_{2-3}). В центральной части ВПС развиты высокотемпературные, в периферийной части – низкотемпературные рудные минеральные ассоциации. Петрохимические значения пород ВПС указывают на образование их в результате кристаллизационной дифференциации за счет мантийного источника. Формирование рудоносных флюидов происходило вследствие процессов мантийно-корового взаимодействия.

Ключевые слова: *Верхне-Алиинское месторождение, вулканоплутоническая структура, золото.*

ВВЕДЕНИЕ

Верхне-Алиинское золоторудное месторождение расположено на 30 км восточнее г. Балей в пределах Мунгинского рудного узла Балейского рудного района. Месторождение находится в экономически освоенном районе с развитой транспортной сетью вблизи ЛЭП. Оно было открыто Казаковской геологоразведочной экспедицией в процессе проведения поисково-разведочных работ в 1978–1980 гг. В 2005 г. ЗАО “Омчак” приобрело лицензию на Верхне-Алиинский участок с правом разведки и, в дальнейшем, его промышленного освоения. Разведанные запасы месторождения оцениваются в 21 т золота с содержанием в руде 13 г/т.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу статьи положен фактический материал, собранный автором на Верхне-Алиинском месторождении в процессе тематических исследований по программам Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН в 2012 году, а также материалы территориальных геологических фондов (г. Чита). Для определения содержания элементов-примесей использовались спектрозолотометрический, пробирный, сцинтилляционный спектральный, ISP-AES (атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой), рентген-флуоре-

сцентный, атомно-абсорбционный методы анализов. Содержание петрогенных компонентов определялось стандартным методом силикатного анализа. На начальных стадиях исследований для определения содержания благородных металлов в массовых количествах использовался сцинтилляционный метод анализа. В последующем пробы со значимыми концентрациями благородных металлов (> 0.1 г/т) исследовались атомно-абсорбционным и пробирным методами анализов. Анализы проведены в аналитических лабораториях: ЗабНИИ (Роскомнедра РФ, г. Чита), ГУП ЛИЦИМС (Лабораторно-исследовательский центр по изучению минерального сырья Комитета природных ресурсов по Читинской области, г. Чита), в аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ).

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД И РУД МУНГИНСКОГО РУДНОГО УЗЛА

В геологическом строении Мунгинского рудного узла принимают участие палеозойские осадочные отложения, мезозойские вулканогенно-осадочные образования, интрузивные образования ундинского (С) и шахтаминского (J_{2-3}) комплексов. Образование золотоносных руд рудного узла связывается с процессами формирования кольцевой вулканоплутонической структуры (ВПС), в центре которой расположен шток гранит-порфиров,

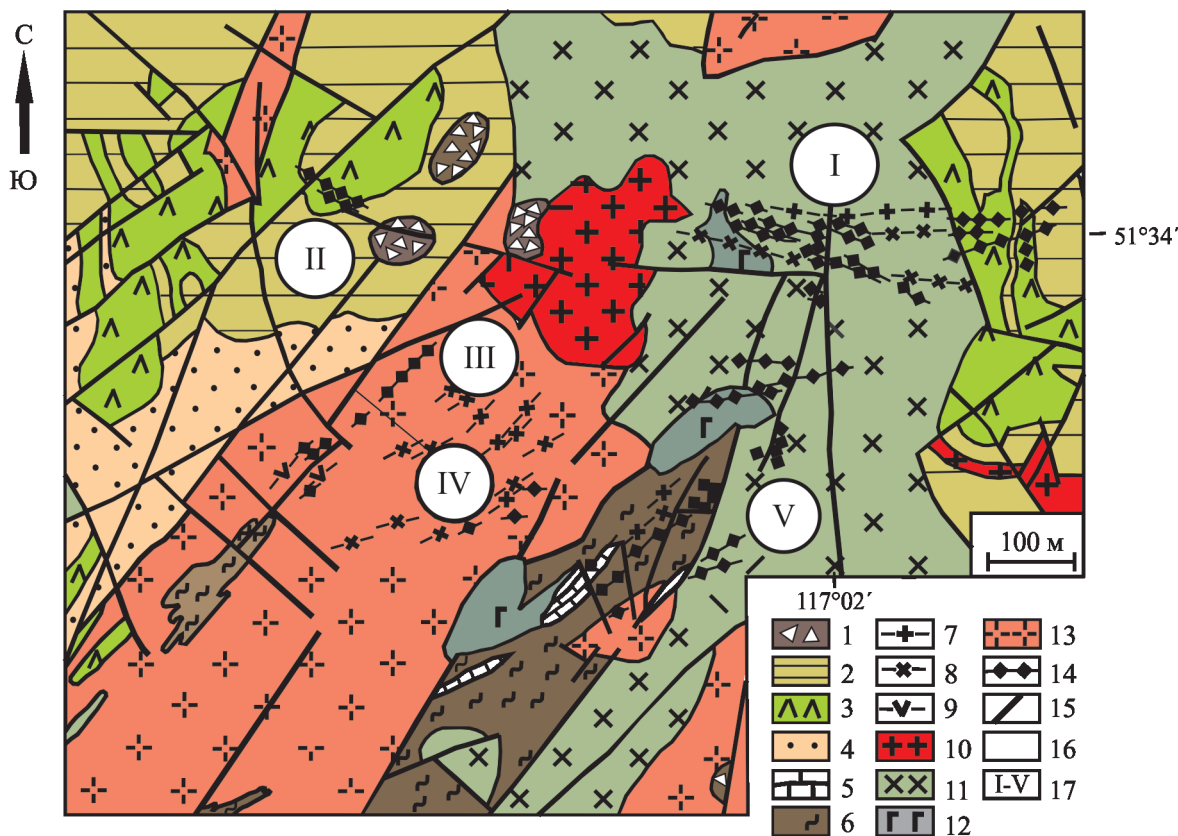


Рис. 1. Схема геологического строения Мунгинского рудного узла по данным А.А. Воротынцева и др., 1983¹.

1 – (J_3) флюидно-эксплозивные брекчии; 2 – ($J_{2,3}$) вулканогенные отложения шадаронской серии (андезиты, андезитобазальты, андезитодациты, трахидациты, брекчии, лавы, туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты, гравелиты, дресвяники); 3 – ($J_{2,3}$) эффузивы шадаронской серии (андезитобазальты, андезиты, дациты); 4 – (J_2) осадочные отложения верхнегазимульской свиты (конгломераты, дресвяники, песчаники, алевролиты, туфы кислого состава); 5–6 – (C_1) осадочные отложения верхнегазимульской свиты: 5 – мраморизованные известняки, 6 – кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; 7–9 – ($J_{2,3}$) шахтаминский комплекс: 7 – дайки гранитпорфиров; 8 – дайки диоритовых порфиров; 9 – дайки лампрофиров; 10 – гранитпорфиры; 11 – монзониты, сиениты; 12 – габбро, перидотиты; 13 – гранитоиды ундинского комплекса (С); 14 – золотоносные кварцево-сульфидные жилы; 15 – тектонические нарушения, 16 – геологические границы, 17 – месторождение и рудопроявления золота Мунгинского рудного узла. I – Верхне-Алиинское месторождение, рудопроявления: II – Мунгинское, III – Ново-Мунгинское, IV – Рябоконь, V – Глазкинское.

Fig. 1. Scheme of geological structure of Munginsk ore cluster according to A.A. Vorotyntsev and al., 1983¹.

1 – (J_3) fluid-explosive breccias; 2 – ($J_{2,3}$) volcanogenic sediments Shadaronsk series (andesites, andesite-basalts, andesite-dacites, trachydacites, breccias, lava, tuff, tuffaceous sandstone, tuffaceous conglomerate, gravelite, dresvyanka); 3 – ($J_{2,3}$) effusive Shadaronsk series (andesite-basalts, andesites, dacites); 4 – (J_2) sediments Verhnegazimursk suite (conglomerates, sandstones, siltstones, acidic tuffs); 5–6 – (C_1) sediments Verhnegazimursk suite: 5 – marbleized, 6 – crystal shists, amphibolites, gneisses; 7 – dikes of granite-porphury; 8 – dikes of diorite porphyrite; 9 – dikes of lamprophyres; 10 – granite-porphyrries; 11 – monzonites, syenites; 12 – gabbro, peridotites; 13 – Undinsk granitoids complex (C); 14 – gold-bearing quartz-sulfide veins; 15 – tectonic faults; 16 – geological boundaries; 17 – I – top-Aliinsk deposit, II–V – gold ore occurrences: II – Munginsk, III – Novo-Munginsk, IV – Ryabokon', V – Glazkinsk.

граносиенит-порфиров шахтаминского комплекса ($J_{2,3}$), по периферии – вулканогенно-осадочные отложения шадаронской серии ($J_{2,3}$) (рис. 1). В Восточном Забайкалье образование многих золоторудных месторождений связано с формированием интрузий шахтаминского и амуджиканского комплексов ($J_{2,3}$), образованных в ходе коллизионных процессов вследствие столкновения Сибирской и Монголо-Китайской литосферных плит. Эти месторождения пространственно тяготеют к Монголо-Охотской суре [1–5, 9–14].

Рудопроявления Мунгинского рудного узла¹

Мунгинское золоторудное проявление представлено жилами кварц-турмалинового состава, залегающими среди туфоконгломератов шадарон-

¹ Воротынцев А.А., Куприенко Н.В., Ланда В.Е. Отчет по поисково-оценочным работам на Верхне-Алиинском месторождении золота за 1981–1983 гг. 1983. 155 с. Территориальный геологический фонд по Забайкальскому краю (г. Чита).

ской серии. Протяженность жил – 140–600 м, мощность – около 1 м. Наиболее распространенными рудными минералами являются пирит и арсенопирит. Реже отмечаются марказит, пирротин, сфалерит. Редкие минералы представлены галенитом, буланжеритом, халькопиритом, блеклой рудой. Содержание золота колеблется от 0.1 г/т до 3 г/т.

Рудоносные жилы рудопроявления Рябоконь развиты среди гранитов ундинского комплекса. Рудопроявление представлено серией жил кварц-турмалин-сульфидного состава. Содержание сульфидов колеблется от 10 до 90%. Основными рудными минералами являются пирит и арсенопирит, второстепенными – халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин, марказит, буланжерит. К числу редких минералов относятся магнетит, молибденит. Содержание золота в рудах достигает 16.3 г/т.

Ново-Мунгинское рудопроявление также размещено среди гранитов ундинского комплекса. По составу жил и рудных минералов оно аналогично рудопроявлению Рябоконь. Содержание золота в рудах достигает 25 г/т.

Породы, вмещающие Глазкинское рудопроявление золота представлены мраморизованными известняками, кварц-биотит-серицитовыми сланцами газимурозаводской свиты (J_2), гранитоидами и габброидами шахтаминского комплекса (J_{2-3}). Золотое оруденение локализуется в кварцево-сульфидных жилах и минерализованных зонах. Рудные минералы представлены арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, висмутином. Содержание золота в рудах составляют 0.1–12.6 г/т.

Ранее проведенные тематические и поисково-разведочные работы указывают на тесную связь золотого оруденения Мунгинского рудного узла с интрузивными образованиями шахтаминского комплекса, представленного на площади исследования интрузиями первой и второй фаз (габбромонзониты, монзониты, сиениты) и интрузиями третьей фазы (гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры). Дайковые образования данного комплекса сложены гранит-порфирами, лампрофирами и диоритовыми порфирами.

Интрузивные породы первой фазы шахтаминского комплекса характеризуются постепенными переходами между разновидностями пород с непостоянным количеством и составом слагающих их минералов. Центральные части рудномагматической системы сложены породами ультраосновного состава (оливиновые клинопироксениты, клинопироксениты), сменяющимися по мере движения к периферии габбро-пироксенитами, оливиновыми габбро, габбро, переходящими в монзониты в краевых частях массива.

На вариационных диаграммах Харкера основные петрографические разновидности пород Мунгинской вулcano-плутонической структуры (ин-

трузии шахтаминского комплекса, эффузивы шадаронской серии) образуют единые тренды изменения состава пород, что указывает на их принадлежность к единому магматическому источнику (рис. 2). С увеличением количества SiO_2 происходит уменьшение содержаний FeO , TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 , увеличение – Na_2O . Такая закономерность типична для процессов дифференциации щелочных магм [8].

По данным тематических исследований в ультраосновных породах первой фазы установлена платиновая минерализация. Из 220 пробирных анализов на платиноиды в 70 отмечено наличие пла-

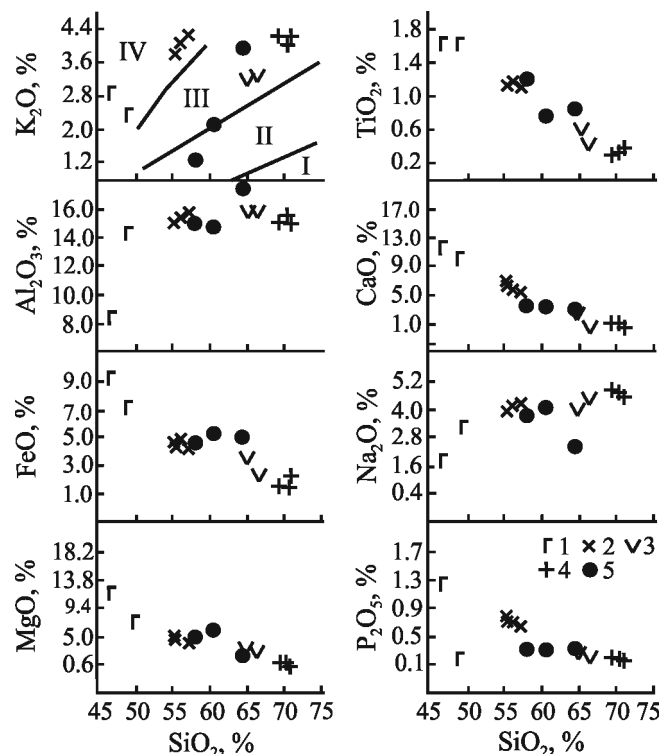


Рис. 2. Соотношения породообразующих окислов и SiO_2 в породах вулcano-плутонической структуры Мунгинского рудного узла.

1 – габброиды, 2 – монзониты, 3 – лампрофиры (дайки), 4 – гранит-порфиры; 5 – эффузивы шадаронской серии.

Поля интрузивных серий на диаграмме K_2O-SiO_2 : I – островодужная толеитовая, II – среднекальциевая известково-щелочная, III – высококальциевая известково-щелочная, IV – шохонитовая.

Fig. 2. The relation of rock-forming oxides in the rocks of volcano-plutonic structure Munginsk ore cluster.

1 – gabbroids, 2 – monzonites, 3 – lamprophyre (dykes), 4 – granite-porphyrates; 5 – effusives Shadaronsk series.

Fields of intrusive series in the diagram K_2O-SiO_2 : I – island arc tholeiites, II – middle-potassium calc-alkaline, III – high-potassium calc-alkaline, IV – shoshonite.

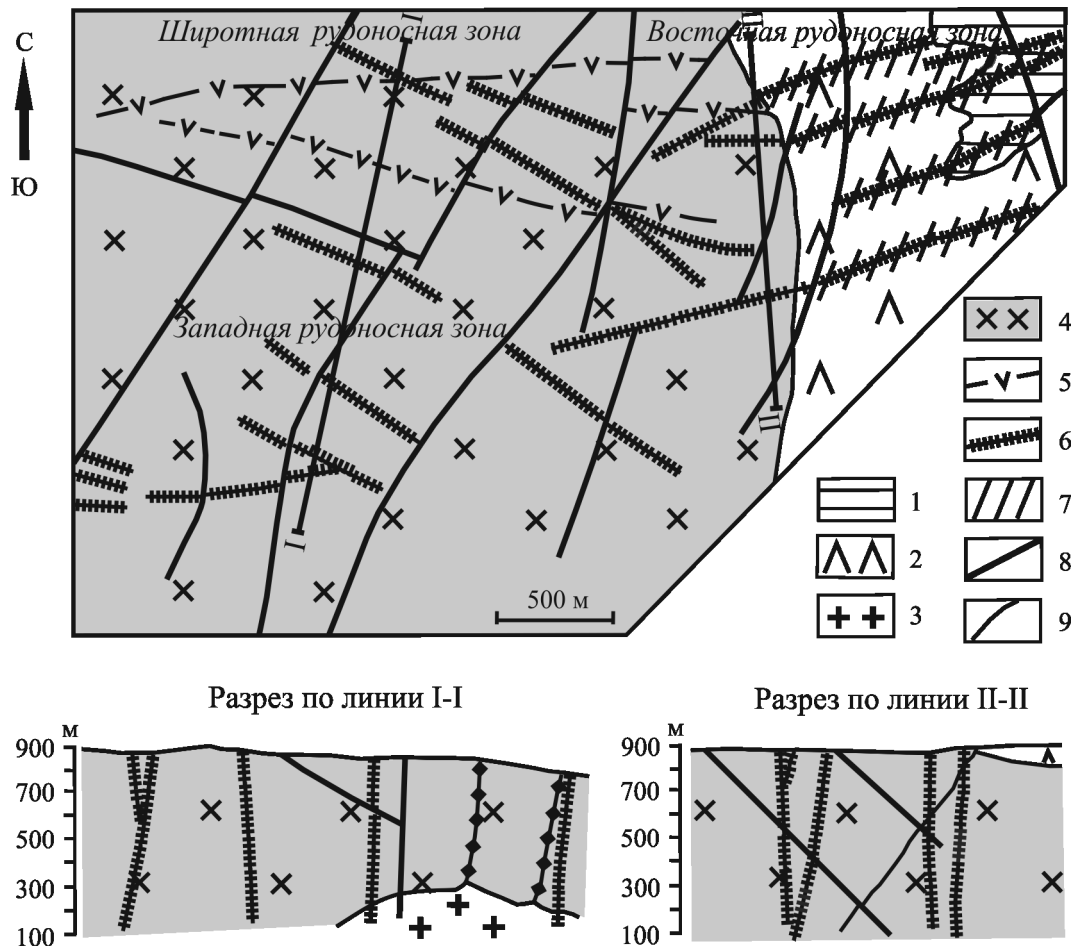


Рис. 3. Схема геологического строения Верхне-Алиинского золоторудного месторождения по материалам территориального фонда геологической информации по Забайкальскому краю.

1–2 – шадаронская серия ($J_{2,3}$): 1 – вулканогенно-осадочные отложения; 2 – андезито-базальты, андезиты, дациты; 3–5 – шахтаминский комплекс ($J_{2,3}$): 3 – гранит-порфиры, 4 – монзониты, 5 – диоритовые порфиры (дайки); 6 – золотоносные сульфидно-кварцевые жилы и минерализованные зоны; 7 – зоны метасоматически измененных пород (березиты); 8 – тектонические нарушения; 9 – геологические границы.

Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Upper-Aliinskii gold deposit according to the materials of the territorial Fund of geological information on Transbaikalian area.

1–2 – Shadaronskaja series ($J_{2,3}$): 1 – volcanogenic-sedimentary deposits, 2 – andesite-basalts, andesites, dacites; 3–5 – Shakhtaminskiy complex ($J_{2,3}$): 3 – granite-porphyrines, 4 – monzonites, 5 – diorite porphyrites (dikes); 6 – sulfide gold-quartz veins and mineralized zones; 7 – zones of metasomatically altered rocks (beresites); 8 – tectonic faults; 9 – geological boundary.

тиноидов, из них в 11 пробах концентрации Pt + Pd составили $n \times 0.1$ г/т.²

Верхне-Алиинское золоторудное месторождение

Месторождение расположено восточнее штока гранит-порфиров шахтаминского комплекса. Образование золотого оруденения тесно связано с фор-

мированием вулcano-плутонической структуры. На это указывает минералого-геохимическая зональность оруденения, выраженная в смене высокотемпературных минеральных ассоциаций в центре структуры на низкотемпературные к ее периферии. Структурный контроль оруденения определяется приуроченностью к узлу пересечения тектонических разломов северо-восточного, субширотного и меридионального простирания.

В геологическом строении месторождения принимают участие мезозойские вулканогенно-осадочные образования шадаронской серии (J_{2-3}) и интрузивные образования шахтаминского (J_{2-3}) комплекса (рис. 3). Характерной особенностью ин-

² Ильин С.Н., Филатова Т.С. Отчет “Прогнозная оценка базит-гипербазитовых массивов некоторых рудных районов Восточного Забайкалья на минералы платиновой группы”. 1988 г. 420 с. Территориальный геологический фонд по Забайкальскому краю (г. Чита).

трузий шахтаминского комплекса является повышенная щелочность пород (см. рис. 2, табл. 1).

Основными рудовмещающими породами являются монцититы и гранодиорит-порфиры. Монцититы 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 гипидиоморфинозернистая, текстура массивная. Порфировые выделения гранодиорит-порфиров сложены, 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 представлены андезиты, андезито-базальты, трахиандезиты и их туфы, туфоконгломераты, туфопесчаники и туфоалевролиты.

В составе Верхне-Алиинского месторождения выделены три рудоносные зоны – Западная, Восточная и Широкая, отличающиеся по минеральному составу, геохимическим особенностям составляющих рудных зон. Западная рудная зона образована серией кварцево-сульфидных жил и минерализованных интервалов протяженностью до 750 м, имеющих субширотное, северо-западное и северо-восточное простирание. Широкая рудная зона представлена серией кварцево-сульфидных жил, сгруппированных в полосу шириной 1 км, длиной 5 км. Протяженность отдельных жил колеблется от 100 до 1600 м. Мощность кварцево-сульфидных жил достигает 9 м. Восточная рудоносная зона вмещает маломощные жилы халцедоновидного кварца с вкрапленностью сульфидов, в составе которых преобладает пирит. Мощность кварцевых жил доходит до 1.0 м. Мощность минерализованных зон составляет первые десятки метров, протяженность – первые сотни метров. Зоны различаются по мощности и составу рудных минералов. Западная и Широкая зоны размещаются во внутренней части, Восточная – во внешней кольцевой части ВПС. Широкое развитие в Восточной зоне халцедоновидного кварца и антимонитовой минерализации указывают на низкотемпературные условия их образования.

Околорудные изменения пород наиболее часто представлены зонами березитизации, особенно обильными в Восточной рудоносной зоне. Процессы калишпатизации, серицитизации имеют незначительное распространение. Мощность зон метасоматически измененных пород колеблется от первых метров до 10–11 м. Образование околоруд-

ных метасоматитов предшествовало рудообразованию. Часто зоны березитизации пронизаны тонкими кварцевыми прожилками.

Зона окисления на месторождении развита незначительно. Окисленные руды наблюдаются до глубины 3–5 метров. Они представлены гидроокислами железа, малахитом, азуритом и ковеллином, замещающими первичные рудные минералы.

На месторождении выделяются следующие стадии минерализации: 1) дорудная кварц-турмалиновая, 2) раннесульфидная кварц-пирит-арсенопиритовая, 3) позднесульфидная халькопирит-пирротиновая, 4) позднесульфидная полиметаллическая (продуктивная), 5) кварц-карбонатная.

Девять рудных тел месторождения протяженностью 50–550 м имеют столбовое распределение полезных компонентов. Золото в рудных столбах распределено неравномерно, содержание его колеблется от первых г/т до сотен г/т (табл. 2). К числу характерных особенностей месторождения относится повышенная концентрация **As в золотоносных рудах**, достигающая 15% (см. табл. 2). Золото в рудах находится в самородной форме в тесной ассоциации с сульфидами, оно заполняет микротрещинки в рудных минералах. Выделения золота наблюдаются среди арсенопирита, пирита, халькопирита, пирротина, галенита. Размер золотинок колеблется от 0.005 до 1.0 мм. Средняя пробоность золота составляет 784.4%. **Корреляционный анализ** выявил относительно тесную связь золота с Ag ($r = 0.64$) и Sb ($r = 0.57$).

Минерализованные зоны отличаются по составу основных рудных минералов. В Западной рудной зоне наиболее распространенными рудными минералами являются (%): арсенопирит (80–90), пирротин (15), халькопирит (0.5–2); в Широкой зоне – арсенопирит (50), халькопирит (3–30), пирротин (30), висмутин (0.30); в Восточной – пирит (3–45), арсенопирит (1–30) буланжерит (15), галенит + сфалерит (2), антимонит (1–5), самородное серебро (0.1).

Образование золотого оруденения связывается с формированием интрузий шахтаминского комплекса, образующих совместно с эффузивами шадаронской серии кольцевую ВПС. Сравнительный анализ петрохимии интрузивных и эффузивных пород структуры позволяет предполагать единый источник их образования. Это подтверждается следующими фактами:

1. На вариационных диаграммах Харкера они образуют единые тренды. При этом большинство значений интрузий шахтаминского комплекса и эффузивов шадаронской серии соответствуют значениям высококальциевой известково-щелочной серии (см. рис. 2);

2. Распределение **Rb и Sr в интрузивных и эффузивных породах** указывает на образование их за счет мантийного источника (рис. 4).

Таблица 1. Содержание петрогенных компонентов (%), редких, рудных и редкоземельных элементов (г/т) в интрузивных и эффузивных образованиях Верхне-Алиинского золоторудного месторождения

Table 1. Petrogenic components (%), rare, ore and rare-earth elements (ppm) in the intrusive and effusive formations Verkhne-Aliinsky gold deposit.

| № проб | 676 | 676-1 | 681 | 673 | 673-1 | 674-1 | 674-3 | 675 | 688 | 692 | 684 | 684-1 | 685 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| SiO ₂ | 56.40 | 49.10 | 55.50 | 57.30 | 55.10 | 58.20 | 64.50 | 60.40 | 64.90 | 66.30 | 71.00 | 69.60 | 70.50 |
| TiO ₂ | 1.12 | 1.63 | 1.17 | 1.11 | 1.20 | 0.80 | 0.92 | 0.75 | 0.59 | 0.47 | 0.28 | 0.32 | 0.32 |
| Al ₂ O ₃ | 15.60 | 14.30 | 15.60 | 15.80 | 15.10 | 14.60 | 16.90 | 14.80 | 15.80 | 15.80 | 15.10 | 15.50 | 15.60 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.50 | 1.69 | 2.33 | 2.09 | 1.93 | 2.42 | 0.75 | 1.10 | 0.98 | 0.87 | 0.77 | 0.74 | 0.69 |
| FeO | 4.91 | 7.08 | 4.33 | 4.21 | 4.60 | 4.25 | 5.07 | 5.27 | 3.39 | 2.42 | 1.33 | 1.48 | 1.52 |
| MnO | 0.11 | 0.16 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.14 | 0.11 | 0.16 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| MgO | 4.82 | 8.46 | 4.75 | 4.10 | 5.00 | 5.96 | 1.96 | 5.96 | 3.25 | 2.67 | 0.57 | 0.89 | 0.80 |
| CaO | 6.11 | 9.80 | 6.22 | 5.33 | 6.88 | 5.41 | 2.11 | 3.48 | 2.47 | 0.92 | 0.92 | 1.02 | 1.02 |
| Na ₂ O | 4.13 | 3.21 | 3.94 | 4.30 | 3.93 | 3.50 | 2.37 | 4.09 | 4.04 | 4.58 | 4.54 | 4.86 | 4.75 |
| K ₂ O | 4.10 | 2.32 | 3.83 | 4.25 | 4.00 | 1.23 | 3.93 | 2.13 | 3.30 | 3.41 | 3.98 | 3.92 | 4.00 |
| P ₂ O ₅ | 0.64 | 1.09 | 0.79 | 0.64 | 0.71 | 0.31 | 0.22 | 0.25 | 0.25 | 0.20 | 0.17 | 0.17 | 0.16 |
| П.п.п. | 0.85 | 1.65 | 1.64 | 0.81 | 1.25 | 2.68 | 1.36 | 2.03 | 0.48 | 2.13 | 0.79 | 0.74 | 0.90 |
| ∑ | 100.29 | 100.49 | 100.22 | 100.06 | 99.82 | 99.50 | 100.20 | 100.42 | 99.51 | 99.84 | 99.49 | 99.28 | 100.30 |
| Zn | 50 | 124 | 59 | 130 | 240 | – | 43 | 149 | 67 | 67 | 79 | 52 | 35 |
| As | 54 | 61 | 1040 | 23 | – | 37 | 2930 | 82 | 120 | 110 | 400 | 220 | 105 |
| Pb | 37 | 30 | 40 | 38 | 53 | 29 | 170 | 55 | 36 | 39 | 27 | 36 | 10 |
| Rb | 135 | 70 | 100 | 140 | 110 | 125 | 250 | 164 | 92 | 85 | 127 | 110 | 109 |
| Sr | 1330 | 1850 | 1250 | 1200 | 1300 | 320 | 6 | 580 | 770 | 760 | 780 | 920 | 940 |
| Y | 16 | 28 | 12 | 17 | 19 | 8 | 5 | 18 | 9 | 8 | 5 | 6 | 7 |
| Zr | 380 | 150 | 290 | 390 | 380 | 300 | 160 | 340 | 180 | 150 | 160 | 145 | 150 |
| Nb | 18 | 13 | 13.7 | 22.7 | 13.6 | 11 | 7.3 | 12.2 | 6.8 | 6.1 | 12 | 6.4 | 7 |
| Sn | 3.6 | – | 2.4 | 3.7 | 2.7 | 3.3 | 68 | 2.5 | 1.3 | 1.6 | 1.8 | – | 1.8 |
| Sb | – | – | – | 5.2 | 3.6 | 3.8 | 33 | 2.8 | 4 | 3 | – | – | – |
| Ba | 1300 | 1530 | 1300 | 1200 | 1400 | 810 | 460 | 1020 | 820 | 850 | 800 | 1000 | 1030 |
| La | 94.5 | 86.0 | 92.8 | 108 | 99 | 28.6 | 51.0 | 25.2 | 40.6 | 28.4 | 27.7 | 28.3 | 29.0 |
| Ce | 206.0 | 203.0 | 203.0 | 226 | 217 | 64.2 | 112.0 | 55.2 | 82.8 | 60.1 | 66.2 | 71.6 | 74.0 |
| Pr | 22.0 | 23.9 | 22.7 | 25.8 | 23.8 | 7.35 | 12.7 | 5.9 | 9.5 | 6.7 | 6.3 | 6.8 | 7.0 |
| Nd | 82.1 | 96.3 | 82.7 | 89 | 89 | 29.25 | 46.9 | 24.7 | 34.2 | 26.1 | 21.5 | 22.3 | 22.8 |
| Sm | 14.6 | 18.7 | 15.0 | 16.1 | 16.2 | 5.8 | 8.55 | 4.7 | 6.15 | 5.1 | 3.94 | 4.2 | 4.2 |
| Eu | 2.91 | 3.88 | 3.03 | 3.0 | 3.2 | 1.24 | 1.96 | 1.07 | 1.36 | 1.15 | 0.84 | 1.01 | 1.03 |
| Gd | 8.6 | 10.8 | 8.4 | 9.5 | 9.7 | 3.6 | 5.75 | 2.9 | 3.8 | 3.25 | 2.15 | 2.4 | 2.45 |
| Tb | 1.3 | 1.4 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 0.59 | 0.84 | 0.40 | 0.56 | 0.50 | <0.5 | <0.5 | <0.5 |
| Dy | 5.3 | 6.4 | 5.0 | 5.7 | 5.6 | 2.65 | 4.3 | 2.2 | 2.6 | 2.2 | 1.7 | 1.5 | 1.6 |
| Ho | 0.97 | 1.1 | 0.89 | 1.1 | 1.03 | 0.51 | 0.85 | 0.41 | 0.54 | 0.44 | <0.5 | <0.5 | <0.5 |
| Er | 2.4 | 2.4 | 2.0 | 2.3 | 2.22 | 1.35 | 2.35 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 0.80 | 0.70 | 0.75 |
| Tm | 0.34 | 0.32 | 0.27 | 0.35 | 0.33 | <0.3 | 0.33 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | <0.3 | 0.3 |
| Yb | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 2.0 | 1.84 | 1.1 | 2.2 | 0.96 | 1.1 | 0.94 | 0.80 | 0.67 | 0.69 |
| Lu | 0.29 | 0.26 | 0.22 | 0.29 | 0.29 | 0.20 | 0.36 | 0.15 | 0.21 | 0.15 | 0.17 | <0.15 | <0.15 |
| Y | 26.3 | 30.1 | 22.6 | 28.6 | 27.1 | 12.9 | 23.3 | 12.1 | 13.3 | 11.3 | 9.0 | 8.1 | 8.1 |
| ∑TR | 464.4 | 484.4 | 461.4 | 519.0 | 497.6 | 159.3 | 276.4 | 137.0 | 198.0 | 147.4 | 141.1 | 147.6 | 151.9 |
| (La/Yb) _n | 36.38 | 33.41 | 37.68 | 37.36 | 37.42 | 26.00 | 16.14 | 18.36 | 25.49 | 21.07 | 24.06 | 29.62 | 28.88 |
| Eu/Eu* | 0.79 | 0.83 | 0.82 | 0.76 | 0.78 | 0.83 | 0.85 | 0.88 | 0.86 | 0.86 | 0.88 | 0.97 | 0.98 |
| Eu/Sm | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.24 | 0.24 |

Примечание. Шахтаминский комплекс: 676, 676-1 – габброиды; 681, 673, 673-1 – монзониты; 688, 692 – лампрофиры; 684, 684-1, 685 – граниты. Шадаронская серия: 674-1, 674-3 – андезиты; 675 – дацит. ∑TR – сумма РЗЭ. Прочерк – содержания ниже порога чувствительности анализа. Анализы выполнены в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ).

Note. Shakhtaminskiy complex: 676, 676-1 – gabbroids; 681, 673, 673-1 – monzonites; 688, 692 – lamprophyres; 684, 684-1, 685 – granites. Shadaronskaya series: 674-1, 674-3 – andesites; 675 – dacites. ∑TR – sum of REE. The dash – content below of sensitivity analysis. The analyses fulfilled in analytical laboratories of the Geological Institute SB RAS (Ulan-Ude).

Таблица 2. Содержание элементов в кварц-пирит-арсенопиритовых рудах Верхне-Алиинского золоторудного месторождения, г/т (As в %)

Table 2. The contents of the elements in quartz-pyrite-arsenopyrite ores Verhne-Aliinskoe gold deposits, g/t (As – %)

| № проб | Au | Cu | Zn | As | Pb | Bi | Sn | Sb | Zr | Nb | Ba |
|--------|--------|-------|------|-----|------|------|----|-------|-----|------|----|
| 674 | 64.8 | 1000 | <200 | ≈13 | 4000 | 2000 | 29 | 560 | 50 | 21.7 | – |
| 679 | 0.17 | 400 | 70 | ≈12 | 430 | <50 | 10 | 110 | 31 | 10.7 | 16 |
| 680-1 | 2.53 | 900 | 100 | ≈12 | 3800 | 3000 | 30 | 210 | 106 | 25 | 72 |
| 680-2 | 3.21 | 3500 | 200 | ≈15 | 1500 | 2500 | 15 | 105 | 55 | 9.3 | 6 |
| 680-3 | 136.6 | 11000 | – | ≈15 | 2000 | 8000 | 59 | 174.4 | 10 | 2 | 10 |
| 681-2 | 0.01 | 10000 | – | ≈13 | 1500 | 6000 | 48 | 270 | 26 | 14 | 24 |
| 681-3 | 76.08 | 8000 | – | ≈13 | 1500 | 7000 | 50 | 390 | 70 | 15 | 61 |
| 681-4 | 38.4 | 10000 | – | ≈13 | 1500 | 8000 | 52 | 410 | 50 | 16 | 22 |
| 682 | 2.67 | 7400 | – | ≈12 | 1200 | 1000 | 67 | 100 | 60 | 18 | 6 |
| 689 | 201.32 | 4000 | – | ≈12 | 4000 | 6000 | 56 | 1030 | 8 | 9 | 4 |
| 689-1 | 458.48 | 8000 | – | ≈13 | 4000 | 7000 | 49 | 520 | 37 | 10 | 11 |

Примечание. Содержание золота определялось атомно-абсорбционным методом в аналитических лабораториях ЗабНИИ (г. Чита) и ЛИЦИМС (г. Чита), остальные элементы определены рентгенфлуоресцентным методом в аналитической лаборатории Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ; прочерк – содержания ниже чувствительности анализа, ≈ – ориентировочные содержания элементов.

Note. The gold content was determined by atomic absorption method in analytical laboratories, Transbaikalian scientific research institute (Chita) and Laboratory research center of mineral raw materials (Chita), other elements determined rentgenflyourescent method in the analytical laboratories of the Geological Institute SB RAS, (Ulan-Ude); dash – content of below sensitivity analysis, ≈ – the approximated content of elements.

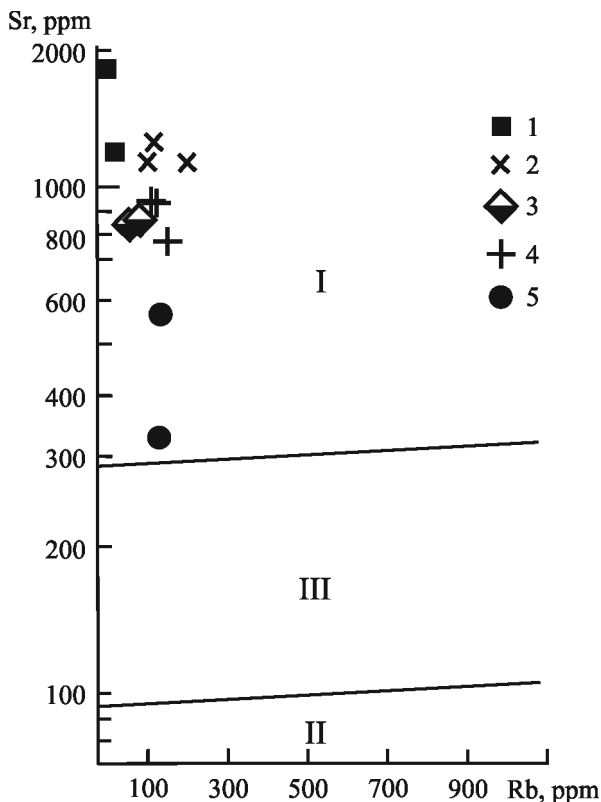


Рис. 4. Соотношения Rb и Sr в интрузивных и эффузивных образованиях Верхне-Алиинского месторождения.

Поля составов на диаграмме: I – мантийного источника, II – корового источника, III – смешанного мантийно-корового источника по [11]. Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 4. The ratio of Rb and Sr in the intrusive and effusive formations of the Verkh-Aliinskii deposits.

The fields in the diagram: I – mantle source, II – crustal source, III – mixed mantle-crustal source [11]. The legend see Fig. 2.

3. По значениям отношения Eu/Eu^* породы шахтаминского комплекса и шадаронской серии характеризуются незначительными степенями дифференциации магматических расплавов (Eu/Eu^* – от 0.76 до 0.98) (рис. 5). Они функционировали на глубинах, соответствующих нижней континентальной коре (Eu/Sm – 0.20–0.24) [6, 7].

4. Характерно, что магматические очаги гранит-порфиров шахтаминского комплекса по степени дифференциации подобны породам основного состава, что указывает на образование их за счет мантийного источника. Магматические очаги кварцево-сульфидных руд были в значительной степени дифференцированы (Eu/Eu^* – от 0.29 до 0.32) и функционировали на глубинах соответствующих верхней континентальной коре (Eu/Sm – 0.09–0.14) (табл. 3).

5. Анализ распределения редкоземельных элементов в интрузивных и эффузивных образованиях свидетельствует об отсутствии европиевых минимумов, что указывает на слабую дифференциацию магматических расплавов. При этом в ряду габброиды–монзониты–гранодиориты–граниты в процессе кристаллизационной дифференциации происходило уменьшение суммы концентраций редкоземельных элементов (см. рис. 5).

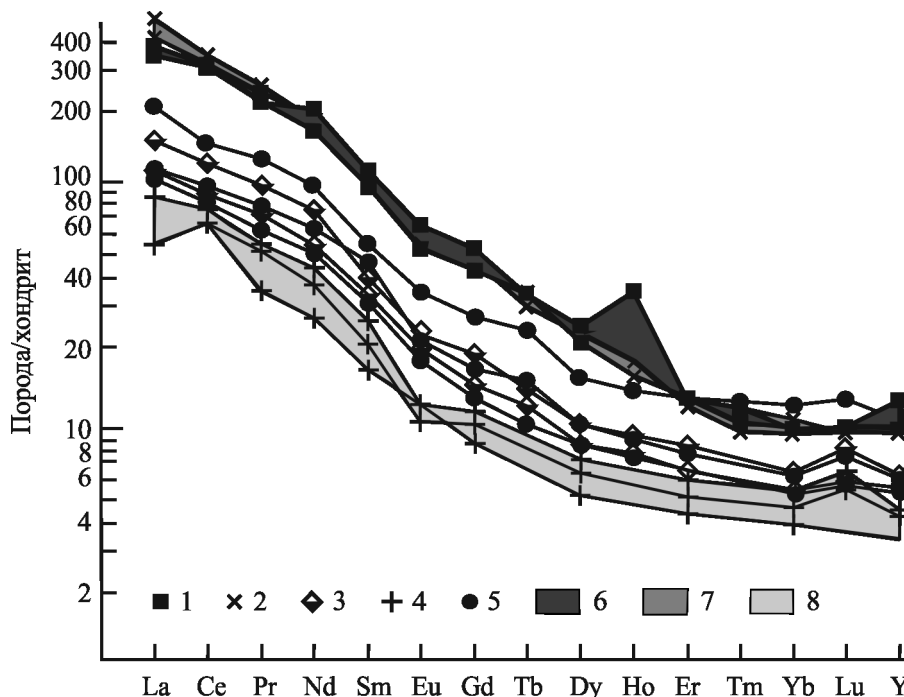


Рис. 5. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в интрузиях шахтаминского комплекса и эффузивах шадаронской серии Верхне-Алиинского месторождения.

1 – габброиды, 2 – монзониты, 3 – лампрофиры, 4 – гранитоиды, 5 – андезиты, дациты; поля значений: 6 – габброидов, 7 – монзонитов, 8 – гранитоидов.

Fig. 5. The spider-chart distribution of rare earth elements in the intrusions of Shaktaminskii complex and effusives Shadaronskaja series Verkhne-Aliiinskoe field.

1 – gabbro, 2 – monzonites, 3 – lamprophyres, 4 – granitoids, 5 – andesites, dacites; value field: 6 – gabbro, 7 – monzonites, 8 – granitoids.

Таблица 3. Содержание редкоземельных элементов в кварц-пирит-арсенопиритовых рудах Верхне-Алиинского золоторудного месторождения, г/т

Table 3. The contents of rare earth elements in quartz-pyrite-arsenopyrite ores Verhne-Aliiinskoe gold deposit, ppm

| Элементы | Номера проб | | | |
|----------|-------------|--------|-------|--------|
| | 681-2 | 681-4 | 689 | 689-1 |
| La | 16.5 | 25.7 | 6.0 | 10.0 |
| Ce | 31.8 | 45.9 | 11.7 | 21.3 |
| Pr | 3.3 | 5.0 | <2 | 2.2 |
| Nd | 13.0 | 18.7 | 4.35 | 8.8 |
| Sm | 2.4 | 2.4 | 0.88 | 2.0 |
| Eu | 0.23 | 0.26 | 0.09 | 0.28 |
| Gd | 2.3 | 1.85 | <1 | 4.1 |
| Tb | <2 | <2 | <2 | 1.0 |
| Dy | 1.55 | <1 | <1 | 7.0 |
| Ho | <0.5 | <0.5 | <0.5 | 1.5 |
| Er | 0.88 | <0.5 | <0.5 | 4.5 |
| Tm | <0.3 | <0.3 | <0.3 | 0.6 |
| Yb | 0.69 | 0.15 | 0.21 | 3.8 |
| Lu | <0.15 | <0.15 | <0.15 | 0.60 |
| Y | 8.8 | 2.4 | 2.6 | 51.0 |
| ∑PЗЭ | 81.45 | 103.26 | 25.83 | 118.98 |
| Eu/Sm | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.14 |
| Eu/Eu* | 0.30 | 0.32 | – | 0.29 |

Примечание. Анализы выполнены ICP-AES методом (атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) в Аналитическом центре Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ).

Note. The analyses are performed ICP-AES method (atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma) in the Analytical center of Geological Institute SB RAS (Ulan-Ude).

В образовании рудоносных флюидов существенную роль играли процессы мантийно-корового взаимодействия. На это указывают высокие содержания в породах и рудах – **As, Pb, Bi**, что определяет проявление в рудах арсенопирита, галенита, вимутина (см. табл. 1, 2). Образование даек лампрофиров, также происходило в результате мантийно-корового взаимодействия.

Таким образом, формирование золотого оруденения Верхне-Алиинского месторождения тесно связано с процессами образования кольцевой вулcano-плутонической структуры. Центральные части кольцевой ВПС сложены гранит-порфирами шахтаминского комплекса (J_{2-3}), периферийные – вулканогенно-осадочными отложениями шадаронской серии (J_{2-3}). В распределении золотого оруденения отмечается латеральная зональность. Наиболее высокотемпературные рудные ассоциации (Западная и Широтная минерализованные зоны) расположены в центральной части кольцевой ВПС, более низкотемпературные (Восточная минерализованная зона) – в периферийной части ВПС. Геохимические особенности пород Мунгинской ВПС указывают на образование их в результате кристаллизационной дифференциации за счет мантийного источника. Формирование рудоносных флюидов происходило вследствие процессов мантийно-корового взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Б.Н. (2012) Условия формирования, минералогическо-геохимические особенности пород и руд Средне-Голготайского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Изв. вузов. Геология и разведка*. (3), 79-82.
2. Абрамов Б.Н. (2014) Условия образования, петрохимические и геохимические особенности пород и руд Дельмачикского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье). *Литосфера*. (3), 93-101.
3. 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.
4. Балейское рудное поле. (1984) (Ред. Н.П. Лаверов). М.: ЦНИГРИ, 271 с.
5. Бородаевская М.Б. (1956) Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послевулканогенного возраста в одном из районов Восточного Забайкалья. *Изв. АН СССР. Сер. Геол.* (6), 70-91.
6. Винокуров С.Ф. (1996) Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение. *Докл. АН*. **346** (6), 792-795.
7. Интерпретация геохимических данных. (2001) (Под ред. Е.В. Складорова). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
8. Когарко. Л.Н. (2008) Особенности дифференциации щелочных магм островов Зеленого Мыса. *Геохимия*. (11), 1139-1148.
9. Криволуцкая Н.А. (1997) Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология руд. месторождений*. (4), 344-361.
10. Плюсин Г.С., Спиридонов А.М., Литвинцев К.А. и др. (1988) **Rb-Sr – возраст щелочных гранитов Карийского рудного узла** (Восточное Забайкалье). *Докл. АН СССР*. **307**(4), 967-971.
11. Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д., Коваленкер В.А., Акинфиев Н.Н., Бакшеев И.А., Краснов А.Н., Юргенсон Г.А., Трубкин Н.В. (2007) Состав, условия формирования руд и генезис месторождения золота Талатуй (Восточное Забайкалье, Россия). *Геология руд. месторождений*. **49**(1), 37-76.
12. Руб М.Г., Гладков Н.Г., Павлов В.А., Руб А.К., Тронева Н.В. (1983) Щелочные элементы и стронций в рудоносных (Sn, W, Ta) дифференцированных магматических ассоциациях. *Докл. АН СССР*. **268**(6), 1463-1466.
13. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО. 2006, 291 с.
14. Тимофеевский Д.А. (1972) Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона. М.: Недра, 260 с.

Verkhne-Aliinsky gold deposit: Conditions of formation, petrogeochemical features of rocks and ores (Munginsk ore cluster, Eastern Transbaikalia)

B. N. Abramov

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

The formation of Verkhne-Aliinsky gold deposit is associated with formation of annular volcano-plutonic structure (VPS), which central parts consists of granite-porphyrines Shakhtamin complex (J_{2-3}) and peripheral parts constructs by effusive rocks of Shadaron series (J_{2-3}). High-temperature ore mineral associations developed in the central part of VPS, and low-temperature – in the peripheral part. Petrochemical data of rocks from VPS indicates to their forming in consequence of crystallization differentiate from the mantle source. The formation of ore-bearing fluid took place owing to processes of mantle-crustal interaction.

Key words: *Verkhne-Aliinsky deposit, volcano-plutonic structure, gold.*

REFERENCES

1. Abramov B.N. (2012) Conditions of formations, mineralogy-geochemical features of rocks and ores of Sredne-Golgotaisk gold ore deposit (East Transbaikalia). *Izv. Vuzov. Ser. Geologija i Razvedka.* (3), 79-82.
2. Abramov B.N. (2014) Conditions of formation, petrochemical and geochemical features of rocks and ores of Delmachik gold deposit (East Transbaikalia). *Lithosphere.* (3), 93-101.
3. Abramov B.N., Mansurov D.V. (2011) Petrochemical and geochemical characteristics of intrusive rocks and explosive breccias Ilinski gold deposit (Eastern Transbaikalia). *Rudy i metally.* (6), 52-57.
4. *Baleiskoe rudnoe pole.* (1984) [Baleyskoe ore field]. Moscow: TSNIGRI Publ., 271 p. (In Russian)
5. Borodaevskaya M.B. (1956) Some petrogenesis features of formation of after-Upper Jurassic small intrusions in one of East Transbaikalia districts. *Izv. Akad. Nauk. SSSR. Ser. Geol.* (6), 70-91. (In Russian)
6. Vinokurov S.F. (1996) Europium anomalies in the ore deposits and their geochemical value. *Dokl. Akad. Nauk.* **346**(6), 792-795. (In Russian)
7. *Interpretatsija geokhimicheskikh dannykh: Uchebnoe posobie.* (2001) (Ed. E.V. Skljarov). [The interpretation of geochemical data. Textbook]. (Ed. E.V. Skljarov). Moscow: Intermet Engineering. Publ., 288 p. (In Russian)
8. Kogarko. L.N. (2008) Features of the differentiation of alkaline magmas of the Cape Verde Islands *Geochem. Int.* (11), 1139-1148.
9. Krivolutskaya N.A. (1997) Paragenetic associations of minerals and the conditions of formation Klyuchevskoe ore gold deposits (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.* (4), 344-361.
10. Plyusnin G.S., Spiridonov A.M., Litvintsev K.A. et al. (1988) Rb-Sr age alkali granites Cari ore cluster (East Transbaikalia). *Dokl. Akad. Nauk USSR.* **307**(4), 967-971.
11. Prokof'ev V.Yu, Zorina L.D., Kovalenker V.A., Akinfiyev N.N., Baksheev I.A., Krasnov A.N., Yurgenson G.A., Trubkin N.V. (2007) Composition, conditions of ores formation and genesis Talatui gold deposit (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.* **49**(1), 37-76.
12. Rub M.G., Gladkov N.G., Pavlov V.A., Rub A.K., Tro-neva N.V. (1983) Alkaline elements and strontium in ore-bearing (Sn, W, Ta) differentiated magmatic associations. *Dokl. Akad. Nauk.* **268**(6), 1463-1466. (In Russian)
13. Spiridonov A.M., Zorina L.D., Kitaev N.A. (2006) *Zolotonosnye rudno-magmaticheskie sistemy Zabai-kal'ja* [Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbai-kalia]. Novosibirsk: GEO Publ., 291 p (In Russian)
14. Timofeevskiy D.A. (1972) *Geologija i mineragenija Darasunskogo zolotorudnogo Regiona* [Geology and metallogeny of the gold Darasunskiy region]. Moscow: Nedra, Publ., 260 p. (In Russian)