

**В. В. Мурзин<sup>1</sup>, Д. А. Варламов<sup>2</sup>, Г. А. Пальянова<sup>3,4</sup>, Т. В. Журавкова<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup> – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

*murzin@igg.uran.ru*

<sup>2</sup> – *Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка*

<sup>3</sup> – *Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск*

<sup>4</sup> – *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

### **Золотоносные родингиты в Агардагском массиве гипербазитов (Южная Тува)**

Родингиты – широко распространенные метасоматические породы в массивах гипербазитов, однако те из них, которые несут золотую минерализацию, чрезвычайно редки. Небольшие проявления родингитов и месторождения золота в них известны в России (Южный Урал, Саяны, Корякское нагорье) и Канаде (Британская Колумбия) [Мурзин и др., 2006]. Объектом данного исследования явилось проявление медистого и серебристого золота в родингитах Агардагского массива офиолитовых гипербазитов, открытое в 1984 г. В. И. Кудрявцевым и К. С. Кужугетом [Кудрявцев, Кудрявцева, 2003]. Специфическая черта исследованных родингитов – проявление в них регрессивной щелочной ветви родингитизации, а также приконтактной амфиболизации (нефритизации) вмещающих серпентинитов. Цель исследования – выявить минералогические особенности родингитов, физико-химические условия отложения в них золота и источник родингитизирующего флюида. Образцы для исследований и фондовые материалы представлены одним из первооткрывателей проявления – В. И. Кудрявцевым (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл), а также В. В. Зайковым (ИМин УрО РАН, г. Миасс).

Агардагский массив входит в состав Южно-Тувинского офиолитового пояса, разделяющего области докембрийской складчатости нагорья Сангилен и салаирских структур Центральной Тувы. Он вытянут в СВ направлении на 17.5 км и представляет собой сложно построенное линзовидное тело, круто падающее на северо-запад. Массив прорывает нижнекембрийские вулканогенно-осадочные породы и, в свою очередь, прорывается мелкими дайко- и линзообразными телами габбро, габбро-диабазов, диабазовых порфиритов, а также небольшими интрузиями плагиогранитов и гранодиоритов (D<sub>1-2</sub>). В ультраосновных породах выявлено большое количество проявлений хромитов, с которыми связывается платинометальное оруденение (рис.). Первичные породы массива, преимущественно дуниты и гарцбургиты, превращены в антигоритовые и, в меньшей степени, лизардитовые и хризотилитовые серпентиниты. В эндоконтактных частях массива, а также внутри него в тектонических зонах широко развиты тела лиственитов, сложенных брейнеритом, тальком, кварцем и фукситом. Ранее установлены три генетические группы родингитов: апогабброидные, апопироксенитовые и апогипербазитовые [Ойдуп, Кужугет, 1989]. Родингиты, сложенные клиноцоизитом, эпидотом, тремолит-актинолитом и альбитом, выделены в отдельную группу [Секерин, 1982]. Для них характерны приуроченность к тектоническим зонам, наличие ореольной антигоритизации и приконтактной амфиболизации, ассоциация с телами нефритов.

Агардагское проявление золота расположено на стыке двух наиболее крупных тектонических блоков, на которые разбит массив в восточной его части. Золотоносные родингиты приурочены к субширотной зоне дробления серпентинитов. В 150–200 м к

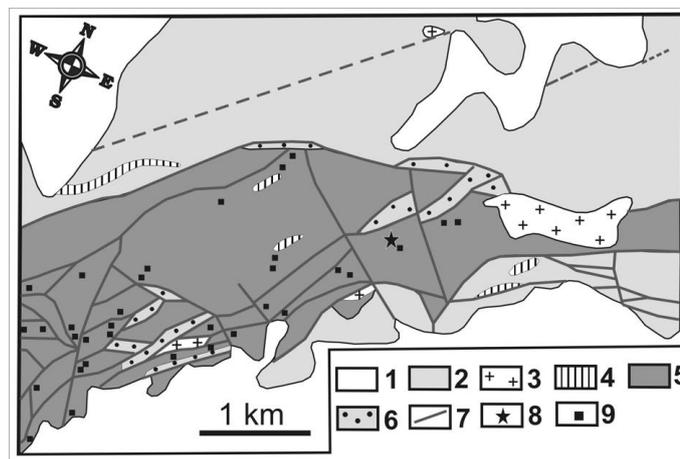


Рис. Схема геологического строения северо-восточной части Агардагского гипербазитового массива (на основе геологической карты В. И.Кудрявцева, 1980ф).

1 – четвертичные отложения; 2 – метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы (сланцы, песчаники, алевролиты, известняки, сланцы, порфириды кускунугской свиты, V–C<sub>1</sub>); 3 – граниты, плагиограниты, гранодиориты Сютхольского комплекса (D<sub>1-2</sub>); 4 – габбро, габбро-долериты, долеритовые порфириды Танноульского комплекса (C<sub>2-3</sub>); 5 – дуниты, перидотиты и серпентиниты по ним Актотракского комплекса (R<sub>3</sub>); 6 – листовениты; 7 – разломы; 8 – Агардагское проявление золота; 9 – проявления хромититов.

северу от проявления находятся крупные тела листовенитов. В пределах и вблизи зоны дробления развиты небольшие тела габбро-диоритов и апогаббровых альбититов. На контакте родингита и вмещающего антигоритового серпентинита развита зона нефритоида, представленного темно-зеленым сланцеватым тонкозернистым агрегатом амфиболов. Акцессорные минералы родингита и нефритоида – хромшпинелид, гранаты, титанит, апатит, халькозин, маухерит, самородное золото, циркон и др.

Золотоносные родингиты представлены агрегатом светло-зеленых кристаллов клинопироксена, сцементированных альбитом. Альбит присутствует в породе также в виде тонких прожилков и линз. По химическому составу клинопироксен отвечает Na-содержащему диопсиду-геденбергиту (до 2.9 мас. % Na<sub>2</sub>O). Как правило, диопсидовой компонентой обогащена центральная часть кристаллов (до 0.86 ф.е. Mg), а геденбергитовой (до 0.65 ф.е. Fe) – краевая. Содержание других примесей, обычных для клинопироксена, не превышают (мас. %) 1.1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.6 TiO<sub>2</sub> и 2 MnO. Содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обычно менее 0.2 мас. %, однако в некоторых образцах оно существенно выше – до 5.05 мас.%. Амфибол нефритоида представлен Na-содержащим актинолитом (до 0.27 ф.е. Na). Порода сильно деформирована и обладает сланцеватой текстурой. На контакте с родингитом нефритоид сложен слоями амфибола, перемежающимися с линзочками альбита.

В изученных породах, таким образом, присутствуют две генерации альбита. Ранняя генерация характеризуется равновесными взаимоотношениями с клинопироксеном. Для него характерно волнистое угасание и зазубренные края зерен. Поздний альбит выполняет систему тонких прожилков и линзочек в родингите или нефритоиде. Его агрегаты имеют параллельно-шестоватое строение, а отдельные зерна часто сдвойникованы. Химический состав альбита ранней и поздней генераций практически не отличается.

Хромшпинелид в родингите и нефритоиде является реликтовым минералом. Кроме того, в альбите родингита обнаружены редкие мелкие кристаллики (до 50 мкм) новообразованного Zn-хроммагнетита (до 5.7 мас. % ZnO). Состав реликтового хромшпинелида по соотношению Cr/(Cr+Al) и  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$  отвечает акцессорному хромшпинелиду дунитов. Зерна его раздроблены и замещаются более железистыми фазами, содержащими до 5.4 мас. % ZnO, а также титансодержащим (до 2.7 мас. % TiO<sub>2</sub>) гранатом уграндитового типа, зачастую зональным и обладающим широким спектром составов от уваровита до грассуляра.

Частицы самородного золота размерами до 3 мм рассеяны в родингите и нефритоиде, часто срastaются с халькозином, иногда с маухеритом. Они сложены орторомбическим (рождовит) и тетрагональным (тетрааурикуприд) AuCu, редко аурикупридом AuCu<sub>3</sub>. Зафиксированы также частицы серебристого ртутисодержащего электрума (пробность 468–614, до 1.6 мас. % Hg), иногда также обрастающего частицы медистого золота. Более детальное описание химического состава самородного золота и рудных минералов можно найти в статье [Мурзин и др., 1987].

Представляется, что отложение продуктивной минерализации началось с формирования альбит-пироксенового родингита и нефритоида с рассеянными в них мелкими частицами медистого золота, ассоциирующего с маухеритом. Последующие внутрирудные тектонические деформации, проявившиеся на контакте родингита и нефритоида, привели к формированию сети тонких трещин скалывания, выполненных альбитом поздней генерации. С этим альбитом ассоциируют наиболее крупные выделения халькозина, медистого и серебристого золота. Отложение медистого золота началось при температуре не ниже 410 °С, которая фиксирует фазовый переход орторомбической модификации AuCu в тетрагональную. По данным определения температур гомогенизации флюидных включений поздний альбит образовался при температуре не менее 200–250 °С.

Газовохроматографический анализ флюидных включений в минералах показал, что все члены зональной колонки (антигоритовый серпентинит – нефритоид – альбит-пироксеновый родингит) сформированы из существенно водного флюида с близкими и относительно невысокими уровнями углекислотности ( $X_{CO_2} = 0.017–0.025$ ). При образовании родингита и нефритоида флюид был более обогащен восстановленными газами ( $X_{H_2} 0.049–0.073$ ,  $X_{CO} 0.006–0.014$ ,  $X_{CH_4} 0.002–0.005$ ), чем при антигоритовой серпентинизации ( $X_{H_2} 0.001$ ,  $X_{CO} 0.004$ ,  $X_{CH_4} < 0.001$ ). Степень окисленности газовых компонентов флюида ( $CO_2/CO_2 + \sum \text{восст. газов}$ ) увеличивается в ряду родингит (0.189) – нефритоид (0.299) – антигоритовый серпентинит (0.738).

Изотопный состав кислорода, водорода и серы для минералов серпентинита, родингитов и нефритоида (пироксен, альбит, амфибол, серпентин, халькозин) составил соответственно:  $\delta^{18}O = 6...10.4 \text{ ‰}$  ( $n = 4$ ),  $\delta D = -67.6...-78.5 \text{ ‰}$  ( $n = 2$ ),  $\delta^{34}S = 8.4 \text{ ‰}$  ( $n = 1$ ). Изотопный состав родингитизирующего флюида, рассчитанный для 400–500 °С, составил  $\delta^{18}O_{\text{фл}} = 8...9.9 \text{ ‰}$  и  $\delta D_{\text{фл}} = -39...-46 \text{ ‰}$ . Его изотопные характеристики отвечают метаморфогенному флюиду, равновесному с магматическими породами при незначительном участии изотопно тяжелого кислорода, прошедшего осадочный цикл.

Проведенное исследование пока не дало полные ответы на все вопросы, связанные с происхождением родингита и источником Na и рудных компонентов, в том числе золота. Тем не менее, установлено, что согласно температурному режиму (500–200 °С), низкой доле углекислоты во флюиде и восстановительному характеру флюида изученные родингиты и нефритоиды соответствуют условиям формирования типичных аподайковых биметасоматических родингитов [Плюснина и др., 1993].

В аподайковых родингитах появление Na связывается с его высвобождением при замещении плагиоклаза исходных пород среднего-основного состава, однако обычно зоны Na-метасоматоза пространственно разобщены с родингитами [Леснов и др., 1976; Плюснина и др., 1993].

В изученном проявлении Агардагского массива устанавливается синхронность отложения золота с образованием как ранних, так и поздних парагенезисов родингитов и нефритоида. Субстратом при формировании нефритоида и, возможно, родингита был серпентинит, о чем свидетельствует присутствие в них реликтового хромшпинелида. Микропрожилки позднего альбита с наиболее крупными выделениями золота и халькозина образовались путем выполнения открытых трещин.

*Исследование осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 16-05-00407 и 16-35-00241).*

#### Литература

*Кудрявцева А. И., Кудрявцев В. И.* Проявление медистого и серебристого золота в благороднометальном оруденении Южно-Тувинского гипербазитового пояса // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. С. 45–48.

*Леснов Ф. П., Агафонов Л. В., Кузнецова И. К.* Щелочной амфибол группы кросит-родусит из альбититов Южно-Шмидтовского гипербазитового массива // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Том X. Труды ИГГ СО АН СССР. Вып. 305. Новосибирск: Наука, 1976. С. 85–92.

*Мурзин В. В., Кудрявцев В. И., Берзон Р. О., Сустанов С. Г.* Медистое золото в зонах родингитизации // Геология рудных месторождений. 1987. № 5. С. 96–99.

*Мурзин В. В., Сазонов В. Н., Варламов Д. А., Шанина С. Н.* Золотое оруденение в родингитах массивов альпинотипных гипербазитов // Литосфера. 2006. № 1. С. 113–134.

*Ойдуп Ч. К., Кужугет К. С.* О генезисе родингитов Агардагского гипербазитового массива // Гипербазитовые ассоциации складчатых областей. Вып. 5. Петрохимия, минералогия, геохимия. Новосибирск: ИГГ СО АН СССР, 1989. С. 100–111.

*Плюснина Л. П., Лихойдов Г. Г., Зарайский Г. П.* Физико-химические условия формирования родингитов по экспериментальным данным // Петрология. 1993. Т. 1. № 5. С. 557–568.

*Секерин А. П.* Петрология родингитов Саяно-Байкальской горной области // Доклады АН СССР. 1982. Т. 262. № 1. С. 175–177.

**В. В. Меркулов**

*Сибирский научно-исследовательский институт геологии,  
геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), г. Новосибирск  
pebstit05@mail.ru*

#### **Структурно-геохимические особенности строения западной части Деспенского медно-железо-золоторудного района (Республика Тыва) (научный руководитель А. И. Черных)**

Деспенский медно-железо-золоторудный район расположен в южной части Республики Тыва на границе с Монголией и приурочен к хребту Восточный Танну-Ола. На его территории установлены золоторудная кварцевая, магнетитовая скарновая, медно-скарновая, медно-порфировая, медно-эпидотовая, молибден-порфировая и кол-