



ALKALINE VEIN ROCKS OF THE KARA ORE NODE: THE COMPOSITION OF ORE-FORMING SOLUTIONS AND CONDITIONS OF THEIR FORMATION (BASED ON THE STUDY OF FLUID INCLUSIONS)

M. G. Volkova¹, A. M. Spiridonov¹, A. A. Borovikov²,
N. V. Bryansky¹, E. A. Savina¹

¹A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

²V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract: The Kara ore node is located within the Sretensk-Kara ore region of East Transbaikalia. The geological structure of this area is complex due to its location within the Mongol-Okhotsk suture, the zone wherein the Siberian and Mongolia-China continents collided into each other at the turn of the Early and Middle Jurassic. During the plate collision, intense magmatism was accompanied by the formation of focal-dome, dome-ring and other structures. The Kara ore node is controlled by the Ust-Kara focal dome-ring structure. The central part of latter is composed of Kara-Chacha granitoids from the Amudzhikan-Sretensk intrusive complex (J₃-K₁) with the system of subvolcanic and vein formations, including grorudites. It is suggested that gold mineralization in the study area is genetically related to grorudites; however, physical and chemical conditions for the formation of these alkaline rocks, their genesis and role in the hydrothermal gold-ore process still have not been sufficiently investigated. To this end, the authors of this paper have studied fluid inclusions (FI) in quartz from these rocks. It has been found that quartz porphyry phenocrysts in grorudite contain FI of diverse forms, the size of which ranges from 5 to 48 microns. Measured temperatures of ice melting (–2.5°C) and complete homogenization into liquid (350 °C) show that the concentration of salts in the fluid amounts to 4.2 wt % of eq. NaCl, its density is 0.64 g/cm³, and the pressure is 1.6 kb. At LA-ICP-MS of individual FI, clear analytical signals were derived from Na and K. As, Mo, Sb, Cs, W, and Hg were traced in significant quantities. The Raman scanning showed the presence of N₂ in the primary (substantially gaseous) FI, and CO₂, N₂, and CH₄ in the primary-secondary FI.

Key words: Kara ore node; grorudites; gold mineralization; fluid inclusions; Raman scanning

Recommended by D.P. Gladkochub

For citation: Volkova M.G., Spiridonov A.M., Borovikov A.A., Bryansky N.V., Savina E.A. 2016. Alkaline vein rocks of the Kara ore node: the composition of ore-forming solutions and conditions of their formation (based on the study of fluid inclusions). *Geodynamics & Tectonophysics* 7 (4), 679–690. doi:10.5800/GT-2016-7-4-0228.

Для цитирования: Волкова М.Г., Спиридонов А.М., Боровиков А.А., Брянский Н.В., Савина Е.А. Щелочные жильные породы Карийского рудного узла: состав рудообразующих растворов и условия образования (по результатам изучения флюидных включений) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2016. Т. 7. № 4. С. 679–690. doi:10.5800/GT-2016-7-4-0228.

ЩЕЛОЧНЫЕ ЖИЛЬНЫЕ ПОРОДЫ КАРИЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА: СОСТАВ РУДООБРАЗУЮЩИХ РАСТВОРОВ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ)

М. Г. Волкова¹, А. М. Спиридонов¹, А. А. Боровиков²,
Н. В. Брянский¹, Е. А. Савина¹

¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация: Карийский рудный узел находится в пределах Сретенско-Карийского рудного района Восточного Забайкалья. Сложность геологического строения района определяется его расположением в пределах Монголо-Охотского сутурного шва, зоны коллизии Сибирского и Монголо-Китайского континентов, произошедшей на рубеже ранней и средней юры. Обстановка столкновения плит привела к интенсивным проявлениям коллизионного магматизма, сопровождавшимся образованием очагово-купольных, купольно-кольцевых и других структур. Карийский рудный узел контролируется Усть-Карской очаговой купольно-кольцевой структурой, центральная часть которой сложена Кара-Чачинским массивом гранитоидов амуджикано-сретенского интрузивного комплекса (J₃-K₁) с системой субвулканических и жильных образований, в том числе грорудитов. С грорудитами генетически связывают формирование здесь золоторудной минерализации. Однако физико-химические условия образования этих щелочных пород, их генезис и роль в гидротермальном золоторудном процессе до сих пор исследованы недостаточно. С этой целью авторами статьи были изучены флюидные включения (ФВ) в кварце этих пород. Установлено, что порфиновые вкрапленники кварца в грорудитах содержат ФВ разнообразной формы, в поперечнике составляющие 5–48 мкм. Были измерены температуры плавления льда (–2.5 °С) и полной гомогенизации в жидкость (350 °С), по которым определено, что концентрация солей во флюиде соответствует 4.2 мас. % экв. NaCl, его плотность составляет 0.64 г/см³, давление – 1.6 кбар. При LA-ICP-MS индивидуальных ФВ четкие аналитические сигналы получены от Na и K, в значимых количествах прослеживаются As, Mo, Sb, Cs, W, Hg. Рамановское сканирование показало присутствие N₂ в существенно газовых первичных и CO₂, N₂, CH₄ – в первично-вторичных ФВ.

Ключевые слова: Карийский рудный узел; грорудиты; золоторудная минерализация; флюидные включения; Рамановское сканирование

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессе изучения истории геологического развития золотоносного Карийского рудного узла большое внимание было уделено широко распространенным на данной площади магматическим горным породам, разнообразным по времени образования, а также по минеральному и химическому составу. При этом особое место в процессе исследований отводилось телам весьма специфических жильных щелочных пород, получившим название «грорудиты». Всестороннее изучение этих пород, в том числе и авторами настоящей статьи [Polokhov et al., 1977; Plyusnin et al., 1989; Prokofiev et al., 1992; Spiridonov, Zorina, 2006], позволило сделать вывод о их интрузивном происхождении и генетической связи именно с ними продуктивного золотого оруденения позднеюрского рудного этапа. Тем не менее вопросы генезиса, физико-химических условий образования и роли грорудитов в гидротермаль-

ном рудном процессе до сих пор остаются дискуссионными, а значит недостаточно проработанными, и требуют постоянного пристального изучения с применением актуальных современных методик.

Для исследований были взяты грорудиты, находящиеся в тесной ассоциации с наиболее золотоносными рудами кварц-актинолит-магнетитовой стадии [Spiridonov, Zorina, 2006].

Проведенное авторами детальное исследование флюидных включений (ФВ) в кварце грорудитов позволило не только реконструировать условия формирования этих пород, но также определить состав рудообразующего флюида. При этом использовался как традиционный микрокриотермометрический метод, так и метод масс-спектрометрии индукционно-связанной плазмы с лазерным испарением (LA-ICP-MS) и метод рамановской спектроскопии, которые были применены в изучении этих объектов впервые.

2. СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Карийский рудный узел выделяется в пределах Сретенско-Карийского (Усть-Карского) рудного района, который расположен в зоне Монголо-Охотской сутуры, отделяющей область протерозоид Становой зоны от ранних мезозоид Юго-Восточного Забайкалья (рис. 1). В геолого-тектоническом отношении район исследований известен под названием Пришилкинской подвижной зоны [Misnik, Shevchuk, 1974, 1975], которая образовалась в результате коллизии Сибирского и Монголо-Китайского континентов при закрытии Монголо-Охотского океана на рубеже ранней и средней юры, что в итоге предопределило его геологическую и металлогеническую специфику [Polokhov et al., 1977; Spiridonov, Zorina, 2006]. Важным элементом строения района, кроме секущих зон нарушений северо-западного и субширотного направлений, является Усть-Карская очаговая купольно-кольцевая структура, возникшая в результате длительно (J₂₋₃) протекавших здесь процессов коллизии и орогенеза.

Центральная часть Усть-Карской структуры представлена жестким приподнятым блоком, сложенным Кара-Чачинским массивом гранитоидов амуджикано-сретенского интрузивного комплекса мезозойского возраста и частично вмещающими его среднезернистыми амфибол-биотитовыми гранодиоритами, кварцевыми и кварцсодержащими биотит-роговообманковыми диоритами, габбро-диоритами, габбро нижнеюрского возраста и гнейсированными гранитоидами и кристаллическими сланцами протерозойского возраста. Склоновая часть купола унаследовала систему региональных разноплановых разломов древнего заложения, фрагменты которых активизировались в процессе становления купольной структуры. Они совместно с локальными дуговыми разрывами, заложенными в период формирования Кара-Чачинского массива, выступают в качестве концентрических и радиальных структурных элементов купола. Наиболее мобильной является северо-западная часть Усть-Карской купольной структуры, характеризующаяся наличием кольцевых разломов, наибольшей насыщенностью позднеюрско-раннемеловыми комплексами магматических пород, наличием дайковых образований разного состава, щелочными породами и ареалами метасоматоза [Evseev et al., 1973], максимальным развитием рудной минерализации, вмещающая в себя Карийский рудный узел, что в совокупности позволяет рассматривать его как рудно-магматическую систему (РМС) [Spiridonov, Zorina, 2006].

Наиболее древними магматическими породами рудного узла являются раннепротерозойские ин-

трузивные образования, среди которых преимущественно развиты крупно- и среднезернистые, часто гнейсовидные, биотит-роговообманковые кварцевые диориты и гранодиориты, реже встречаются мелкозернистые лейкократового облика граниты (рис. 1). В северной и восточной части площади исследований установлены небольшие массивы гнейсовидных биотитовых гранитоидов позднепротерозойско-раннепалеозойского возраста. В раннемезозойское время происходит формирование небольших тел диоритов и габбро-диоритов, отнесенных В.Л. Литвиновым [Litvinov, 1966] к первой фазе предположительно амананского комплекса, и накопление вулканогенно-осадочных отложений Куйтунской свиты, представленных андезитовыми порфиритами, андезибазальтами, фельзитовыми порфиритами, туфолавами. В средне-мезозойское время в процессе коллизии забайкальских сегментов Сибирского и Монголо-Китайского континентов внедряются гранитоиды амуджикано-сретенского комплекса, в данном случае гранитоиды Кара-Чачинского массива, интрузивные фации которого представлены порфирированными биотит-роговообманковыми гранодиоритами, гигантопорфирированными гранитами и гранодиоритами, равномерно-зернистыми гранодиоритами [Antipin, 1970; Kuzmin, Antipin, 1972] и заключительной дайковой серией пород гранит-порфиров, гранодиорит-порфиров, гибридных порфиров, лампрофиров, субщелочных гранит-порфиров и своеобразных щелочных пород – грорудитов. С гранитоидами данного массива, как и в целом с амуджикано-сретенским интрузивным комплексом, связано золотое и молибденовое оруденение района исследований [Tikhomirov, 1964].

Что касается жильных щелочных образований – грорудитов, то они получили довольно широкое распространение в пределах Карийского рудного узла и детально были описаны еще А.П. Карпинским [Karpinsky, 1903]. Эти породы по возрасту занимают внутрирудное положение и относятся к наиболее поздним проявлениям дайковой серии, что подтверждается изотопными данными Rb-Sr (153 млн лет) [Plyusnin et al., 1989] и K-Ar (149±7 млн лет) [Polokhov et al., 1977] методов.

Следует отметить также, что В.Л. Литвинов [Litvinov, 1966; Litvinov, Solomin, 1973] относит данные щелочные дайковые породы района, наряду с гибридными порфирами и лампрофирами, к образованиям заключительной фазы амуджикано-сретенского интрузивного комплекса. В.П. Полохов с соавторами [Polokhov et al., 1977] рассматривает их как фазу амуджикано-сретенского комплекса, формирующуюся в регрессивную стадию развития магматического цикла, когда единый магматический глубинный источник мог разделяться на

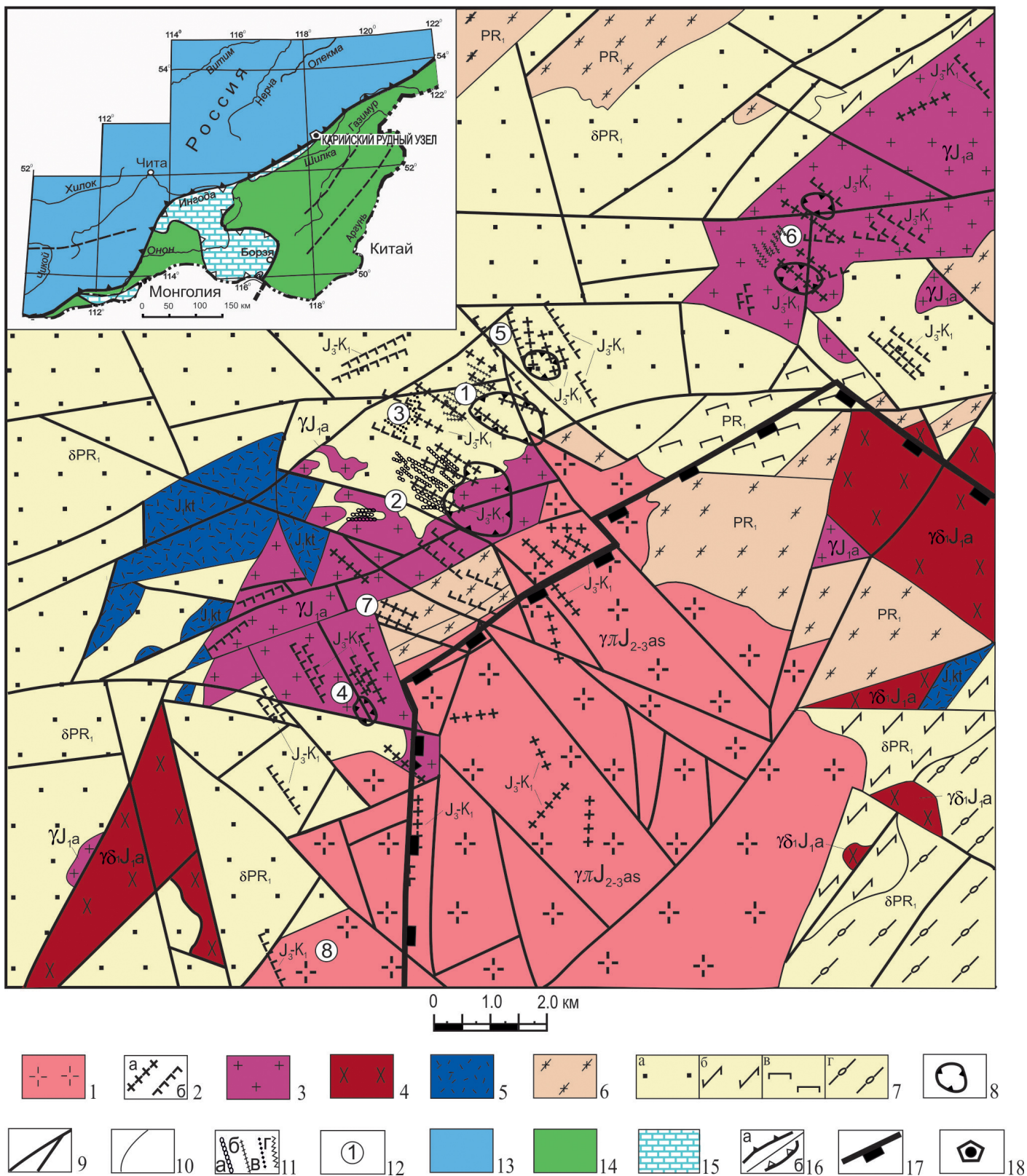


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кари́йского рудного узла.

Амуджикано-Сретенский интрузивный комплекс (γJ_{2-3as}): 1 – равномерно-зернистые гранодиориты, порфировидные биотит-рогообманковые гранодиориты, гигантопорфировидные граниты и гранодиориты; 2 – дайковые тела (J_3K_1): субщелочные граниты, гранит-порфиры, гронорудиты (эгирин-полевошпат-кварцевые образования) (а), гибридные порфиры, лампрофиры, диоритовые порфириты (б); Амананский интрузивный комплекс (J_{1a}): 3 – лейкократовые биотитовые порфировидные граниты (γ), 4 – среднезернистые амфибол-биотитовые гранодиориты, кварцевые и кварцсодержащие мелкозернистые биотит-рогообманковые диориты, габбро-диориты, габбро ($\gamma\delta$); 5 – Куйтунская свита (J_{1kt}): андезитовые порфириты, андезибазальты, фельзиты, фельзитовые порфириты, лавобрекчии, туфолавы. Нижнепротерозойские образования (PR_1): 6 – нерасчлененные биотитовые, биотит-амфиболовые, биотит-мусковитовые, лейкократовые гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты (PR_1);

7 – плагиограниты, амфибол-биотитовые гранодиориты, пластовые тела диоритов, кварцевых диоритов, габбро-диоритов (а), биотитовые, биотит-мусковитовые кристаллические сланцы (б), амфиболиты (в), гнейсы биотитовые, биотит-роговообманковые тонкопелосчатые (г) (δPR_1); 8 – ареал проявления субщелочного метасоматоза; 9 – тектонические нарушения; 10 – геологические границы; 11 – рудные зоны и жилы: кварц-пирит-турмалиновые (а), кварц-актинолит-магнетитовые (б), кварц-арсенопиритовые, кварц-турмалин-арсенопиритовые (в), кварц-турмалин-сульфидные с молибденитом (г); 12 – месторождения: 1 – Новинка, 2 – Дмитриевское, 3 – Сульфидное, 4 – Волгинское, 5 – Амурские дайки, 6 – Пильненское; рудопроявления: 7 – Ивановское, 8 – Верхнебогоочинское. На врезке: 13 – Сибирский континент; 14 – Монголо-Китайский континент; 15 – Ононский островодужный террейн; 16 – основная ветвь Монголо-Охотской сутуры (а), Ононская ветвь Монголо-Охотской сутуры (б); 17 – граница жесткого внутреннего блока купольной структуры; 18 – местоположение Карийского рудного узла в пределах Монголо-Охотской сутуры.

Fig. 1. A schematic geological map of the Kara ore node.

Amudzhikan-Sretensky intrusive complex ($\gamma \pi J_2$ -3as): 1 – evenly grained granodiorite, porphyritic biotite-hornblende granodiorite, giant-porphyrific granite and granodiorite; 2 – dike bodies (J₃-K₁): sub-alkaline granite and granite-porphyrific, grorudite (aegerine-feldspar-quartz formation) (а), hybrid porphyre, lamprophyres, diorite porphyrite (б); Amanan intrusive complex (J_{1a}): 3 – leucocratic biotite porphyritic granite (γ), 4 – medium grained amphibole-biotite granodiorite, quartz and quartz-bearing fine-grained biotite-hornblende diorite, gabbro-diorite, gabbro (γδ); 5 – Kuitun suite (J_{1kt}): andesite porphyrite, andesite basalt, felsite, felsic porphyrite, lava-breccia, tuffo-lava. Lower Proterozoic (PR₁): 6 – undivided biotite, biotite-amphibole, biotite-muscovite, leucocratic gneiss, crystalline schist, amphibolites (PR₁); 7 – plagiogranite, amphibole-biotite granodiorite, layered bodies of diorite, quartz diorite, gabbro-diorite (а); biotite, biotite-muscovite schists (б), amphibolites (в), biotite gneiss, biotite-hornblende (г) (δPR_1); 8 – area of subalkalic metasomatism; 9 – tectonic faults; 10 – geological boundaries; 11 – ore zones and veins: quartz-pyrite-tourmaline (а), quartz-actinolite-magnetite (б), quartz-arsenopyrite, quartz-tourmaline-arsenopyrite (в), quartz-tourmaline-sulphide with molybdenite (г); 12 – deposits: 1 – Novinka, 2 – Dmitrievskoe 3 – Sulfidnoe, 4 – Volginskoe, 5 – Amur dikes, 6 – Pilsenskoe; ore occurrences: 7 – Ivanovskoe, 8 – Verkhne-Bogochinskoe. Inset: 13 – Siberian continent; 14 – Mongolia-China continent; 15 – Onon island-arc terrain; 16 – main (а) and Onon (б) branches of the Mongol-Okhotsk suture; 17 – boundary of the rigid internal block of the dome structure; 18 – location of the Kara ore node in the Mongol-Okhotsk suture.

несколько изолированных питающих очагов, развивающихся в дальнейшем параллельно, чем обуславливается необычная сложность возрастной последовательности пород.

3. ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЩЕЛОЧНЫХ ЖИЛЬНЫХ ПОРОД – ГРОРУДИТОВ

Грорудит (название по сел. Гроруд близ Осло, Норвегия) представляет собой «порфировую жильную породу группы гранитоидов с полнокристаллической основной массой, состоящей из зерен щелочного полевого шпата (около 50 %), кварца и эгирина. Порфиновые выделения представлены микроклином (изредка анортоклазом) и эгирином» [*Geological Dictionary, 1973*]. На бинарной диаграмме [*Bogatikov, Popov, 2001*] щелочные жильные породы находятся в области расположения субщелочных пород или тяготеют к ней и занимают в группе кислых пород самое крайнее положение.

Несмотря на кажущееся разнообразие, обусловленное главным образом различной окраской (серой, зеленой, розовой), описываемые породы характеризуются общностью основных структурных особенностей и выдержанным минеральным составом [*Karpinsky, 1903*] и, как правило, сопровождаются ареалом проявления щелочного метасоматоза. Вместе с тем к общей специфике данных щелочных пород можно отнести значительные колебания количественных соотношений главных по-

родообразующих минералов, что проявляется и в существенном колебании содержания основных пороодообразующих оксидов.

Как уже отмечалось ранее, авторы данной работы относят грорудиты к магматическим образованиям и с ними связывают появление золотой минерализации на позднеюрском этапе развития Карийского рудного узла.

В работе использована наиболее представительная коллекция грорудитов, отобранная на месторождении «Новинка» Карийского рудного узла, где рудная минерализация представлена наиболее перспективным в отношении промышленных скопелений золота кварц-актинолит-магнетитовым составом.

На данном месторождении грорудиты образуют в основном жилы и прожилки различной мощности – от 1 до 30 см, реже встречаются дайковые тела мощностью от 0.5–1.0 м до 10 м и более. Данные щелочные образования находятся в тесной ассоциации с рудными жилами и минерализованными зонами.

На месторождении основное развитие получили грорудиты серой, зеленовато-серой и зеленой окраски характерной порфировой структуры (рис. 2). Вкрапленники в породе составляют до 70–80 % объема породы и представлены на 50–65 % кварцем, реже микроклином (10–15 %) с пятнистыми или сетчатыми пертитовыми прорастаниями. Иногда в породе встречаются отдельные крупные таблитчатые зерна плагиоклаза. Основная масса

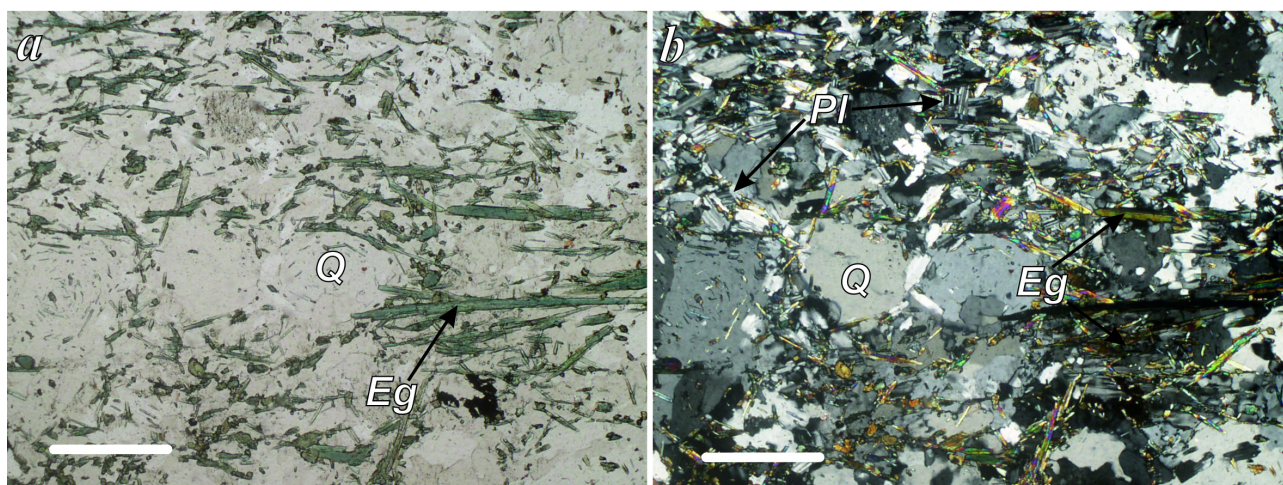


Рис. 2. Грорудит месторождения Новинка. Структура порфировая, вкрапленники представлены кварцем (Q), в основной массе альбит (Pl) и эгирин (Eg). Масштабная линейка на всех рисунках составляет 1 мм. Фото *a* – поляризаторы ||, *b* – поляризаторы \times .

Fig. 2. Grorudite from the Novinka deposit. Porphyritic structure. Quartz phenocrysts (Q). In the bulk, albite (Pl) and aegerine (Eg). The scale bar in all the figures is 1 mm. Photos of polarizers: *a* – ||, *b* – \times .

сложена лейстами альбита, среди которых встречаются отдельные зерна калиевого полевого шпата и кварца. На этом фоне весьма неравномерно (10–50 % площади базиса) разбросаны шестоватые и игольчатые зерна эгирина. Также в породах отмечаются сфен и карбонат. Отдельные участки породы выполнены ксеноморфными выделениями кварца.

По химическому составу грорудиты характеризуются высоким содержанием кремнезема – 76 мас. % и аномально низкими значениями глинозема (8.35–11.20 мас. %), при этом в части щелочей наблюдается преобладание калия над натрием. В этих породах отмечаются низкие содержания фтора, лития, рубидия, бария и стронция при повышенных концентрациях бора и большей части рудообразующих элементов, в частности золота и вольфрама (таблица). В связи со спецификой химического состава В.Е. Трегером [Treger, 1980] было предложено выделить эти породы под самостоятельным названием – «кариты».

4. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Флюидные включения изучались в двусторонне полированных прозрачных пластинах. Для проведения предварительного визуального исследования ФВ препараты отмачивались в ацетоне ЧДА, затем отклеивались от стекла и промывались этиловым спиртом. Поиск подходящих для изучения ФВ проводился как в проходящем, так и в отраженном свете с помощью микроскопа Olympus BX 51.

Фотографирование объектов производилось фотокамерами PixeLink 1394 и QImaging MicroPublisher 5.0 RTV. Затем от пластинки механически отделялись участки зерен кварца (от 3×3 до 4×4 мм), содержащие выбранные для исследований ФВ.

Микрокриотермометрические исследования ФВ выполнены на криотермокамере Linkam THMSG-600, позволяющей измерять температуры фазовых

Среднее содержание петрогенных элементов и элементов-примесей в серых и серо-зеленых грорудитах Карийского рудного узла по данным [Spiridonov, Zorina, 2006]

The average content of petrogenic elements and admixture elements in grey and grey-green grorudites from the Kara ore node according to [Spiridonov, Zorina, 2006]

	мас. %		ppm		мг/т
SiO ₂	76.26	Li	56	Au	6.8
TiO ₂	0.35	Rb	79		
Al ₂ O ₃	10.44	B	60		
Fe ₂ O ₃	1.18	Sr	99		
FeO	2.14	Ba	101		
MnO	0.04	Pb	150		
MgO	0.30	Cu	9		
CaO	0.99	Zn	36		
Na ₂ O	3.51	Mo	1		
K ₂ O	4.47	Sn	5.4		
P ₂ O ₅	0.11	W	14		
F	0.03	Ni	14		
		Co	4.1		
		V	38		
		Cr	12		

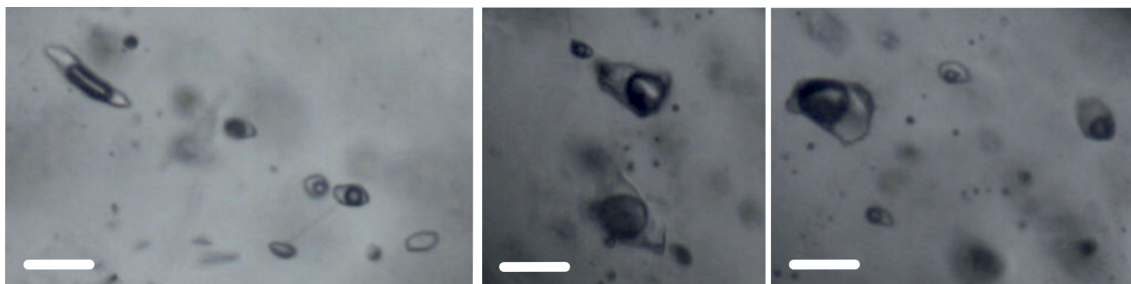


Рис. 3. Флюидные включения в кварце грорудитов месторождения Новинка Карийского рудного узла. Масштабная линейка составляет 10 микрон.

Fig. 3. Fluid inclusions in quartz of grorudites from the Novinka deposit, Kara ore node. The scale bar is 10 microns.

переходов в интервале от -196 до $+600$ °С. Управляющее программное обеспечение LinkSys 32-DV. Точность измерений ± 0.1 °С в интервале температур от -20 до $+80$ °С и ± 1 °С за пределами этого интервала.

Изучали двухфазные ФВ размером более 5 мкм. Температуры частичной и полной гомогенизации фиксировали в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере. Измерение микротермометрических параметров проводилось по 17 ФВ, повторные замеры показали хорошую воспроизводимость результатов с ошибкой в пределах точности приборов.

Расчеты концентраций солей и давлений проводились с использованием программы FLINCOR [Brown, 1989], а также данных из работ [Bodnar, 1993; Bodnar, Vityk, 1994].

Для определения состава водного раствора ФВ был использован метод масс-спектрометрии индукционно-связанной плазмы с лазерным испарением (LA-ICP-MS). Данные получены на приборном комплексе, состоящем из квадрупольного масс-спектрометра Perkin Elmer NexION 300D и платформы лазерной абляции NWR-213 (ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН).

Масс-спектрометр настроен и оптимизирован согласно инструкции производителя. Мощность плазмы – 1400 Вт, скорость потока несущего газа аргона – 0.8 л/мин, остальные газы: Plasma/Cool и Auxiliary Gas соответственно – 18 л/мин и 2 л/мин. Лазерная платформа на основе Nd/YAG лазера с длиной волны 213 нм. Поток гелия – 0.6 л/мин. Мощность лазера – 45 %, частота импульсов – 20 Гц, диаметр лазерного пятна – 40 мкм. Для прожига наиболее подходящими являются ФВ размером более 20 мкм. В работе представлен результат прожига ФВ диаметром в поперечнике 32–48 мкм.

Качественное определение компонентов в жидкой фазе ФВ осуществлялось методом рамановской спектроскопии (спектроскопии комбинационного

рассеяния, или КР-спектроскопии) на спектроанализаторе Horiba Lab Ram HR 800 с полупроводниковыми детекторами (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Возбуждение проводилось твердотельным лазером с длиной волны 514 нм, мощностью 50 мВт.

5. ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ГРОРУДИТАХ

В порфировых вкрапленниках кварца в грорудитах обнаружены ФВ уплощенной округлой и вытянутой формы, а также сложной морфологии с апофизами (рис. 3). Размеры ФВ изменяются в широких пределах от 5 до 48 мкм, основная масса в поперечнике составляет от 15 до 20 мкм (рис. 3).

Первичные флюидные включения встречаются редко. Обособленно по краям зерен или в залеченных трещинах, расположенных внутри вкрапленников, находятся первично-вторичные ФВ, которые стали основным объектом исследований.

Секущие трещины во вкрапленниках содержат вторичные ФВ и образуют густонасыщенные ленточные скопления и узкие цепочки, которые пересекаются, простираются параллельно или расположены обособленно.

При комнатной температуре во ФВ наблюдается две фазы: жидкая и газообразная. Газовый пузырек во включениях составляет от 35 до 55 об. % вакуоли. Иногда встречаются первичные существенно газовые ФВ, где газовый пузырек занимает более 80 об. % вакуоли. Наиболее типичные ФВ, встречающиеся в кварце грорудитов, приведены на рис. 3.

Первично-вторичные ФВ характеризуются температурой гомогенизации $T_{\text{гом}}=350$ °С. При быстром охлаждении до -100 °С наблюдается замерзание жидкости в ФВ. Из-за небольшого размера некоторых ФВ не удалось точно установить температуру эвтектики растворов. Во ФВ с хорошо различимой жидкой фазой удалось измерить температуру

плавления льда, которая составила -2.5 °C. Лед начинал плавиться за $1-2$ °C до его полного исчезновения. В нескольких ФВ температура плавления льда снижалась или повышалась на $0.1-0.2$ °C. Сокращение объема газа в процессе нагрева в большинстве ФВ начиналось при температуре более 300 °C. Полная гомогенизация ФВ происходила при температуре 350 °C. Гомогенизация происходит в жидкую фазу, даже если газовый пузырек занимает 50 % от объема включения. Температуры замерены только в 17 ФВ, в остальных из-за малых размеров наблюдать изменения агрегатного состояния ФВ сложно.

Стартовыми параметрами для проведения расчетов [Brown, 1989] стали температура полного протаивания льда -2.5 °C и температура гомогенизации 350 °C. В результате определено, что концентрация солей в составе флюида соответствует 4.2 мас. % экв. NaCl, плотность флюида составляет 0.64 г/см³, что соответствует давлению 1.6 кбар. Определенные нами параметры не противоречат данным, полученным ранее В.Ю. Прокофьевым с соавторами [Prokofiev et al., 1992].

Методом LA-ICP-MS измерения проводились сериями, каждая из которых начиналась с лазерного испарения стандарта, затем оптически чистой области, далее анализировались индивидуальные ФВ. При расчете содержаний основных элементов в образцах в качестве стандарта использовалось синтетическое стекло NIST SRM 612 [Jochum et al., 2011].

Наиболее четкие аналитические сигналы отмечаются от Na и K, преобладающих в составе водного раствора ФВ. Кроме того, при прожиге прослеживаются синхронные сигналы по As, Mo, Sb, Cs, W, Hg, что подтверждает присутствие этих элементов в солевой системе в значимых количествах.

Методом рамановской спектроскопии анализировались индивидуальные ФВ. Спектры, характеризующие состав газовой фазы, приведены на рис. 4–8. Установлено, что существенно газопервичные ФВ содержат преимущественно N_2 (см. рис. 4), тогда как пики по CO_2 , H_2S , и CH_4 отсутствуют. В первично-вторичных газожидких ФВ, наряду с N_2 (см. рис. 6) от 3.9 до 12.4 %, присутствуют в основном CO_2 (см. рис. 5) от 90 до 96 %, а также CH_4 (рис. 8) от 0.2 до 1.6 %. Наличие H_2S во всех изученных ФВ не обнаружено (см. рис. 7).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Карийский рудный узел расположен в пределах Монголо-Охотской сутурной зоны, по которой на рубеже ранней и средней юры произошло сочленение Сибирского и Монголо-Китайского континен-

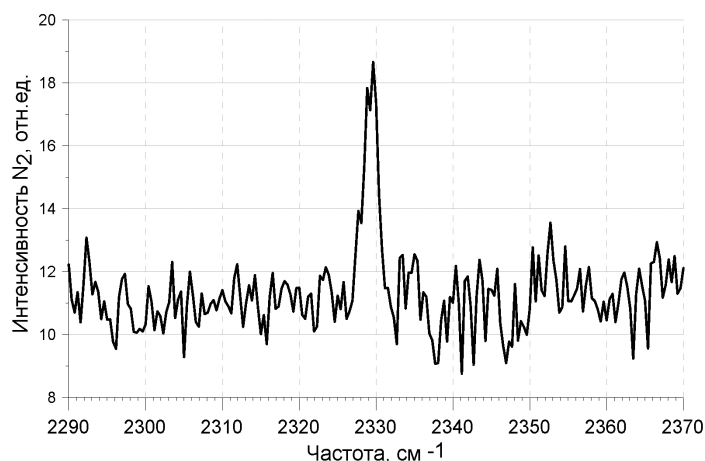


Рис. 4. Рамановский спектр N_2 в первичных существенно газовых флюидных включениях в кварце гнорудитов месторождения Новинка Карийского рудного узла.

Fig. 4. The Raman spectrum of N_2 in the primary substantially gaseous fluid inclusions in quartz of gnorudites from the Novinka deposit, Kara ore node.

тов. Рудный район контролируется Усть-Карской очаговой купольно-кольцевой структурой, возникшей в результате длительно (J_{2-3}) протекавших здесь процессов коллизии и орогенеза. Ключевым магматическим объектом рудного узла, с которым связывают золотое и молибденовое оруденение, является Кара-Чачинский массив гранитоидов амуджикано-сретенского интрузивного комплекса (J_3-K_1) с системой разнообразных субвулканиче-

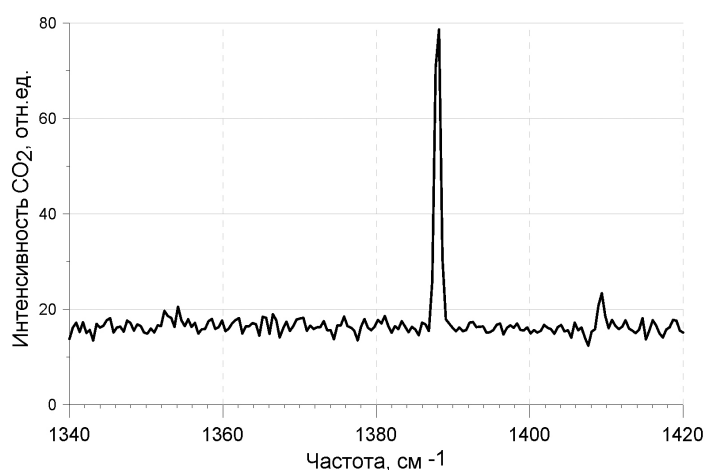


Рис. 5. Рамановский спектр CO_2 в первично-вторичных газожидких флюидных включениях в кварце гнорудитов месторождения Новинка Карийского рудного узла.

Fig. 5. The Raman spectrum of CO_2 in the primary-secondary gas-liquid fluid inclusions in quartz of gnorudites from the Novinka deposit, Kara ore node.

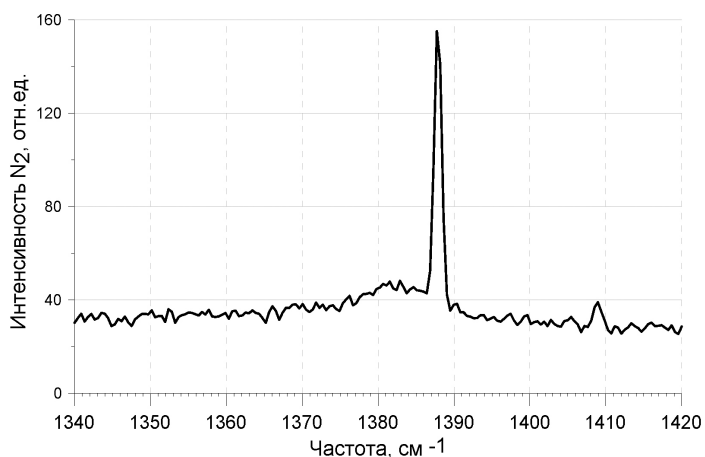


Рис. 6. Рамановский спектр N_2 в первично-вторичных газожидких флюидных включениях в кварце грорудитов рудного участка Новинка Карийского рудного узла.

Fig. 6. The Raman spectrum of N_2 in the primary-secondary gas-liquid fluid inclusions in quartz of grorudites from the Novinka deposit, Kara ore node.

ских и жильных образований, включая щелочные жильные породы – грорудиты.

Исследования ФВ в порфировых вкрапленниках грорудитов позволили определить состав рудообразующего флюида и условия формирования этих пород.

В результате микрокриотермометрических исследований установлено, что:

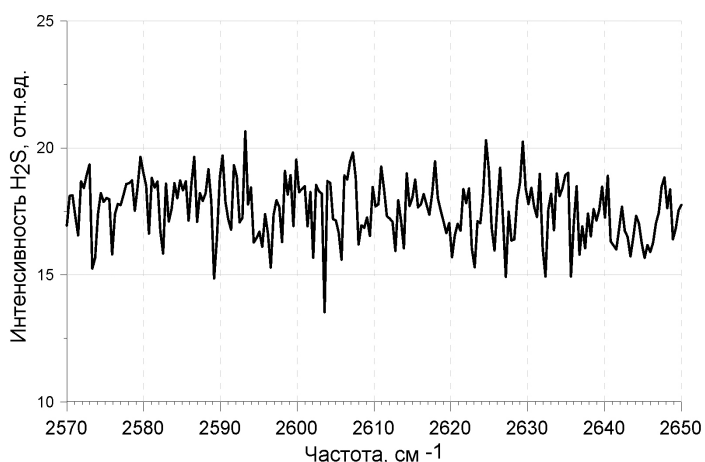


Рис. 7. Рамановский спектр H_2S в первично-вторичных газожидких флюидных включениях в кварце грорудитов рудного участка Новинка Карийского рудного узла.

Fig. 7. The Raman spectrum of H_2S in the primary-secondary gas-liquid fluid inclusions in quartz of grorudites from the Novinka deposit, Kara ore node.

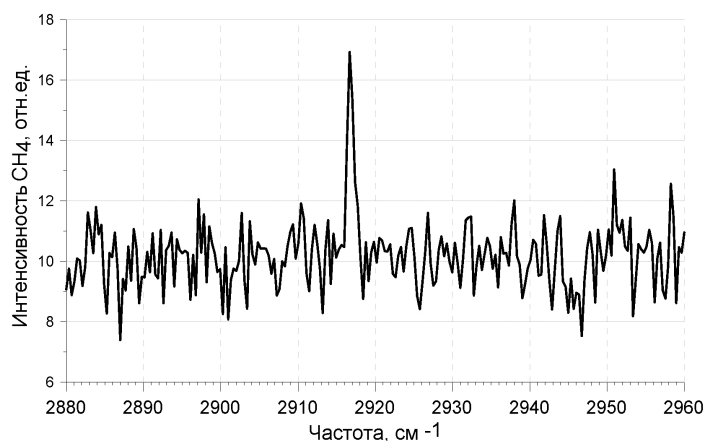


Рис. 8. Рамановский спектр CH_4 в первично-вторичных газожидких флюидных включениях в кварце грорудитов рудного участка Новинка Карийского рудного узла.

Fig. 8. The Raman spectrum of CH_4 in the primary-secondary gas-liquid fluid inclusions in quartz of grorudites from the Novinka deposit, Kara ore node.

1) концентрация солей в составе флюида соответствует 4.2 мас. % экв. NaCl;

2) плотность флюида составляет 0.64 г/см³, а его давление – 1.6 кбар.

Кроме того, по совокупным данным микрокриотермометрического анализа и рамановского сканирования можно сказать, что в первичных ФВ присутствует преимущественно N_2 , тогда как в более поздних первично-вторичных ФВ основным компонентом является CO_2 , в подчиненном количестве содержится N_2 и CH_4 , что свидетельствует об эволюции состава флюида в гидротермальном рудообразующем процессе.

По данным LA-ICP-MS определено, что основными компонентами в составе флюида являются Na и K, также прослеживаются значимые концентрации As, Mo, Sb, Cs, W, Hg, то есть газовая магматическая фракция в грорудитах концентрирует элементы-спутники золотого оруденения, подтверждает прямую генетическую связь с процессами рудообразования.

Таким образом, проведенные исследования ФВ позволяют судить о физико-химических условиях формирования рудопродуцирующих магматических пород и рудной минерализации на коллизионном этапе развития Карийской рудно-магматической системы.

7. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-00584).

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Antipin V.S.*, 1970. Petrology and Geochemistry of Mesozoic Granitoids from the Near-Shilka Zone (Eastern Transbaikalia): Abstract, PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). Institute of Geochemistry, USSR Acad. Sci., Irkutsk, 20 p. (in Russian) [*Антипин В.С.* Петрология и геохимия мезозойских гранитоидов пришилкин-ской зоны (Восточное Забайкалье): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИГХ СО АН СССР, 1970. 20 с.].
- Bodnar R.J.*, 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (3), 683–684. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A).
- Bodnar R.J., Vityk M.O.*, 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. In: B. De Vivo, M.L. Frezzotti (Eds.), *Fluid inclusions in minerals: methods and application*. Virginia Tech, Blacksburg, p. 117–130.
- Bogatikov O.A., Popov V.S.* (Eds.), 2001. Petrography and Petrology of Magmatic, Metamorphic and Metasomatic Rocks. Logos, Moscow, 768 p. (in Russian) [Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / Ред. О.А. Богати́ков, В.С. Попов. М.: Логос, 2001. 768 с.].
- Brown P.E.*, 1989. FLINCOR; a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *American Mineralogist* 74 (11–12), 1390–1393.
- Evseev Yu.P., Grabeklis R. V., Polokhov V.P.*, 1973. The main ore formations of the Kara ore-bearing region, and their relationship with magmatism and exploration features. In: F.I. Volfson (Ed.), *Geology of some ore regions and fields of Transbaikalia*. Irkutsk State University, Irkutsk, p. 107–115 (in Russian) [Евсеев Ю.П., Грабеклис Р.В., Полохов В.П. Основные рудные формации Карийского золотоносного района, их связь с магматизмом и поисковые признаки // Геология некоторых рудных районов и полей Забайкалья / Ред. Ф.И. Вольфсон. Иркутск: Иркутский государственный университет, 1973. С. 107–115.]
- Geological Dictionary*, 1973. Volume 1. A–M. Nauka, Moscow, 487 p. (in Russian) [Геологический словарь. Том 1. А–М. М.: Наука, 1973. 487 с.].
- Jochum K.P., Weis U., Stoll B., Kuzmin D., Yang Q., Raczek I., Jacob D.E., Stracke A., Birbaum K., Frick D.A., Günther D., Enzweiler J.*, 2011. Determination of reference values for NIST SRM 610–617 glasses following ISO guidelines. *Geostandards and Geoanalytical Research* 35 (4), 397–429. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-908X.2011.00120.x>.
- Karpinsky A.P.*, 1903. About the remarkable so-called grorudite rock from the Transbaikalian region. *Proceedings of the Imperial Academy of Sciences, Series V* 19 (2), 1–32 (in Russian) [Карпинский А.П. О замечательной так называемой грорудитовой горной породе из забайкальской области // Известия Императорской академии наук. 1903. V серия. Т. 19. № 2. С. 1–32].
- Kuzmin M.I., Antipin V.S.*, 1972. Geochemical characteristics of the Mesozoic granitoids of the East Transbaikalia. In: L.V. Tauson (Ed.), *Geochemistry of rare elements in magmatic complexes of East Siberia*. Nauka, Moscow, p. 132–185 (in Russian) [Кузьмин М.И., Антипин В.С. Геохимическая характеристика мезозойских гранитоидов Восточного Забайкалья // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири / Ред. Л.В. Таусон. М.: Наука, 1972. С. 132–185].
- Litvinov V.L.*, 1966. The Main Features of Geology and Petrology of Jurassic Intrusions in the Area of the Gazimur River Middle Course (East Transbaikalia): PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). Publishing House of the Lvov University, Lvov, 339 p. (in Russian) [Литвинов В.Л. Основные черты геологии и петрологии юрских интрузий района среднего течения р. Газимур (Восточное Забайкалье): Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Львов: Изд-во Львовского университета, 1966. 339 с.].
- Litvinov V.L., Solomin Yu.S.*, 1973. Egrine-bearing dike rocks from some gold deposits in East Transbaikalia, their genesis and relationship to mineralization. *Izvestiya Vuzov. Geologiya i Razvedka (Geology and Exploration)* (6), 56–63 (in Russian) [Литвинов В.Л., Соломин Ю.С. Эгиринсодержащие дайковые породы некоторых золоторудных месторождений Восточного Забайкалья, их генезис и отношение к оруденению // Известия вузов. Геология и разведка. 1973. № 6. С. 56–63].
- Misnik Yu.F., Shevchuk V.V.*, 1974. Mesozoic tectonics and magmatism of the Near-Shilka mobile zone. *Sovetskaya Geologiya (Soviet Geology)* (2), 130–135 (in Russian) [Мисник Ю.Ф., Шевчук В.В. Мезозойская тектоника и магматизм Пришилкинской подвижной зоны // Советская геология. 1974. № 2. С. 130–135].
- Misnik Yu.F., Shevchuk V.V.*, 1975. The Near-Shilka Zone of the Mongol-Okhotsk Deep Fault. *Vysshaya Shkola*, Lvov, 160 p. (in Russian) [Мисник Ю.Ф., Шевчук В.В. Пришилкинская зона Монголо-Охотского глубинного разлома. Львов: Высшая школа, 1975. 160 с.].
- Plyusnin G.S., Spiridonov A.M., Litvintsev K.A., Kochetkova L.F., Gnilyusha V.A., Kuznetsova S.V.*, 1989. The Rb-Sr age of vein alkaline granites from the Kara ore node. *Doklady AN SSSR* 307 (4), 967–971 (in Russian) [Плюснин Г.С., Спиридонов А.М., Литвинцев К.А., Кочеткова Л.Ф., Гнилуша В.А., Кузнецова С.В. Rb-Sr возраст жильных щелочных гранитов Карийского рудного узла // Доклады АН СССР. 1989. Т. 307. № 4. С. 967–971].
- Polokhov V.P., Evseev Yu.P., Grabeklis R.V., Bychkov M.A., Kochneva N.T.*, 1977. Features of the structure and conditions for the localization of ore regions and nodes associated with activation of the Proterozoic base of East Transbaikalia (the case of the Ust-Kara ore region) (Chapter 6). In: E.T. Shatalov (Ed.), *Metallogenic analysis in activation areas (Transbaikalia Case)*. Nauka, Moscow, p. 122–164 (in Russian) [Полохов В.П., Евсеев Ю.П., Грабеклис Р.В., Бычков М.А., Кочнева Н.Т. Особенности строения и условия локализации рудных районов и узлов, связанных с активизацией протерозойского основания Восточного Забайкалья (на примере Усть-Карского

рудного района) (Глава 6) // Металлогенический анализ в областях активизации (на примере Забайкалья) / Ред. Е.Т. Шаталов. М.: Наука, 1977. С. 122–164].

Prokofiev V. Yu., Spiridonov A.M., Gnilusha V.A., Kovaleva V.F., 1992. About conditions for the formation of vein alkali granites in the Kara ore node as evidenced by melt and fluid inclusions. *Doklady AN* 326 (3), 521–523 (in Russian) [Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М., Гнилуша В.А., Ковалёва В.Ф. Об условиях образования жильных щелочных гранитов Карийского рудного узла по расплавленным и флюидным включениям // Доклады АН. 1992. Т. 326. № 3. С. 521–523].

Spiridonov A.M., Zorina L.D., 2006. Gold-Bearing Ore-Magmatic System of Transbaikalia. Geo, Novosibirsk, 91 p. (in Russian) [Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Кутаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: «Гео», 2006. 91 с.].

Tikhomirov N.I. (Ed.), 1964. Intrusive Complexes of Transbaikalia. Nedra, Moscow, 215 p. (in Russian) [Интрузивные комплексы Забайкалья / Ред. Н.И. Тихомиров. М.: Недра, 1964. 215 с.].

Treger V.E., 1980. Optical Determination of Minerals in Samples. Nedra, Moscow, 208 p. (in Russian) [Трегер В.Е. Оптическое определение пробообразующих минералов. М.: Недра, 1980. 208 с.].



Волкова Мария Геннадьевна, канд. геол.-мин. наук
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, Россия
✉ e-mail: volkova@igc.irk.ru

Volkova, Maria G., Candidate of Geology and Mineralogy
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS
1A Favorsky street, Irkutsk 664033, Russia
✉ e-mail: volkova@igc.irk.ru



Спиридонов Александр Михайлович, докт. геол.-мин. наук
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, Россия
e-mail: sam@igc.irk.ru

Spiridonov, Aleksander M., Doctor of Geology and Mineralogy
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS
1A Favorsky street, Irkutsk 664033, Russia
e-mail: sam@igc.irk.ru



Боровиков Андрей Александрович, канд. геол.-мин. наук
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, Россия
e-mail: borovik@igm.nsc.ru

Borovikov, Andrei A., Candidate of Geology and Mineralogy
V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS
3 Academician Koptyug ave., Novosibirsk 630090, Russia
e-mail: borovik@igm.nsc.ru



Брянский Николай Валерьевич, канд. физ.-мат. наук
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, Россия
e-mail: nik@igc.irk.ru

Bryansky, Nikolai V., Candidate of Physics and Mathematics
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS
1A Favorsky street, Irkutsk 664033, Russia
e-mail: nik@igc.irk.ru



Савина Елена Алексеевна, канд. геол.-мин. наук
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, Россия
e-mail: helen@igc.irk.ru

Savina, Elena A., Candidate of Geology and Mineralogy
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS
1A Favorsky street, Irkutsk 664033, Russia
e-mail: helen@igc.irk.ru