

УДК 553.065

DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-9-33-41

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПАХ КИСЛОРОДА КВАРЦА БАЛЕЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**FIRST DATA ON THE ISOTOPES OF QUARTZ OXYGEN OF THE BALEY ORE FIELD**

Г. А. Юргенсон,
Институт природных ресурсов, экологии
и криологии СО РАН, г. Чита
yurrga@mail.ru

G. Yurgenson,
Institute of Natural Resources, Ecology and
Cryology SB RAS, Chita



Н. А. Горячев,
Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
goryachev@neisri.ru

N. Goryachev,
Institution North-Eastern Complex Scientific
Research Institute named after N. A. Shilo
FEB RAS, Magadan



В. Ф. Посохов,
Институт геологии СО РАН,
г. Улан-Удэ
gin@gin.bsnet.ru

V. Posokhov,
Institute of Geology SB RAS,
Ulan-Ude

Выполнено сравнительное изучение соотношения изотопов кислорода в халцедоновидном кварце из золотоносных жил Балейского рудного поля и халцедона из миндалин юрских палеовулканов, образовавшихся на разных глубинах от палеоповерхности. Балейское рудное поле представлено двумя месторождениями малоглубинной золотосеребряной формации: собственно Балейским и Тасеевским. Принято считать, что они являются разными блоками одной рудно-магматической системы. Балейское является приподнятым блоком рудной зоны, верхняя часть которой эродирована. Установлено, что максимальными значениями $\delta^{18}\text{O}$ характеризуются опал и халцедон миндалин юрско-меловых эффузивов, в которых доля легкого кислорода невелика ($\delta^{18}\text{O} = +14,2 \div +10,9 \text{ ‰}$). Переходные значения ($\delta^{18}\text{O} = +10,5 \div +7,4 \text{ ‰}$) типичны для опалитов и опал-халцедоновых образований верхней приповерхностной и надрудной частей I рудной зоны Тасеевского месторождения с содержанием золота в пределах 0,168...38,9 г/т. Для продуктивного халцедоновидного кварца рудной зоны на глубине горизонта 266 м, содержащего 41,2...1230 г/т золота, доля тяжелого изотопа резко уменьшается ($\delta^{18}\text{O} = +1,7 \text{ ‰}$). Образцы тонко-мелкозернистого, пластинчато-шестоватого жильного кварца Балейского месторождения отличаются минимальными (в том числе, отрицательными) величинами доли $\delta^{18}\text{O}$ ($+0,8 \div -2,6 \text{ ‰}$). Выявленное однонаправленное возрастание с глубиной доли легкого изотопа кислорода в кварце подтверждает существующую вертикальную минералогическую и температурную зональность оруденения

Ключевые слова: кварц; опалит; халцедон; гейзерит; изотопы кислорода; Балейское рудное поле; Балейское месторождение; Тасеевское месторождение

For the first time a comparative study of the ratio of oxygen isotopes in chalcedony quartz veins of gold ore field Baley and chalcedony from tonsils Jurassic-Cretaceous paleovolcanoes, formed at different depths from paleo-surface has been carried out. Baley ore field is represented by two gold-silver epithermal deposits: the actual Baleyskoye and Tasey. They are different blocks of the same ore-magmatic system. The Baley is an uplifted block of the ore zone, the upper part of which is eroded. It was found that the maximum values of $\delta^{18}\text{O}$ characterized opal and chalcedony tonsils of Jurassic-Cretaceous volcanic which possess clearly magmatic nature, in which the proportion of light oxygen is low ($\delta^{18}\text{O} = +14,2 \div +10,9 \text{ ‰}$). Transient values ($\delta^{18}\text{O} = +10,5 \div +7,4 \text{ ‰}$) are

typical for opalite and opal-chalcedony formations near the surface and the upper parts of over ore zone I of the Tasey ore deposit containing gold zone within the 0,168...38,9 g/t. For productive chalcedony quartz ore zone horizon at a depth of 266 m containing 41,2...1230 g/t gold, the proportion of the heavier isotope decreases sharply ($\delta^{18}\text{O} = + 1,7 \text{ ‰}$). The samples of fine-grained, columnar, plate-quartz vein of the Baley deposit have a different minimum, including negative values share $\delta^{18}\text{O} (+0,8 \div -2,6 \text{ ‰})$. The revealed unidirectional increase with the depth of the fraction of the light isotope of oxygen in quartz confirms the existing vertical mineralogical and temperature zonation of mineralization.

Key words: quartz; opalite; chalcedony; geyserite; oxygen isotopes; Baley ore field; Baley deposit; Tasey deposit

Введение. Величина соотношений изотопов кислорода используется для определения параметров условий минералообразования [1–6; 10–14]. Условия и процессы формирования Балейского рудного поля, несмотря на огромный объем проведенных в прошлом столетии исследований, однозначно не установлены. Несмотря на сведения последних лет [7; 9], до сих пор остаются неясными источники рудного вещества, структурные и пространственно-временные соотношения Балейского и Тасеевского месторождений, составляющих рудное поле, а также природа так называемых кварцевых метасоматитов. Изученный изотопный состав кислорода для образцов кварца из заведомо приповерхностных его образований в халцедоновых миндалинах из эффузивов юрского возраста и Балейского рудного поля.

Поле представлено двумя месторождениями малоглубинной золотосеребряной формации (МЗСФ): собственно Балейским и Тасеевским. Принято считать, что они являются разными блоками одной рудно-магматической системы (рис. 1; 2) [7–9].

Балейское месторождение представляет собой приподнятый блок рудного поля. Оно состоит из двух участков: Северного (наиболее приподнятого) и Южного. Северный участок (Северный карьер) выходит на дневную поверхность. Это частично эродированный штокверк золотоносных кварцевых жил, локализованных среди интенсивно пиритизированных и аргиллизированных ундинских гранитоидов палеозойского возраста. Штокверк развит до глубины 124 м. В нем насчитывается 237 жил. На Южном участке выявлены 334 жилы и штокверк, которые прослежены до глубины 260 м. Они секут позднеюрско-раннемеловые конгломераты и песчаники. Золоторудные крутопадающие жилы халцедоновидного кварца и жильные зоны контролируются трещинами отрыва, оперяю-

щими протяженные пологие зоны дробления и скола. Оруденение сформировано на глубине 250...370 м. В подрудной части рудоносных зон околожилные изменения проявлены в окварцевании, каолинизации, пиритизации, в боковых породах рудного уровня развиты карбонатизация, серицитизация, сульфидизация, в меньшей мере – адуляризация. Главные рудные минералы: золото, электрум, пираргирит [7; 9]. Содержание золота в балансовых рудах в жилах 4...318 г/т (ураганные до 606 г/т), в штокверках 0,8...3,8 г/т. Месторождение крупное, значительно выработано. Глубина отработки подземным способом достигла 216 м, открытым – 150 м.

Тасеевское месторождение расположено южнее Балейского. Оно представляет собою систему жильных зон. Известно пять рудных зон, в которых находится более 80 промышленных жил. Главные минералы золота и серебра: электрум, пираргирит, калаверит, фрейбергит, миаргирит, аргентотенантит, андорит. Пробность золота 150...840 (средняя – 720). По богатству (до 346 кг/т золота) и запасам (около 400 т) руд Тасеевское месторождение является весьма крупным [9]. Глубина подземной отработки составила 416 м, открытой – 70 м.

Наиболее богатой является I рудная зона, содержащая существенную долю разведанных запасов (рис. 2). Ее северо-восточная часть не выходит на поверхность. Она перекрыта верхнеюрско-нижнемеловыми терригенными отложениями, содержащими фаунистические остатки, типичные для вулканогенных водоемов, вскрыта буровыми скважинами и подземными горными выработками. Юго-западная часть вскрыта Опытным карьером. В северо-восточной стенке карьера обнажены самые верхние фрагменты ветвящейся стволовой жилы I рудной зоны, описанной в трудах одного из авторов. Здесь вскрыто две разновидности секущих

существенно кварцевых тел. Одна из них представляет собой кавернозные полосчатые образования халцедона, переходящего в кварц среди гейзеритов, опалитов и других продуктов гидротермальной вулканической деятельности. Опалиты содержат глобулярный пирит, местами тонкоиглольчатые агрегаты стибиита, реальгар и аурипигмент [8;

9]. В уступе Опытного карьера, сложенном конгломератами, на горизонте с абсолютной отметкой 535 м наблюдаются маломощные (3...10 см) пологие жилы опал-халцедоново-го состава с глобулями и пентагондодекаэдрами As-содержащего (1,15...0,76 мас. %) пирита.

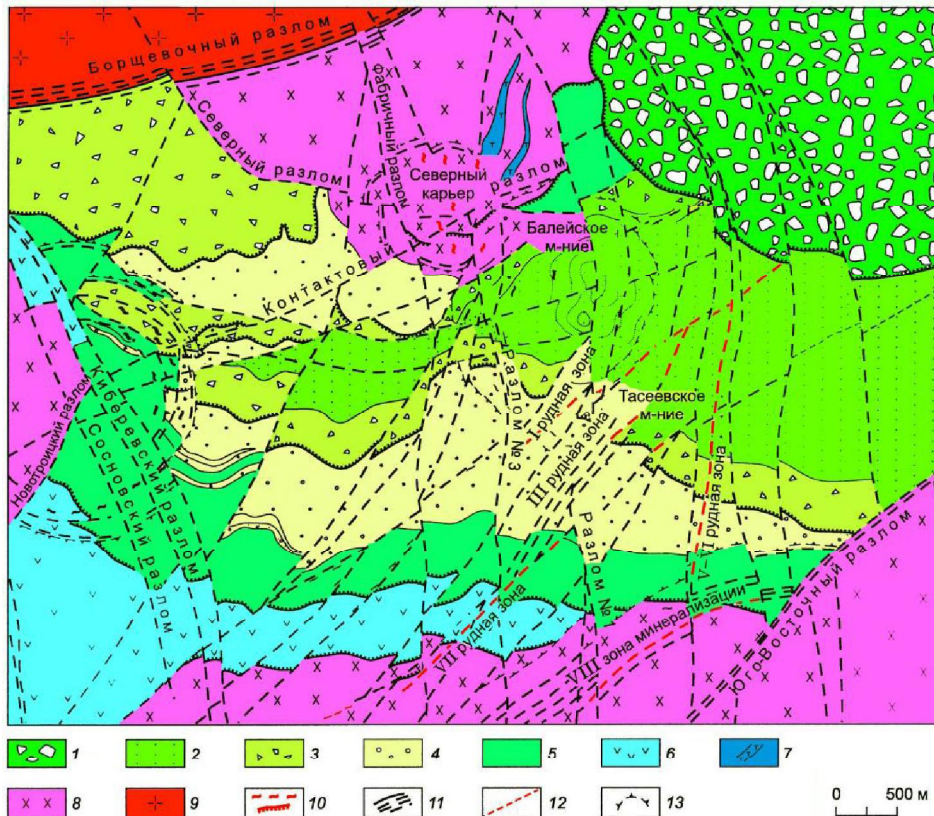


Рис. 1. Схематическая геолого-структурная карта Балейского рудного поля (на основании [7] с изменениями): 1 – каменская свита (K_1): валунно-галечные конгломераты; 2 – новотроицкая свита (K_1): дресвяные песчаники, песчаники, смешанные и мусорные породы, брекчии; 3 – верхнебалейская–нижненовотроицкая свита (K_1): конгломерато-брекчии, брекчии, конгломераты, прослои песчаников; 4 – среднебалейская свита (K_1): песчаники, алевролиты, прослои конгломератов, гравелитов, конгломератобрекчий; 5 – нижнебалейская свита (K_1): неравномерно-галечные конгломераты, прослои песчаников; 6 – шадоронская серия ($J_{2,3}$): порфириды, лаво- и туфобрекчии, туфы, конгломераты; 7 – дайки диоритовых порфиридов ($J_{2,3}$); 8 – ундинский гранитоидный комплекс (C_3u): контаминированные породы кровли – гнейсовидные, шлировидные биотитовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты; 9 – борщовочный гранитоидный комплекс ($J_2?b$): порфиридные биотитовые граниты; 10 – кварцевые жилы и зоны окварцевания; 11 – зоны глубинных разломов; 12 – тектонические нарушения; 13 – границы купольных структур / Fig. 1. Schematic geologic-structural map of the Baley ore field (by [7] with changes): 1 – kamenskaya set (K_1): boulder-pebble conglomerates; 2 – novotroitskaya set (K_1): sandy medium sandstone, sandstone, mixed and garbage, breccia; 3 – verkhnebalaleiskaya–unizhotrovitskaya sets (K_1): koglomeratobrekccia, breccia, conglomerates, sandstone interlayers; 4 – middle baley formation (K_1): sandstones, siltstones, interlayers of conglomerates, gravelites, conglomerate breccias; 5 – lower baley formation (K_1): uneven pebble conglomerates, sandstone interlayers; 6 – shadoron series ($J_{2,3}$): porphyrites, lava-and tuff breccias, tuffs, conglomerates; 7 – dikes of diorite porphyrites ($J_{2,3}$); 8 – undinsky granitoid complex (C_3u): contaminated roofing rocks – gneissoid, schliarous biotite granites, granodiorites, quartz diorites; 9 – borschvochny granitoid complex ($J_2?b$): porphyritic biotite granites; 10 – quartz veins and zones of silicification; 11 – zones of deep-seated raloms; 12 – tectonic disturbances; 13 – the boundaries of dome structures

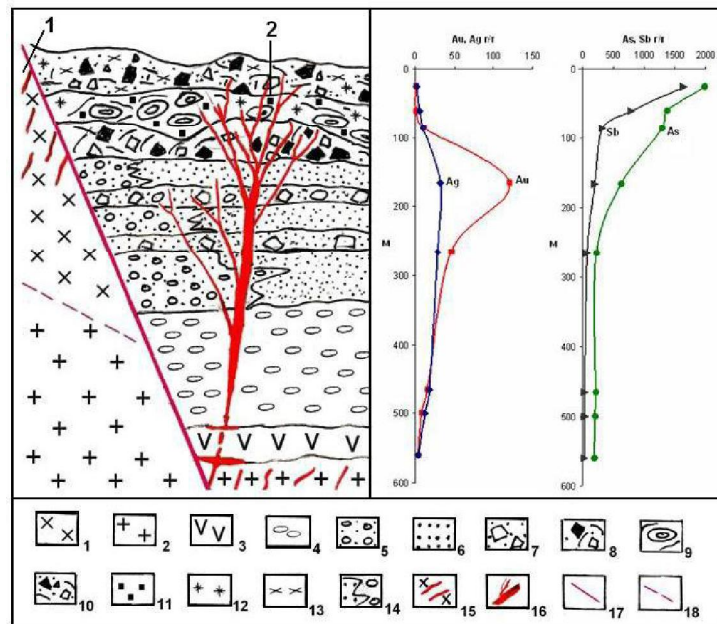


Рис. 2. Схематический разрез БалеЙского (1) и Тасеевского (2) месторождений: 1 – гранодиориты, вмещающие БалеЙское месторождение; 2 – палеозойские ундинские граниты фундамента БалеЙского грабена в основании Тасеевского месторождения; 3 – юрские вулканы шадоронской серии; 4 – верхнеюрские конгломераты тургинской свиты; 5 – мелкогалечные конгломераты, гравелиты и песчаники; 6 – песчаники; 7 – конгломерато-брекчии; 8 – вулканические брекчии, сцементированные опал-халцедоновым материалом; 9 – гейзериты и опалиты; 10 – брекчированные опалиты и гейзериты с пирит-мельниковитом, аурипигментом, реальгаром, антимонитом; 11 – пирит-мельниковит; 12 – антимонит; 13 – аурипигмент и реальгар; 14 – фациальные границы; 15–16 – золоторудные жилы месторождений (15 – БалеЙского, 16 – Тасеевского (I рудная зона)); 17 – установленные тектонические границы; 18 – предполагаемые тектонические границы / Fig. 2. Schematic section of the Baley (1) and Tasey (2) deposits: 1 – granodiorites containing the Baley deposit; 2 – Paleozoic undinsky granites of the basement of the Baley graben at the base of the Tasey deposit; 3 – Yursky volcanic rocks of the Shadoron series; 4 – Upper Jurassic conglomerates of the Turginsky set; 5 – small-pebble conglomerates, gravelites and sandstones; 6 – sandstones; 7 – conglomerate-mantles; 8 – volcanic breccias, cemented by opal-chalcedonian material; 9 – geysierites and opalites; 10 – brecciated opalites and geysierites with pyrite-melnikovite, orpiment, realgar, antimonite; 11 – pyrite-melnikovite; 12 – antimonite; 13 – orpiment and realgar; 14 – facial boundaries; 15–16 – gold ore veins of the deposits (15 – Baley, 16 – Tasey (I ore zone)); 17 – established tectonic boundaries; 18 – estimated tectonic boundaries

Другая группа крутопадающих жил имеет в составе жильного материала обломки сульфидно-турмалиново-кварцевых агрегатов среди халцедоновидного кремневидного кварца. Подрудная часть жильных зон находится в эффузивах шадоронской серии и подстилающих их палеозойских выветрелых гранитоидах фундамента ундинского комплекса. Рудные зоны приурочены к серии крутых параллельных сбросов СВ простирания [7; 9]. Околорудные изменения аналогичны таковым на БалеЙском месторождении. Предыдущими исследованиями оценены температуры формирования продуктивных рудных жил [7]. Для БалеЙского они варьировали в пределах 250...220 °С для ранней ассоциации и 230...220 °С – для поздней, для Тасеевского – в пределах 230...200 °С, при

этом градиент формирования кварца от ранних зон к поздним составлял 15...25 °С, реже достигал 40...50 °С [7; 9]. Оценки температур проведены по данным гомогенизации газовой-жидких включений поздних генераций в основном пострудного кварца. Пригодные для изучения включения в ранних, продуктивных агрегатах жильного кварца отсутствуют. В результате серии экспериментов по газотделению (вода, углекислота) в вакууме из продуктивного кварца Тасеевского месторождения нами определено, что максимумы приходится на интервал 300...400 °С.

Таким образом, представленные объекты являют собой типичные крупные месторождения МЗСФ с вертикальным размахом промышленного оруденения менее 300 м. Несмотря на повышенное внимание исследова-

дователей к этому объекту, ряд вопросов остался нерешенным или дискуссионным, в том числе минералого-геохимическая зональность, к одному из аспектов которой относятся данные по изучению стабильных изотопов главных минералов жил.

Настоящая работа представляет первые данные по изотопному составу кислорода жильного кварца (кварца, халцедона, опала) рассматриваемых месторождений.

Материал и методы исследования. Для изотопного анализа кислорода использовались только чистые минералы (в виде осколков) общей массой 1,5...2,5 мг. Нами изучены образцы, отобранные в 1983–1989 гг. с трех горизонтов Северного карьера наиболее эродированной части Бaleyского месторождения, а также образцы из карьера (четыре горизонта) и подземных горных выработок (один горизонт) Тасеевского месторождения, преимущественно характеризующие I рудную зону. Для сравнения выполнен анализ халцедоновых миндалинов палеовулканов Зун-Торей и Дунда-Ага, максимально приближенные к палеоповерхности образования. Характеристика образцов и места их отбора показаны в таблице.

Изотопный состав кислорода определяли в Геологическом институте СО РАН (одним из авторов) в виде O_2 на газовом масс-спектрометре FINNIGAN MAT 253 с использованием двойной системы напуска в классическом варианте (стандарт–образец). Подготовку образцов для определения величин $\delta^{18}O$ проводили методом лазерного фторирования (ЛФ) на установке «Лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов» в присутствии реагента BrF_5 по методу [14]. Расчеты $\delta^{18}O$ выполнены относительно международного стандарта NBS-28 (кварц). Правильность полученных значений контролировалась регулярными измерениями UWG-2 (гранат), а также внутреннего стандарта ГИ-1 (кварц) и лабораторного ИГЕМ РАН Polaris (кварц). Погрешность полученных значений величин $\delta^{18}O$ находилась на уровне $(1s) \pm 0,2 \text{ ‰}$. Содержание золота определено методом AAS по методике FA1515 с нижним пределом определения 0,005 г/т.

Коэффициент $K (H_2O/CO_2)$ установлен в пластинках кварца $1...2 \times 2...3$ см толщи-

ной 0,1...0,5 мм, методом ИКС по соотношению полос поглощения 3400 см^{-1} (вода) и $2360...2390 \text{ см}^{-1}$ (углекислота) в лаборатории минералогии ЗабНИИ (1989). Основные результаты этих исследований изложены в работе [9]. Для изучения изотопного состава кварца использованы те же образцы.

Результаты исследования и их обсуждение. Определения соотношений изотопов кислорода в кварце и величины содержаний золота даны в таблице. Установлено, что максимальными значениями $\delta^{18}O$ характеризуются опал и халцедон миндалинов юрско-меловых эффузивов, в которых доля легкого кислорода невелика ($\delta^{18}O = +14,2 \div +10,9 \text{ ‰}$). Переходные значения ($\delta^{18}O = +10,5 \div +7,4 \text{ ‰}$) типичны для опалитов и опал-халцедоновых образований верхней приповерхностной и надрудной частей I рудной зоны Тасеевского месторождения (образцы 401/14–252/14), характеризующих интервал абсолютных отметок 590...535 м, где содержания золота находятся в пределах 0,168...38,9 г/т. Их формирование, судя по взаимоотношениям минералов кремнезема с вмещающими породами, происходило как непосредственно в условиях, близких к дневной палеоповерхности (обр. 401/14 – 400/14), так и до глубины 70 м (горизонт 89 м от современной поверхности юго-западной части I рудной зоны, представлявшей собой уровень, близкий к палеоповерхности во время формирования верхней части месторождения).

Для продуктивного халцедоновидного кварца рудной зоны, горизонт 266 м от дневной поверхности, содержащего 41,2...1230 г/т золота, доля тяжелого изотопа резко уменьшается ($\delta^{18}O = +1,7 \text{ ‰}$), что заметно отличает эти месторождения от руд Дукатского месторождения [6].

Образцы 29/14, 41/14 и 9/14, характеризующие жильный кварц Бaleyского месторождения, представленные тонко-мелкозернистым, пластинчато-шестоватым кварцем, ассоциирующимся с диккитом, отличаются минимальными, в том числе отрицательными, величинами доли $\delta^{18}O (+0,8 \div -2,6 \text{ ‰})$. При этом также отмечается тенденция к уменьшению доли тяжелого изотопа с глубиной.

Изотопный состав кислорода в кварце различных глубин / Oxygen isotopic composition in quartz of various depths

Место-рождение / Ore Deposit	Номер образца / No.	Материал / Material	Позиция в вертикальном разрезе / Vertical position	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ кварца / $\delta^{18}\text{O}$ ‰ quartz	T, °C	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ H_2O	Содержание Au, г/т / Au content, g / t
Зун-Торей / Zun-Torey	101 Тор	Халцедон / Chalcedony	Ближеповерхностный. Миндалина в кровле вулканитов / Near surface. Almond in the roof of volcanics	14,2			Н. о.
	102 Днд	Халцедон / Chalcedony	Ближеповерхностный. Миндалина в 50 м от вершины палеовулкана / Near surface. Almond 50 m from the top of the paleovolcano	12,4			Н. о.
	101 Днд	Халцедон / Chalcedony	Ближеповерхностный. Миндалина в 90 м от вершины палеовулкана / Almond 90 m from the top of the paleovolcano	10,9			Н. о.
Тасеевское, I рудная зона / Taseevskoe, I ore zone	401/14	Опалит / Opalite	Верхняя часть толщи гейзеритов в надрудной зоне с антимонитом, абс. отметка 590 м, глубина 5 м / The upper part of the geysierite stratum in the nadrud zone with antimonite, abs. mark 590 m, depth 5 m	10,5	190	-2,4	0,168
	400/14	Опалит / Opalite	Верхняя часть толщи полосчатых гейзеритов абс. отметка 570 м, глубина 25 м / The upper part of the band of banded geysierites abs. mark 570 m, depth 25 m	10,2	190	-2,7	0,347
	206/14	Опал-халцедон / Opal-Chalcedony	Жильный материал в песчаниках надрудной зоны горизонт 545 м, глубина 50 м / Vein material in the sandstones above the ore zone horizon 545 m, depth 50 m	9,4	200	-2,8	16,8
	252/14	Полосчатый микрозернистый кварц и халцедон / Striped microgranular quartz and chalcedony	Выклинивание пологой жилы на горизонте 535 м в надрудной зоне, глубина 60 м / Pinching flattened veins on the horizon of 535 m above the ore zone, depth 60 m	8,8	200	-3,4	38,9
	268/14-1	Халцедон-опал / Opal-Chalcedony	Пологая жила в средней части надрудной зоны. Отметка 535 м, глубина 60 м / Shelf vein in the middle part above the ore zone. Mark 535 m, depth 60 m	7,4	200	-4,8	12,6
Балейское / Baleysskoye	400-ю / 400-уи	Полосчатый рудный халцедон / Striped ore chalcedony quartz	Горизонт отработки 266 м от дневной поверхности, рудный столб / The mining horizon is 266 m from the surface, ore column	1,7	220	-8,8	41,2
	399-ю / 399-уи	Полосчатый рудный халцедон / Striped ore chalcedony quartz	Горизонт отработки 266 м от дневной поверхности рудный столб / The mining horizon is 266 m from the surface, ore column	1,7	220	-8,8	1230
	29/14	Тонкозернистый рудный кварц / Fine Ore Quartz	Средний уступ Северного карьера. Приподнятый блок / Middle bench of the North Pit. Raised block	0,8	230	-9,7	2,18
Балейское / Baleysskoye	41/14	Мелкозернистый массивный рудный кварц / Fine-grained massive ore quartz	Уступ второй снизу. Приподнятый блок. Северный карьер / Second bench from below. Raised block. North Quarry	-1,3	240	-11,2	7,37
	9/14	Пластинчато-шестоватый кварц / Plate-shaped quartz	Дно Северного карьера / The bottom of the North Pit	-2,6	250	-12,1	0,651

Как известно, изотопный состав кислорода жильного кварца и его разновидностей зависит от многих факторов, среди которых важное значение имеют процессы изотопного фракционирования и их зависимость от температуры процесса минералообразования. При этом должны соблюдаться три допущения: установление равновесия реакций изотопного обмена, постоянства изотопного состава кислорода после установления равновесия и экспериментальное определение температурной зависимости коэффициентов разделения изотопов. Изучение эпипермальных и мезотермальных жильных месторождений золота [2–5; 10] показало, что важную роль в формировании изотопного баланса кислорода кварца, помимо температуры, играл процесс смешения флюидов разных источников. Так, для эпипермальных месторождений главным фактором изотопного облегчения предполагаются именно метеорные воды [8; 13; 14].

С этим мы сталкиваемся при попытке объяснить полученные результаты. Если исходить из данных термобарометрии кварца и выявленных температурных градиентов [7], изотопный состав кислорода флюида, рассчитанный для температур 250...190 °С, указывает на существенную роль метеорных вод в формировании руд при полном сходстве полученных данных с другими эпипермальными месторождениями золота [10]. Однако, как обосновано ранее, использованные температуры гомогенизации не отражают условий формирования продуктивного кварца Балейского рудного поля.

Заключение. Изотопный состав кислорода в кварце имеет тенденцию к уменьшению доли тяжелого изотопа с глубиной. Она максимальна для халцедона из миндалин в эффузивах и уменьшается с глубиной в разрезе I рудной зоны от верхних опал-халцедо-

новых его разновидностей к более глубоким тонкозернистым и пластинчато-шестоватым, коррелируя с барическим коэффициентом K , отражающим либо величину эрозионного среза, либо градиенты давления при формировании жил. Этот тренд продолжает проявляться для образцов жильного кварца из карьера Балейского месторождения, где он представлен преимущественно массивными и пластинчато-шестоватыми агрегатами при уменьшении доли тонко-полосчатых. Образцы характеризуются минимальными значениями доли тяжелого изотопа кислорода. Они определяют наиболее глубокие части рудной колонны. Однако, будучи взброшенными тектоническими процессами, типичными для Тасеевской части рудного поля, оказались в приповерхностной зоне и относительно интенсивно эродированными. Таким образом, представление о том, что Балейское месторождение аналогично нижним горизонтам Тасеевского и представляет собой нижние горизонты рудно-магматической системы (см. рис. 2), максимально приближенные к магматическому источнику, получило новое подтверждение. Об этом свидетельствуют данные и о геохимической зональности Балейского месторождения, и о наиболее высоком содержании кобальта в пирите. Традиционно принято считать, что доля легкого изотопа кислорода представляет собой вклад поверхностных вод в минералообразующую систему. Следовательно, изотопный состав кислорода в кварце, с приближением к магматическому источнику должен утяжеляться. Однако полученные результаты не вписываются в эти представления, хотя явно отражают выявленную ранее минеральную вертикальную зональность. Поэтому для решения задачи необходимо продолжение исследований.

Список литературы

1. Баскина В. А., Дубинина Е. О., Авдеенко А. С. О природе рудоносных флюидов на Дальнегорском боросиликатном месторождении (Приморье) // Доклады Российской академии наук. 2011. Т. 436, № 3. С. 363–367.
2. Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Бахарев А. Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха (Якутия), Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49, № 2. С. 99–145.
3. Горячев Н. А., Викентьева О. В., Бортников Н. С., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Голуб В. В. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2008. Т. 50, № 5. С. 414–444.

4. Иконникова Т. А., Дубинина Е. О., Сароян М. Р., Чугаев А. В. Изотопный состав кислорода жильного кварца и вмещающих пород на месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51, № 6. С. 560–567.
5. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук: 25.00.11. М., 2017. 52 с.
6. Савва Н. Е. Минералогия серебра Северо-Востока. М.: Триумф, 2018. 544 с.
7. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 291 с.
8. Юргенсон Г. А. Малоглубинные месторождения золота и серебра, условия образования и минералого-геохимическая технология их глубинных поисков и оценки // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия «Естественные науки». 2011. № 1. С. 136–145.
9. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и прогноз золотосеребряного оруденения. Чита: ЗабГУ, 2014. 170 с.
10. Kerrich R. The stable isotope geochemistry of Au-Ag vein deposits in metamorphic rocks // Short Course Handbook. 1987. Vol. 13. P. 287–336.
11. Pokrovski G. S., Borisova A. Y., Akinfiyev N. N., Zotov A. V., Kousmanov K. Gold speciation and transport in geological fluids: insights experiments and physical-chemical modelling // Geological Society. Special Publications. 2014. Vol. 402, No. 1. P. 9–70.
12. Sharp Z. D. A laser-based microanalytical method for the in situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990. Vol. 54, No. 5. P. 1353–1357.
13. Taylor B. E. Stable isotope geochemistry of ore-forming fluids // Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Processes. Michigan, 1987. P. 337–445.
14. Taylor H. P. Oxygen and hydrogen isotope relations in hydrothermal mineral deposits // Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. New York: John Wiley & Son, 1979. P. 235–277.

References

1. Baskina V. A., Dubinina E. O., Avdeenko A. C. *Doklady Rossiyskoy akademii nauk* (Reports of the Russian Academy of Sciences), 2011, vol. 436, no. 3, pp. 363–367.
2. Bortnikov N. S., Gamyarin G. N., Vikentyeva O. V., Prokofiev V. Yu., Alpatov V. A., Bakharev A. G. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2007, vol. 49, no. 2, pp. 99–145.
3. Goryachev N. A., Vikentyeva O. V., Bortnikov N. S., Prokofiev V. Yu., Alpatov V. A., Golub V. V. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2008, vol. 50, no. 5, pp. 414–444.
4. Ikonnikova T. A., Dubinina E. O., Saroyan M. R., Chugaev A. V. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2009, vol. 51, no. 6, pp. 560–567.
5. Kryazhev S. G. *Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnyh mestorozhdeniy v uglerodistoterrigennykh kompleksah: avtoref. dis. ... d-ra geol.-minер. наук: 25.00.11* (Genetic models and forecast criteria for gold deposits in carbon-terrigenous complexes: abstract. dis. ... dr. geol.-minер. sciences: 25.00.11). Moscow, 2017, 52 p.
6. Savva N. E. *Mineralogiya srebra Severo-Vostoka* (Mineralogy of silver of the North-East). Moscow: Triumph, 2018. 554 p.
7. Spiridonov A. M., Zorina L. D., Kitaev N. A. *Zolotonosnye rudno-magmatische sistemy Zabaykaliya* (Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia). Novosibirsk: GEO, 2006. 291 p.
8. Yurgenson G. A. *Uchenye zapiski Zabaykalskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya "Estestvennye nauki"* (Scientific Notes of the Transbaikal State Humanitarian and Pedagogical University. Series "Natural Sciences"), 2011, no 1. pp. 136–145.
9. Yurgenson G. A. *Tipomorfizm i prognoz zolotoserebryanogo orudneniya* (Typomorphism and forecast of gold-silver mineralization). Chita: Transbaikal State University, 2014. 170 p.
10. Kerrich R. *Short Course Handbook* (Short Course Handbook), 1987, vol. 13, pp. 287–336.
11. Pokrovski G. S., Borisova A. Y., Akinfiyev N. N., Zotov A. V., Kousmanov K. *Geological Society. Special Publications* (Geological Society. Special Publications), 2014, vol. 402, no. 1, pp. 9–70.
12. Sharp Z. D. *A. Geochimica et Cosmochimica Acta* (Geochimica et Cosmochimica Acta), 1990, vol. 54, no. 5, pp. 1353–1357.
13. Taylor B. E. *Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Processes* (Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Processes). Michigan, 1987, pp. 337–445.
14. Taylor H. P. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits). New York: John Wiley & Son, 1979, pp. 235–277.

Выполнено при поддержке гранта РФФИ (№18-05-00673А) и проекта IX.137.1. 2
(тема № 0386-2017-0006)

Коротко об авторах

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минер. наук, зав. лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН; профессор кафедры химии, Забайкальский государственный университет; заслуженный деятель науки РФ, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, геохимия, рудогенез, геммология
yurgga@mail.ru

Горячев Николай Анатольевич, д-р геол.-минер. наук, профессор, член-корреспондент РАН, гл. науч. сотрудник, Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан; гл. науч. сотрудник, Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия. Область научных интересов: геология рудных месторождений, геохимия и минералогия благородных металлов
goryachev@neisri.ru

Посохов Виктор Федорович, ст. науч. сотрудник, Институт геологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. Область научных интересов: изотопия химических элементов
gin@gin.bscnet.ru

Briefly about the authors

Georgy Yurgenson, doctor of geological and mineralogical sciences, head of Geochemistry and Ore Genesis laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Honored Scientist of the Russian Federation, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, geochemistry, ore genesis, gemology

Nikolay Goryachev, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution North-Eastern Complex Scientific Research Institute named after N. A. Shilo FEB RAS, Magadan, Chief Researcher, Federal State Budgetary Institution Institute of Geochemistry named after A. P. Vinogradov SB RAS, Irkutsk, Russia. Sphere of scientific interests: geology of ore deposits, geochemistry and mineralogeny of precious metals

Victor Posokhov, senior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). Sphere of scientific interests: isotopy of chemical elements

Образец цитирования

Юргенсон Г. А., Горячев Н. А., Посохов В. Ф. Первые данные об изотопах кислорода кварца Бaleyского рудного поля // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 9. С. 33–41. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-9-33-41.

Yurgenson G., Goryachev N., Posokhov V. First data on the isotopes of quartz oxygen of the Baley ore field // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 9, pp. 33–41. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-9-33-41.

Статья поступила в редакцию: 09.09.2019 г.
Статья принята к публикации: 05.11.2019 г.