

ВОЗРАСТ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛИМПИАДИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ, РОССИЯ)

© 2019 г. Н. А. Гибшер^а, А. М. Сазонов^{б,**}, А. В. Травин^{а, с, d,***},
А. А. Томиленко^а, А. В. Пономарчук^а, С. А. Сильянов^б, Н. А. Некрасова^б,
Е. О. Шапаренко^а, М. А. Рябуха^{а,*}, М. О. Хоменко^а

^а Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева ИГМ СО РАН
Россия, 630090 Новосибирск, просп. Коптюга, 3

^б Институт горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета
Россия, 660041 Красноярск, просп. Свободный, 79

^с Новосибирский государственный университет
Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1

^д Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073 Новосибирск, просп. К. Маркса, 20

e-mail: *marya.ryabukha@mail.ru; **sazonov_am@mail.ru; ***travin@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 27.06.2018 г.

После доработки 05.07.2018 г.

Принята к публикации 12.07.2018 г.

Сопоставлены ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировки кварц-слюдисто-сульфидных, кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых и кварц-золото-сурьмяных ассоциаций на сверхкрупном (более 1000 т Au) золоторудном Олимпиадинском месторождении на Енисейском кряже. Установлено, что гидротермальная деятельность на месторождении продолжалась не менее 100 млн лет в период от 817 до 719 млн лет.

Ключевые слова: золото, Ar-Ag возраст, золоторудные месторождения

DOI: 10.31857/S0016-7525645548-553

Олимпиадинское золоторудное месторождение на Енисейском кряже с запасами золота более 1500 т относится к сверхкрупным объектам и заслуживает изучения условий локализации руд и генетических особенностей по мере продолжающихся эксплуатационных работ. Образование крупных (>100 т Au) и сверхкрупных (>500 т Au) месторождений золота характеризуется многократными проявлениями метаморфизма, метасоматоза и гранитообразования, при этом ведущую роль играет фактор времени, продолжительность формирования (Рундквист, 1997; Сафонов, 2003). Так, гигантское месторождение в Сибири, Сухой Лог с запасами золота около 1100 т формировалось почти на протяжении 700 млн лет (Рундквист, 1997; Сафонов, 2003). Продолжительность формирования золоторудного месторождения Мурунтау (Узбекистан) с запасами золота свыше 1500 т составляет более 90 млн лет (Шаякубов и др., 1991; Сафонов, 2003). Образование Советского месторождения на Енисейском кряже, где уже добыто свыше 100 т золота, продолжалось более 100 млн лет (Tomilenko et al.,

2010). Сверхкрупное месторождение Благодатное, расположенное в 25 км севернее месторождения Олимпиада, открытое в 60-х годах прошлого века и введенное в эксплуатацию в 2008 году, содержит в рудах гидротермальную минерализацию с возрастом 781.2 ± 4.5 ; 754.1 ± 7.2 ; 698 ± 13 и 364 ± 7 млн лет (Sazonov et al., 2009). В рудах месторождения Эльдorado Перевальнинского рудного поля (в 30 км северо-восточнее месторождения Олимпиада), с уникальными по запасам и содержаниями золота в россыпях и крупной по ресурсам коренной золотоносностью, продуктивный кварц с арсенопиритовой и золоторудной минерализацией образовался 795 млн лет, сфалерит-галенитовая минерализация с рекристаллизованным золотом — 780 млн лет назад, а завершился гидротермальный процесс формированием калишпатовых прожилков с кварцем, хлоритом, турмалином, пиритом и гематитом 549.8 ± 4.6 млн лет назад (Полева, Сазонов, 2012; Сазонов и др., 2016).

В данной работе изложены новые представления о возрасте формирования и длительности рудогенеза на сверхкрупном золоторудном Олимпиадинском месторождении на Енисейском кряже. По данным Л.В. Ли (2003), месторождение расположено в пределах Центрального антиклинория Енисейского кряжа, залегает в метаосадочной толще пород эпидот-амфиболитовой фации кординской свиты рифейского возраста. Гранитоидные интрузии Чиримбинского массива непрерывным полукольцом окружают рудное поле на юге и западе, мелкие штоки обнажаются на севере и северо-востоке, но на дневной поверхности в пределах месторождения не вскрываются. По мнению Л.В. Ли (2003), месторождение размещается над провесом кровли гранитоидной интрузии, которая, по геофизическим данным, находится на глубине 1–3 км от современной поверхности, но по материалам геолого-разведочных работ последних лет пород контактового ореола и гранитоидов на этих глубинах не установлено. Пространственно рудное поле месторождения размещается в зоне влияния Татарского глубинного разлома. На территории месторождения выделено два взаимосвязанных участка: Западный с тремя рудными телами и Восточный – с крупным, самым богатым рудным телом, где сосредоточено 90% запасов руд, на глубину оно не оконтурено. По геолого-раз-

ведочным работам признаков выклинивания руд на глубинах 1000–1500 м не выявлено. Гидротермальная деятельность на месторождении началась с формирования скарноидов, углеродистых метасоматитов и турмалинизированных пород. Собственно золоторудные метасоматиты – джаспероиды с золото-арсенопиритовой вкрапленностью имеют площадное распространение. В рудных телах отмечаются жилы незолотоносного кварца в ассоциации с серицитом, мусковитом, биотитом, пиритом и пирротинном. Производственными работами и опубликованными материалами (Генкин и др., 1994; Ли, 2003; Сердюк и др., 2010) выявлено распространение на Олимпиадинском месторождении ранней кварц-золото-пирротин-арсенопиритовой минеральной ассоциации, которая сменяется более поздней кварц-золото-сурьмяной.

Для термохронологических реконструкций нами проведен тщательный отбор К-содержащих минералов (серицита и мусковита) из минеральных парагенезисов с различным содержанием золота, начиная с незолотоносных кварц-слюдисто-сульфидных образований до золотосодержащих рудных тел и заканчивая сурьмяными ассоциациями (таблица). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования проведены на 16 образцах, взятых из 9 скважин в интервале глубин от 39 (скв. 503,

Таблица. Изотопные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки рудообразования на Олимпиадинском месторождении (Енисейский кряж)

N скважины/ глубина, м	Минерал	Возраст плато, млн лет	Содержание в интервале		
			Au, г/т	As, мас. %	Sb, мас. %
<i>Незолотоносная кварц-слюдисто-сульфидная ассоциация</i>					
183/216.5	мусковит	810.1±6.5	незначимые		
1823/548	мусковит	817.1±6.3	незначимые		
35/111	мусковит	808.4±7.7	незначимые		
<i>Кварц-золото-арсенопирит-пирротинная ассоциация</i>					
503/303	мусковит	784.5±6.2	4.0	0.02	0.0
504/94.05	серицит	792.4±6.3	6.40	0.07	0.01
506/323.5	серицит	790.0±6.0	1.6	0.84	0.01
507/20	серицит	792.4±6.0	0.6	0.0	0.0
510/718.5	серицит	795.8±6.2	4.0	0.26	0.0
186/365	серицит	803.0±6.1	16.2	1.86	0.01
1823/514.8	серицит	788.0±6.1	1.5	0.4	0.0
1823/601.8	серицит	758.0±6.0	4.1	0.43	0.0
<i>Кварц-золото-сурьмяная ассоциация</i>					
503/39	серицит	727.0±6.0	21.6	2.16	1.78
503/49	серицит	718.8±5.6	0.3	0.06	0.01
503/202.9	серицит	757.7±5.9	10.8	0.02	4.42
503/260.5	серицит	795.2±5.8	0.5	0.02	0.17
503/473.5	серицит	660.0±19.0	1.2	11.5	0.26

гл. 39 м) до 718.5 м (скв. 510, гл. 718.5 м) самого богатого рудного тела № 4 на месторождении. Изотопные исследования проведены в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) по методике, изложенной в работе (Травин, 2016).

В возрастных спектрах всех исследованных образцов выделяется четкое возрастное плато. Учитывая, что температуры закрытия изотопной системы слюд сопоставимы с температурами гидротермальных преобразований, полученные датировки должны соответствовать времени образования соответствующих минеральных парагенезисов. Таким образом, приведенные в таблице $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ значения возраста плато позволяют нам восстановить хронологические связи между событиями, в результате которых сформировалось уникальное по запасам и генезису Олимпиадинское месторождение. Гидротермальная деятельность на месторождении начиналась с формирования разнообразных по составу метасоматитов (Ли, 2003). К одному из них мы отнесли и незолотоносные кварц-слюдисто-сульфидные ассоциации, возраст которых составляет интервал $817.1 \pm 6.3 - 808.4 \pm 7.7$ млн лет (рис. 1). Затем последовала кристаллизация основного кварц-золото-арсенопирит-пирротинового метасоматического парагенезиса во временном интервале от 803.0 ± 6.1 до 758.0 ± 6.0 млн лет, где преобладают датировки от 795 до 784 млн лет (таблица, рис. 2). Поздняя золото-сурьмяная ассоциация формировалась в период от 795.2 ± 5.8 до 660.0 ± 19.0 млн лет с преобладанием молодых датировок в интервале 757–718 млн лет (таблица, рис. 3).

На основании сопоставления $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок изученных парагенезисов следует, что гидротермальная деятельность на Олимпиадинском месторождении продолжалась во временном интервале не менее 100 млн лет (от 817 до 719 млн лет). В этот интервал попадают датировки событий, полученные другими методами. По данным Л.В. Ли (2003), для рудных залежей Олимпиадинского месторождения получены следующие значения возраста (К-Аг метод) – 811, 765, 754 млн лет. Радиологический возраст руд месторождения (по мусковиту, К-Аг метод) составляет 877–771 млн лет, а метаморфизм рудовмещающих сланцев протекал в период от 996.0 ± 32 до 889.0 ± 26.6 млн лет (Сазонов и др., 2016). На Олимпиадинском месторождении изохронным рубидий-стронциевым методом проанализированы серицит-(мусковит)-кварц-карбонатные метасоматиты, ассоциированные

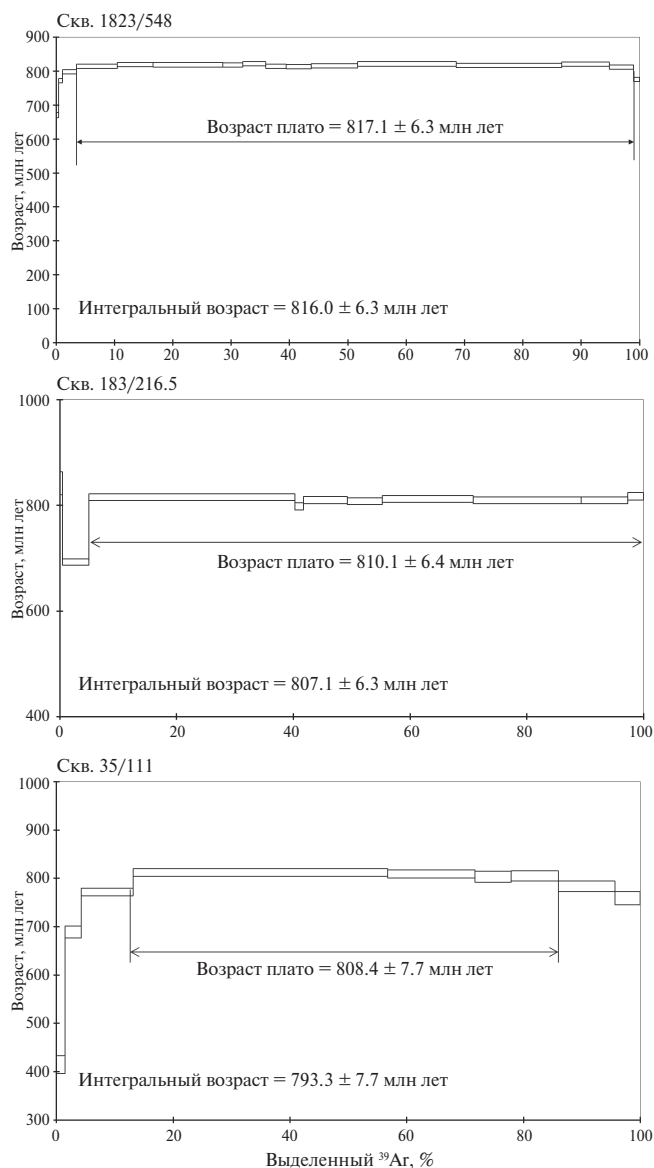


Рис. 1. Спектры $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастов незолотоносной кварц-слюдисто-сульфидной минеральной ассоциации Олимпиадинского месторождения.

с ранней продуктивной золото-арсенопиритовой минерализацией, получена изохрона с возрастом 794 ± 15 млн лет, а для поздней сурьму-содержащей минерализации – 615 ± 15 млн лет (Новожилов, Гаврилов, 1999; Новожилов и др., 2014). Возраст рекристаллизованных арсенопиритовых агрегатов в ассоциации с сурьмяной минерализацией по Re/Os методу соответствует 689 ± 28 млн лет (Vorisenko et al., 2014).

Возраст кристаллизации многофазного Чиримбинского массива, обнажающегося на юге и юго-западе рудного поля, составляет по одним данным 840 ± 150 млн лет (Волобуев и др., 1973), а по другим – 868.9 ± 6.5 млн лет (Сазонов и др., 2016) и 761.5 ± 8.0 (Верниковская и др., 2002).

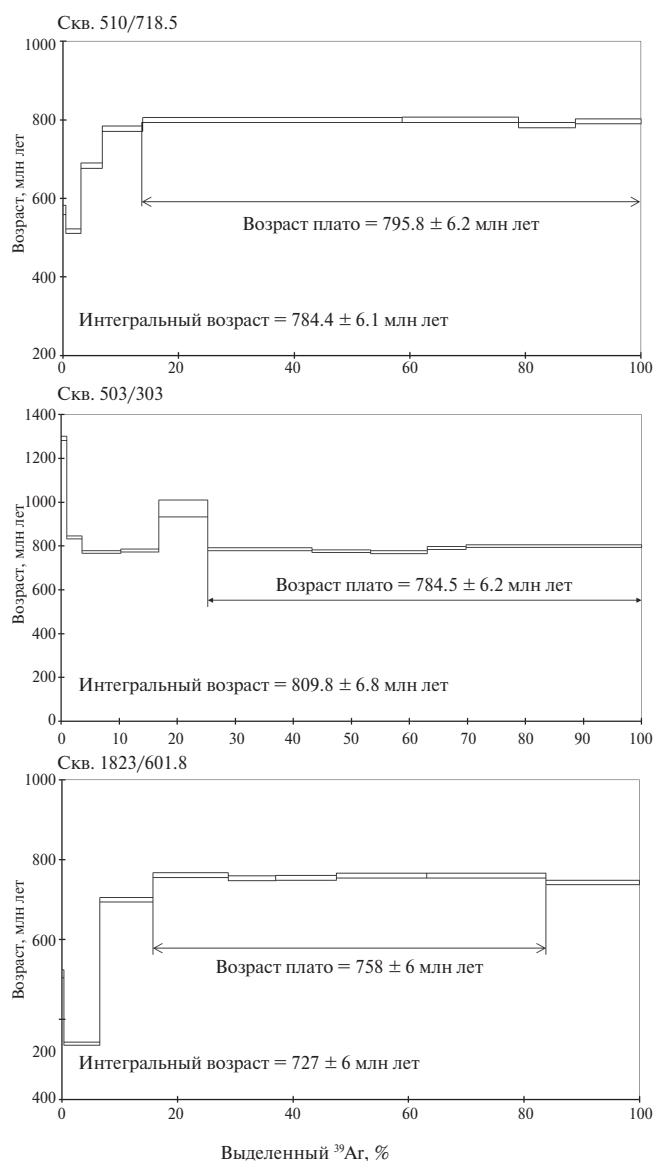


Рис. 2. Спектры $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастов кварц-золото-арсенопирит-пирротиновой минеральной ассоциации Олимпиадинского месторождения.

Остывание этого массива до температуры закрытия $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ системы биотита произошло 721.4 ± 1.6 млн лет назад (Верниковская и др., 2002). Эти данные дают нам основание считать, что период от внедрения и кристаллизации до остывания и подъема к верхним уровням земной коры Чиримбинского plutона в интервале времени от 868 до 721 млн лет длился не менее 150 млн лет.

Возрастная общность золото-сурьмяного оруденения Олимпиадинского месторождения с гранитоидным магматизмом позволяет полагать, что зарождение и активная деятельность гидротермальных растворов тесно связаны со становлением интрузий гранитоидов и происходили в их длительно существовавшем тепловом

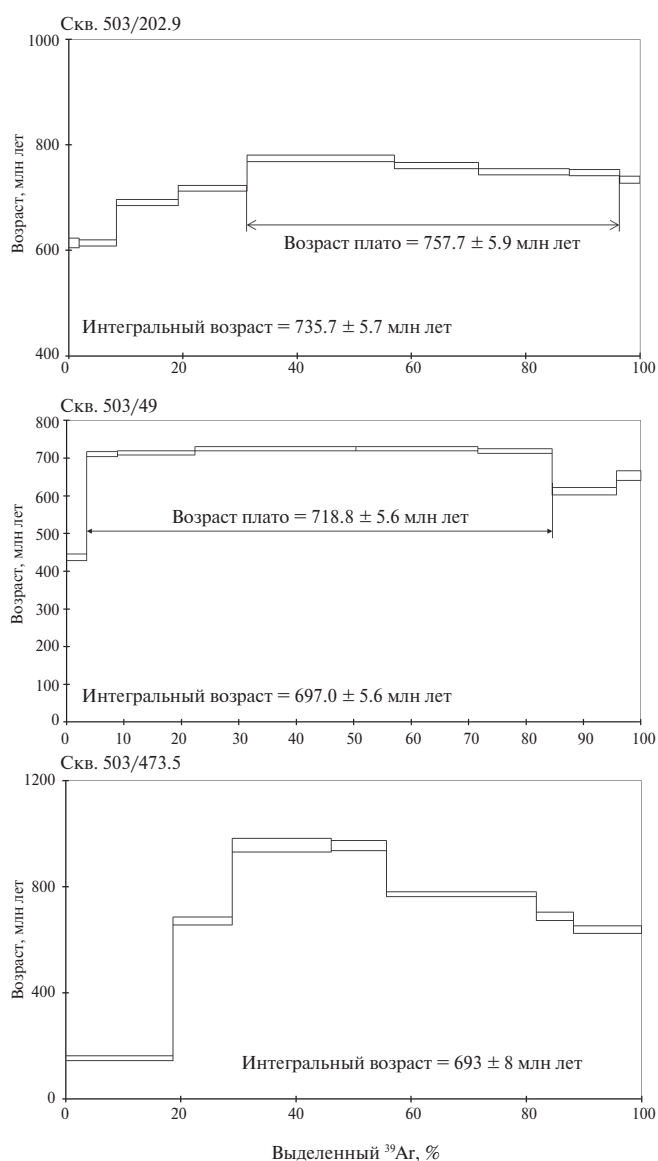


Рис. 3. Спектры $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастов кварц-золото-сурьмяной минеральной ассоциации Олимпиадинского месторождения.

поле. Такой крупный plutон, как Чиримбинский, мог обеспечить более медленное остывание области рудоотложения и тем самым поддерживать более длительное функционирование поднимающихся вверх рудоносных растворов.

Для формирования крупных месторождений золота необходимо совмещение целого ряда благоприятных физических и химических факторов, а не влияние какого-либо одного, специфического (Phillips et al., 1996; Sillitoe, Thompson, 1998; Хоменко и др., 2016). Сверхкрупное Олимпиадинское месторождение золота является ярким примером такого совмещения: нахождение рудного поля в зоне влияния глубинного разлома, благоприятные варианты геологической

структуры вмещающей среды (Ли, 2003; Новожилов и др., 2014), и размещение месторождения в поле теплового флюидного влияния крупной гранитоидной интрузии, а также отчетливо проявленная связь рудолокализации с кремнисто-карбонатными и углеродсодержащими метасоматитами. Изложенное в данной работе новое представление о длительности (более 100 млн лет) функционирования гидротермальных растворов явилось положительным и необходимым фактором при формировании Олимпиадинского месторождения с запасами золота более 1000 т.

Благодарности

Авторы признательны рецензентам за ряд конструктивных предложений и замечаний, учтенных в окончательном варианте рукописи.

Источник финансирования

Работа выполнена при поддержке Российской государственной программы исследований на 2013–2016 гг. Проект № 14-17-00602П, 17-05-00936. Проведенные минералогические и термохронологические исследования соответствуют государственному заданию НИР ИГМ СО РАН проекты № 0330-2016-0005, № 0330-2016-0013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б., Даценко В.М., Котов А.Б., Ковач В.П., Травин А.В., Яковлева С.З. (2002) Гранитоиды Ерудинского и Чиримбинского массивов Заангарья Енисейского кряжа – индикаторы неопротерозойских коллизионных событий. *Геология и геофизика* **43** (3), 259–272.
- Волобуев М.И., Ступникова Н.И., Зыков С.И. (1973) Енисейский кряж. Геохронология СССР, (Под ред. Полонинкина Ю.И.). Л.: Недра, т.1, с.189–201.
- Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А., Сафонов Ю.Г., Сергеев Н.Б., Керзин А.Л., Цепин А.И., Амштутц Х., Афанасьева З.Б., Вагнер Ф., Иванова Г.Ф. (1994) Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский кряж, Сибирь). *Геология рудных месторождений* **36** (2), 111–136.
- Ли Л.В. (2003) Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. Красноярск, КНИИГиМС, 119 с.
- Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М. (1999) Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. Месторождение Олимпиадинское. М., ЦНИГРИ, 175 с.
- Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М., Яблокова С.В., Арефьева В.А. (2014) Уникальное промышленное золото-сульфидное месторождение Олимпиада в верхнепротерозойских терригенных отложениях. *Руды и металлы* **3**, 51–64.
- Полева Т.В., Сазонов А.М. (2012) Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже. М.: «Иткор», 290 с.
- Рундквист Д.В. (1997) Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений: периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования. *Геология рудных месторождений* **39** (1), 11–24.
- Сазонов А.М., Некрасова Н.А., Звягина Е.А., Тишин П.А. (2016) Геохронология гранитов, вмещающих сланцев и руд месторождения золота Панимба (Енисейский кряж). *Journal of Siberian Federal University, Engineering & Technologies* **9** (2), 174–188.
- Сафонов Ю.Г. (2003) Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира – генезис и металлогенический потенциал. *Геология рудных месторождений* **45** (4), 305–320.
- Сердюк С.С., Коморовский Ю.Е., Зверев А.И., Оябрь В.К., Власов В.С., Бабушкин В.Е., Кириленко В.А., Землянский С.А. (2010) Модели месторождений золота Енисейской Сибири. Изд-во Сибирского Федерального Университета (СФУ), Институт горного дела, геологии и геотехнологий (ИГДГиГ), Красноярск, 582 с.
- Травин А.В. (2016) Термохронология раннепалеозойских коллизионных субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии. *Геология и геофизика* **57**(3), 553–574.
- Хоменко М.О., Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Рябуха М.А., Семенова Д.В. (2016) Физико-химические параметры и возраст формирования Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). *Геология и геофизика* **57** (12), 2192–2217.
- Шаякубов Т.Ш., Цой Р.В., Голованов И.М., Донской В.М., Яковлев В.Г. (1991) Мурунтауская сверхглубинная скважина. *Советская геология* **1**, 10–22.
- Borisenko A.S., Sazonov A.M., Nevolko P.A., Naumov E.A., Tossalina S., Kovalev K.R., Sukhorukov V.P. (2014) Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation. *Acta Geologica Sinica (English Edition)* **88** (2), 686–687.
- Phillips G.N., Groves D.I., Kerrich R. (1996) Factors in the formation of the giant Kalgoorlie gold deposit. *Ore Geol. Rev.* **10**, 295–317.
- Sazonov A.M., Gertner I.F., Zvyagina E.A., Tishin P.A., Poleva T.V., Leontyev S.I., Kolmakov Yu.V., Krasnova T.S. (2009) Ore-forming Conditions of the Blagodatk Gold Deposit in the Riphean Metamorphic Rocks of the Yenisey Ridge According to Geochemical and Isotopic Data. *Journal of Siberian Federal University, Engineering & Technologies* **2** (2), 203–220.
- Sillitoe R.H., Thompson J. F.H. (1998) Intrusion-related vein gold deposits: types, tectono-magmatic settings and difficulties of distinction from orogenic gold deposits. *Res. Geol.* **48**, 237–250.
- Tomilenko A., Gibsher N., Dublyansky Y., Dallai L. (2010) Geochemical and isotopic properties of fluid from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye gold deposit (Siberia, Russia). *Econ. Geol.* **106**, 375–394.

**AGE AND DURATION OF THE FORMATION
OF THE OLIMPIADINSKI GOLD DEPOSIT
(YENISEI RIDGE, RUSSIA)**

© 2019 N. A. Gibsher^a, A. M. Sazonov^{b,**}, A. V. Travin^{a,c,d,***},
A. A. Tomilenko^a, A. V. Ponomarchuk^a, S. A. Silyanov^b, N. A. Nekrasova^b,
E. O. Shaparenko^a, M. A. Ryabukha^{a,*}, M. O. Khomenko^a

^a V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
pr. Akademika Koptyuga 3, Novosibirsk 630090, Russia

^b Institute of Mining, Geology, and Geotechnology, Siberian Federal University,
pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk 660041, Russia

^c Novosibirsk State University, Pirogova Str. 2, Novosibirsk-90 630090, Russia

^d Novosibirsk State Technical University, 20, pr. K. Marksa, Novosibirsk 630073, Russia
e-mail: *marya.ryabukha@mail.ru; **sazonov_am@mail.ru; ***travin@igm.nsc.ru

Received: 27.06.2018

Received version received: 05.07.2018

Accepted: 12.07.2018

⁴⁰Ar/³⁹Ar datings of quartz-mica-sulfide, quartz-gold-arsenopyrite-pyrrhotite and quartz-gold-antimony associations at the ultra-large (more than 1000t. Au) Olimpiadinski gold deposit (Yenisei ridge) have been correlated. It was found that hydrothermal activity at the deposit lasted at least 150 ma.y. from 817 to 660 ma.y.

Keywords: gold, Ar-Ar age

(For citation: Gibsher N.A., Sazonov A.M., Travin A.V., Tomilenko A.A., Ponomarchuk A.V., Silyanov S.A., Nekrasova N.A., Shaparenko E.O., Ryabukha M. A., Khomenko M.O. Age and Duration of the Formation of the Olimpiadinski Gold Deposit (Yenisei Ridge, Russia). *Geokhimiya*. 2019;64(5):548–553. DOI: 10.31857/S0016-7525645548-553)