

УДК 553.41:553.065

ВОЗРАСТ АДУЛЯРА ИЗ ЖИЛ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОКУР (МОНГОЛО-ОХОТСКИЙ ОРОГЕННЫЙ ПОЯС, РОССИЯ): РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -МЕТОДОМ

© 2011 г. А. А. Сорокин*, Н. С. Остапенко*, В. А. Пономарчук**, А. В. Травин**

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН

675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1

**Институт геологии и минералогии СО РАН

630090, Новосибирск, просп. Ак. Коптюга, 3

Поступила в редакцию 11.03.2010 г.

В результате проведенных исследований получена оценка возраста ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -метод) продуктивной стадии гидротермального рудного процесса одного из крупных на Дальнем Востоке золоторудного месторождения Токур, которая составляет 122.4 ± 2.0 млн. лет. На основании геохронологических данных можно предполагать парагенетическую связь его формирования с телом субвулканических трахириодацитов Карауракского массива, для которого ранее U-Pb-методом по цирконам была получена оценка возраста 120 ± 5 млн. лет. Показано, что возраст оруденения месторождения Токур близок времени формирования других рудных объектов Дальнего Востока, расположенных в разных геологических структурах.

ВВЕДЕНИЕ

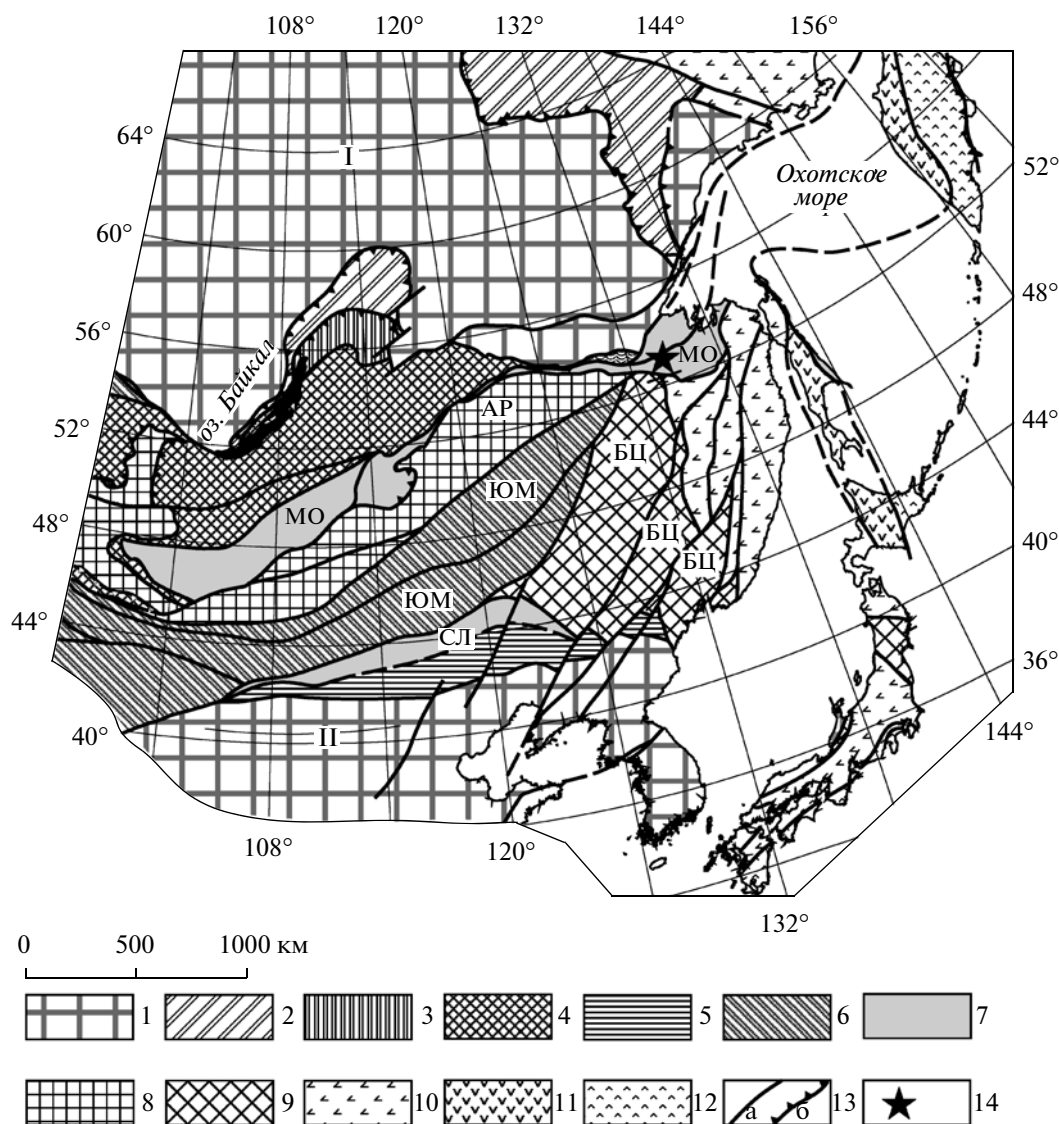
Получение надежных геохронологических данных о возрасте рудоотложения представляет собой сложную и важную задачу, являющуюся составной частью проблемы взаимосвязи геодинамики, магматизма и формирования месторождений полезных ископаемых. Хороший полигон для исследований в этом направлении – Монголо-Охотский орогенный пояс, который протягивается в виде узкой (до 300 км) прерывистой полосы на 3000 км от Удской губы Охотского моря до Центральной Монголии (фиг. 1). В современном структурном плане он представляет собой сложный коллаж палеозойских и раннемезозойских комплексов, зажатых между крупными континентальными блоками Восточной Азии – Северо-Азиатским кратоном и Амурским супертеррейном, и часто описывается как шовная зона или сутура (Парфенов и др., 2003; Натальин, 1991 и др.).

Сложная длительная история формирования Монголо-Охотского орогенного пояса сопровождалась становлением разновозрастных магматических поясов и рудных месторождений как в пределах пояса, так и его континентального обрамления. При этом исследователями уже давно подмечена пространственная сопряженность ареалов распространения рудных объектов и конфигурации Монголо-Охотского пояса. Вплоть до недавнего време-

ни, изотопно-геохронологическая изученность большинства этих рудных проявлений оставалась слабой, что существенно затрудняло корреляцию тектонических, магматических и рудообразующих процессов. В последние годы этот пробел был существенно восполнен. С использованием современных изотопных методов были получены датировки для ряда месторождений и рудопроявлений золота и комплексных руд, расположенных в пределах Монголо-Охотского орогенного пояса и его континентального обрамления на территории Монголии, Восточного Забайкалья и Приамурья (Булгатов, Гордиенко, 1999; Ханчук, Иванов, 1999; Прокофьев и др., 2000; Миронов и др., 2004; Казанский, Яновский, 2006; Сотников и др., 2005, 2007_{1,2}; Сорокин и др., 2008, 2009; Мельников и др., 2009; Бучко и др., 2010 и др.). Настоящая работа посвящена геохронологическим исследованиям гидротермальных рудных образований месторождения Токур.

Сведения о возрасте золоторудной минерализации рассматриваемого месторождения противоречивы. Данные, полученные в 60–80 годы прошлого века в различных лабораториях с использованием K-Ar-метода анализа валовых проб большей частью из околорудных метасоматитов, в меньшей мере из руд, имеют весьма широкий разброс значений – от 155 до 112 млн. лет (Мельников, Овчарек, 1969; Фатьянов, Лейер, 1995 и др.). В этом же диапазоне находится и первое определение – 113.6 млн лет, выполненное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом (Фатьянов, Лейер, 1995). Наконец, самая молодая оценка возраста руд месторожде-

Адрес для переписки: А.А. Сорокин. E-mail: sorokin@asc-net.ru



Фиг. 1. Положение месторождения Токур в геологических структурах восточной окраины Евразии, тектоническая основа по (Парфенов и др., 2003).

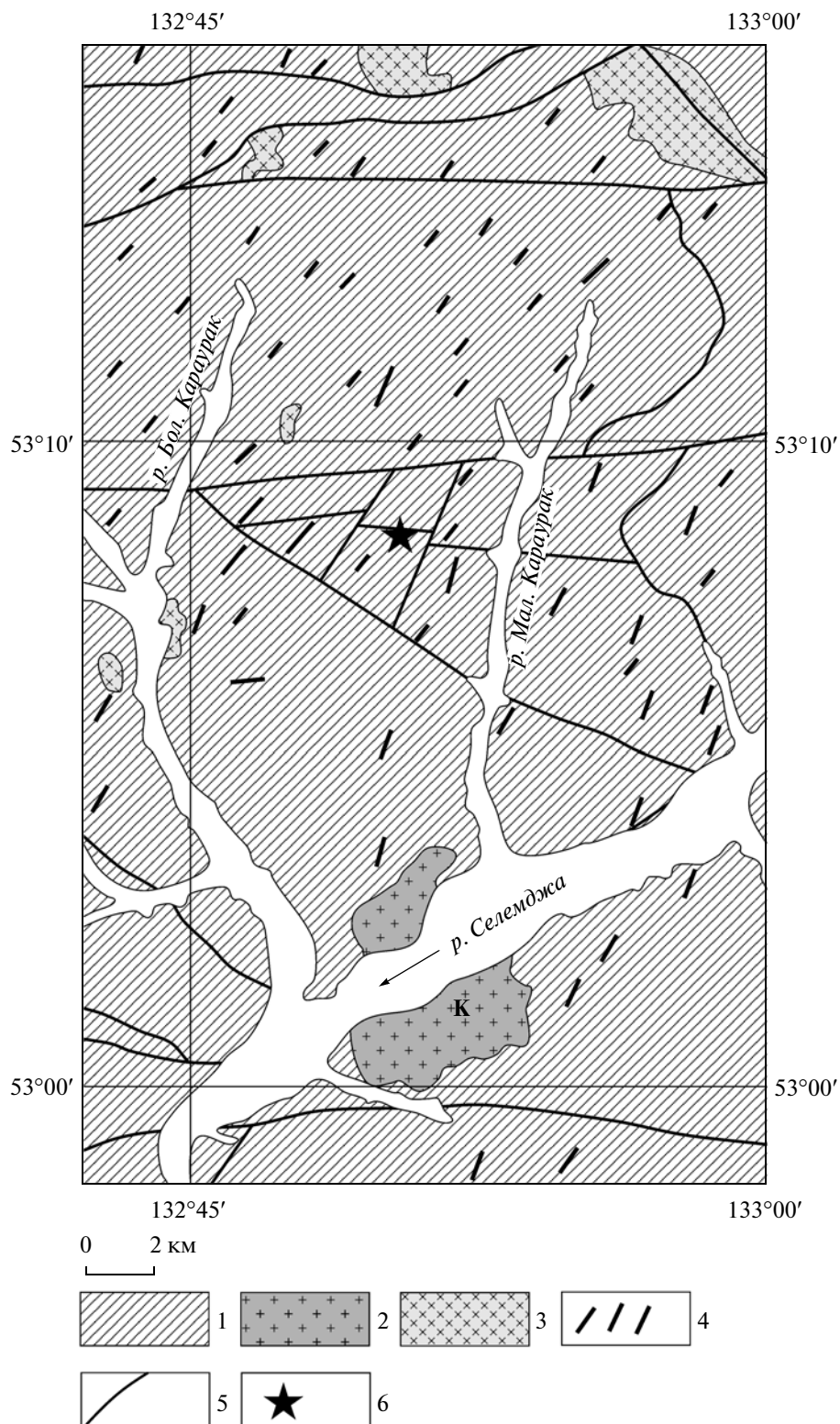
1. – кратоны и их фрагменты (I – Северо-Азиатский, II – Сино-Корейский); 2 – складчато-надвиговые пояса окраины кратона; 3–7 – домезозойские орогенные пояса: 3 – позднерифейский, 4 – позднекембрийско-раннеордовикский, 5 – силурийский, 6 – позднепалеозойский, 7 – позднепалеозойско-раннемезозойский; 8, 9 – фрагменты домезозойских орогенных поясов: 8 – позднерифейских, 9 – раннепалеозойских; 10–12 – мезозойские и кайнозойские орогенные пояса: 10 – позднеюрский, 11 – поздне меловой, 12 – кайнозойский; 13 – основные разломы: с крутым (а) и пологим падением (б); 14 – месторождение Токур.

Орогенные пояса и их фрагменты: АР – Аргунский (Керулен-Аргуно-Мамынский), БЦ – Буря-Цзямусинский, МО – Монголо-Охотский, СЛ – Солонкерский, ЮМ – Южно-Монгольский.

ния – 65.3 ± 5.3 млн. лет получена Rb-Sr-методом (Степанов, 2005). Таким образом, имеющиеся данные не позволяют определенно связать формирование месторождения с теми или иными геологическими событиями и магматическими комплексами, для которых в последние годы получены надежные определения возраста. В этой связи нами были выполнены геохронологические исследования $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом адуляра, отобранного непосредственно из рудных образований месторождения Токур.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождение Токур расположено в восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса (фиг. 1, 2). Геологическое строение месторождения и минеральный состав руд достаточно детально описаны ранее (Эйриш, 2002; Эйриш и др., 2002; Остапенко, Нерода, 2007), что позволяет в данной работе ограничиться лишь основными сведениями. Месторождение расположено в Токурской



Фиг. 2. Положение месторождения Токур в структуре восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса, геологическая основа по (Агафоненко, 2001) с упрощениями авторов.

1 – складчатые, преимущественно терригенные образования Монголо-Охотского орогенного пояса; 2 – раннемеловые субвулканические трахиодациты; 3 – ранне-позднемеловые гранодиориты, граниты; 4 – дайки раннемеловых диоритовых порфиритов и ранне-позднемеловых гранит-порфиритов; 5 – разломы; 6 – месторождение Токур; К – Карауракский массив.

структурно-формационной зоне или террейне аккреционного клина (Сорокин, 2001). Эта структура сложена условно верхнепалеозойскими терригенными комплексами, прорванными позднепалеозойскими и позднемезозойскими гранитоидами (Геологическая карта..., 1999; Агафоненко, 2001_{1, 2}). Возраст наиболее крупных Ингаглинского и Лукачского гранитоидных массивов составляет 254 ± 4 млн. лет и 251 ± 3 млн. лет соответственно (Агафоненко, 2001_{1, 2}; Сорокин и др., 2003), а для мезозойских массивов получена серия датировок в интервале 125–95 млн. лет (Агафоненко, 2001_{1, 2}; Сорокин и др., 2006, 2010).

Месторождение Токур размещается среди переслаивающихся песчаников, алевролитов и аргиллитов в южном крыле крупной широтной антиклинали – в висячем крыле продольного полого погружающегося на юг рудоконтролирующего разлома. По геофизическим данным, оно располагается в 1.5–2 км над нескрытым плутоном гранитоидов (Рейнлиб, Романовский, 1975). Имеются сведения о том, что месторождение расположено внутри контура минимума силы тяжести (Эйриш, 2009). На месторождении широко распространены крутозалегающие субмеридиональные дайки гранитоидов и порфиритов и мелкие штоки диоритов мезозойского возраста, пересекающие жилы. По существующим представлениям, месторождение Токур связано с гидротермальными процессами, сопровождавшими мезозойский магматизм (Шер, Ковалева, 1956; Остапенко, 1978; Фатьянов, Лейер, 1995).

Золоторудная минерализация представлена залежами метасоматических и прожилково-вкрапленных руд в зоне рудоконтролирующего разлома и пологозалегающими кварцевыми жилами выполнения в трещинах оперения его висячего бока (Эйриш и др., 2002; Остапенко, Нерода, 2007). Жилы залегают согласно и субсогласно со слоистостью вмещающих пород. Протяженность промышленных участков рудных жил по простиранию составляет сотни метров. Протяженность жильных зон более 1 км по простиранию и более 300–400 м по падению. Мощности рудных жил 0.2–0.7 м, в раздувах иногда до 2–3 м, текстуры – брекчиевые и массивные. Жилы на 90% сложены кварцем и обломками вмещающих пород, с подчиненным количеством кальцита, анкерита, серицита, адуляра, сульфидов. Содержания рудных минералов в жилах 1–3%. Среди них преобладают арсенопирит, пирит, самородное золото, в подчиненном количестве присутствуют галенит, сфалерит, халькопирит, шеелит.

При эксплуатации месторождения с 1939 по 1991 гг. обрабатывались только богатые участки кварцевых жил. В последующие годы проводилась предварительная оценка прожилково-вкрапленных руд.

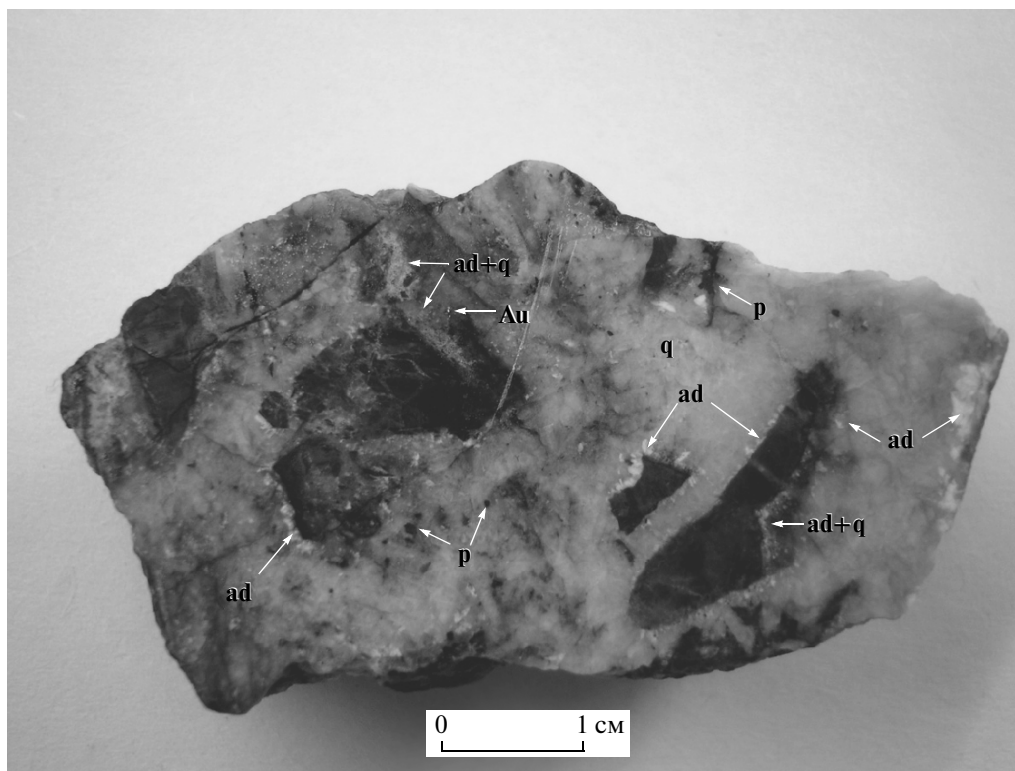
Таким образом, месторождение Токур может классифицироваться как жильное, а по минералого-геохимическим особенностям руд (Петровская, 1973) оно относится к малосульфидной золото-кварцевой формации.

Для геохронологических исследований использован образец Т-137, отобранный из неокисленных первичных руд жилы Голубая в штреке 383 на горизонте 735 м (около 100 м от поверхности). Эта жила является апофизой лежащего блока жилы Первая – основного кварцево-рудного тела месторождения, на которую вместе с апофизами приходится около 1/3 добытого на месторождении золота. Жила сформировалась в две стадии в полости мощностью от нескольких сантиметров (на флангах) до 0.6 м в раздувах и выполнена кварцем двух генераций. Минеральная ассоциация ранней стадии представлена серым мелкозернистым кварцем с вкраплениями сульфидов, преимущественно арсенопиритом. Она слагает лежащий зальбанд жилы, поздняя – белым более зернистым и гребенчатым кварцем с друзовыми пустотами, заполняющим остальное пространство жиловмещающей полости. В кварце присутствуют обломки вмещающих пород, адуляр, пирит и самородное золото.

Образец Т-137 представляет собой кварц-адуляровую брекчию, содержащую обломки вмещающих пород – алевролитов, аргиллитов (фиг. 3). Обломки окварцованы, адуляризированы, сульфидизированы (преобладает пирит). По границам обломков располагаются различной мощности оторочки из кристаллов адуляра. Максимальный размер кристаллов адуляра 1–3 мм. С удалением от границ обломков адуляр и мелкозернистый кварц-адуляровый агрегат постепенно сменяются светло-серым более крупнозернистым кварцем, в котором встречаются единичные кристаллы адуляра. В небольшом количестве в кварц-адуляровом и кварцевом агрегатах вблизи обломков присутствуют зерна пирита размерами 0.1–2.0 мм. В некоторых случаях наблюдается самородное золото в виде единичных или групп зерен до 0.5–1 мм в сечении.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

⁴⁰Ar/³⁹Ar-изотопно-геохронологические исследования выполнены в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск). Датирование проведено по фрагментам зерен адуляра, отбор которых производился вручную под бинокулярной лупой из фракции 0.25–0.15 мм измельченного образца. Выделение аргона из образцов проводили методом ступенчатого прогрева по методике, опубликованной в работах (Пономарчук и др., 1998; Лепезин и др., 2006). Навески образцов, совместно с мусковитом МСА-11 (К-Ar-возраст 313 млн. лет) и биотитом LP-6 (возраст 128.1 млн. лет), используемыми в качестве мониторов, заворачивали в алюминиевую фольгу, помещали в кварцевую ампулу и после от-



Фиг. 3. Образец Т-137 кварц-адуляровой брекчии из неокисленных первичных руд жилы Голубая, месторождения Токур. ad – адуляр, q – кварц, p – пирит, Au – самородное золото. Темные фрагменты – включения обломков вмещающих пород.

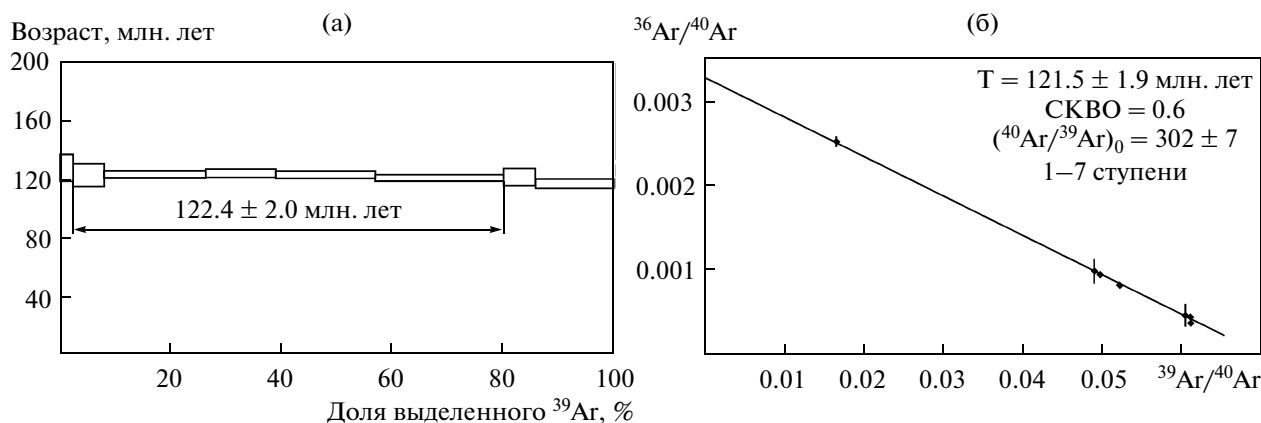
качки из нее воздуха запаивали. Затем пробы облучали в кадмированном канале научного реактора ВВР-К-типа в Научно-исследовательском институте ядерной физики (Томск). Градиент нейтронного потока не превышал 0.5% в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводили в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по определению ^{40}Ar (10 мин при 1200°C) не превышал 5×10^{-10} нсм³. Очистку аргона производили с помощью Ti- и ZrAl-SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре “Noble gas 5400” фирмы “Микромасс” (Англия). Ошибки измерений соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$. Для коррекции на изотопы $^{36}, ^{37}, ^{40}\text{Ar}$, полученные при облучении Ca, Cl, K, использовали следующие коэффициенты: $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00073 \pm 0.000026$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00032 \pm 0.000021$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0641 \pm 0.0001$. Перед измерениями производили предварительную дегазацию образцов при температуре 300°C . Особое внимание уделялось контролю фактора изотопной дискриминации с помощью измерения порции очищенного атмосферного аргона. Среднее значение отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ на период измерений составило 296.5 ± 0.5 . При интерпретации возрастных спектров использовали критерии, предложенные в работах (Fleck *et al.*, 1977; Gustafson *et al.*, 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученное значение возраста адуляра по плато составило 122.4 ± 2.0 млн. лет (77.7 % выделенного ^{39}Ar) при интегральном возрасте – 121.7 ± 1.8 млн. лет (фиг. 4, таблица). Тожественная величина возраста рассчитана и по изохроне, которая составила 121.5 ± 1.9 млн. лет (СКВО = 0.6) при начальном отношении $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0 = 302 \pm 7$ (фиг. 4, таблица). Материал (адуляр), по которому проводилось датирование, не предполагает его ксеногенное происхождение или же постмагматическое преобразование, а характер полученных спектров не указывает на наличие избыточного аргона. Поэтому полагаем, что значение 122.4 ± 2.0 млн. лет является наиболее точной оценкой возраста кристаллизации адуляра исследованного образца. Согласно минералогическим наблюдениям, золото выделялось сближено во времени с адуляром, что позволяет рассматривать эту датировку как оценку возраста продуктивной стадии гидротермального рудного процесса на этом месторождении.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выше было показано, что приводимые в литературе оценки возраста рудного процесса месторождения Токур, выполненные преимущественно K-Ar-методом, варьируют в широких пределах. Из-



Фиг. 4. Графики ступенчатого отжига (а) и корреляционная диаграмма изотопов аргона (б) для адуляра (образец Т-137) из неокисленных первичных руд месторождения Токур.

вестно, что основным фактором, лимитирующим возможности К-Аг-метода датирования, является различие физико-химических свойств калия и аргона, которое особенно проявляется в сложных геологических условиях (процессы рудообразования, метаморфизма) и приводит к нарушению К-Аг-изотопной системы на породном и минеральном уровнях. Для преодоления трудностей и повышения достоверности датирования в данном случае использован $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -метод, в котором калий и аргон анализируются одновременно (Dickin, 2005). Применение этого метода в варианте лазерного или ступенчатого прогрева позволяет идентифицировать аномальные субминеральные домены, исключить их при математической обработке результатов (Dickin, 2005; Пономарчук, 2005). Таким образом, методические преимущества $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -метода, а также параметры полученных экспериментальных данных (фиг. 4, таблица) дают основания полагать, что в результате проведенных исследований нами

получена корректная оценка возраста адуляра из образца руд месторождения Токур. Учитывая отклонение кварца, адуляра и золота в составе единой минеральной ассоциации, эта оценка может быть распространена на первичные руды жилы Голубая, а также и на другие жилы этого месторождения, в которых присутствует указанная продуктивная минеральная ассоциация. Оценить степень методической достоверности известных оценок возраста рудного процесса, выполненных с помощью $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - (Фатьянов, Лейер, 1995) и Rb-Sr- (Степанов, 2005) методов, не представляется возможным, поскольку авторами не приведены параметры эксперимента.

Полученные данные позволяют рассмотреть вопрос о временной связи формирования месторождения Токур с конкретными магматическими образованиями региона. Результаты исследований последних лет свидетельствуют о том, что выполненные К-Аг-методом определения возраста для

Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования адуляра неокисленных первичных руд жилы Голубая (образец Т-137) месторождения Токур методом ступенчатого прогрева

Ступень	$T, ^\circ\text{C}$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\Sigma^{39}\text{Ar}, \%$	Возраст, млн. лет ($\pm 1\sigma$)
$J = 0.004852 \pm 0.000062$							
1	500	60.5 ± 0.2	0.046 ± 0.005	0.373 ± 0.373	0.154 ± 0.003	2.36 ± 0.01	127.5 ± 9.0
2	600	20.5 ± 0.1	0.021 ± 0.003	0.819 ± 0.819	0.020 ± 0.003	8.00 ± 0.03	122.5 ± 7.7
3	700	19.2 ± 0.0	0.022 ± 0.001	0.205 ± 0.078	0.016 ± 0.001	26.31 ± 0.02	123.1 ± 2.3
4	800	16.4 ± 0.0	0.019 ± 0.001	0.373 ± 0.126	0.006 ± 0.001	39.02 ± 0.02	123.7 ± 2.8
5	900	20.2 ± 0.0	0.022 ± 0.001	0.323 ± 0.081	0.019 ± 0.001	56.90 ± 0.01	122.9 ± 2.4
6	1000	16.4 ± 0.0	0.020 ± 0.001	0.363 ± 0.068	0.007 ± 0.001	80.11 ± 0.02	120.9 ± 2.0
7	1050	16.6 ± 0.0	0.024 ± 0.001	1.18 ± 0.21	0.008 ± 0.002	85.80 ± 0.02	121.4 ± 5.8
8	1150	15.9 ± 0.0	0.019 ± 0.001	0.202 ± 0.104	0.007 ± 0.001	100.00 ± 0.02	116.9 ± 3.0

Примечание. J - параметр, характеризующий величину нейтронного потока.

мезозойских интрузивных и субвулканических пород региона лежат в диапазоне 140–80 млн. лет (Агафоненко, 2001_{1,2}). Если учитывать лишь U-Pb-, Rb-Sr- и ⁴⁰Ag/³⁹Ag-даты, то известные значения для различных магматических комплексов укладываются в значительно более узкий интервал – 120–95 млн. лет (Агафоненко, 2001_{1,2}; Сорокин и др., 2006, 2010). В этот же интервал попадают и опубликованные определения возраста для вулканических и субвулканических комплексов Хингано-Охотского пояса (Лебедев и др., 1997; Рассказов и др., 2003; Сорокин и др., 2005; Дербек и др., 2008_{1,2}). При этом полученная оценка возраста оруденения месторождения Токур наиболее близка возрасту – 120 ± 5 млн. лет (U-Pb-метод по цирконам; Сорокин и др., 2006), установленному для субвулканических трахириодацитов Карауракского массива (фиг. 2), расположенного в непосредственной близости от месторождения.

Кроме того, представляется уместным указать на близость ⁴⁰Ag/³⁹Ag-возрастных оценок оруденения месторождения Токур и других рудных объектов Дальнего Востока, например, Си-Мо-порфирирового (с золотом) месторождения Боргуликан – 123–122 млн. лет (Сотников и др., 2007₁), рудопроявления Выходное – 125–122 млн. лет (Сотников и др., 2007₂), расположенных в разных геологических структурах, что требует объяснения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных изотопных исследований (⁴⁰Ag/³⁹Ag-метод) установлен возраст адуляра из продуктивной минеральной ассоциации основного кварцево-рудного тела месторождения Токур (122.4 ± ± 2.0 млн. лет) восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса. Учитывая отложение адуляра и золота в составе единой ассоциации, он может быть распространен на первичные руды изученного месторождения. Полученное значение в пределах погрешности соответствует возрасту субвулканических трахириолитов Карауракского массива – 120 ± ± 5 млн. лет, что позволяет предполагать их парагенетическую связь.

В целом следует отметить, что установленный возраст отвечает одному из кардинальных этапов формирования дальневосточной окраины Азии (Ханчук, Иванов, 1999; Парфенов и др., 2003). При этом возраст формирования месторождения Токур близок возрасту оруденения других месторождений Дальнего Востока, расположенных в разных геологических структурах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны академику Н.С.Бортникову и рецензентам за критический анализ рукопи-

си и ценные рекомендации, способствующие ее улучшению.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08–05–00643), Президиума ДВО РАН (проекты 09–I–ОНЗ–09, 09–II–СО–08–007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафоненко С.Г.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Сер. Тугурская. Лист N-53-XXVI / Под ред. Махинина А.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001₁.
- Агафоненко С.Г.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Сер. Тугурская. Лист N-53-XXV / Под ред. Махинина А.В. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001₂.
- Бучко И.В., Сорокин А.А., Пономарчук В.А. и др.* Возраст и геодинамическая обстановка формирования золото-серебряного оруденения рудопроявления Десс Северо-Становой металлогенической зоны (юго-восточное обрамление Северо-Азиатского кратона) // Докл. РАН. 2010. Т. 435. № 4. С. 506–509.
- Булгатов А.Н., Гордиенко И.В.* Террейны Байкальской горной области и размещение в их пределах месторождений золота // Геология руд. месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 230–240.
- Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 2500000. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999.
- Дербек И.М., Сорокин А.А., Сальникова Е.Б. и др.* Возраст кислого вулканизма Селитканской зоны Хингано-Охотского вулканоплутонического пояса (Дальний Восток России) // Докл. РАН. 2008₁. Т. 418. № 2. С. 221–225.
- Дербек И.М., Сорокин А.А., Пономарчук В.А. и др.* Первые геохронологические данные для лав кислого состава Эзоп-Ям-Алинской вулканоплутонической зоны Хингано-Охотского вулканогенного пояса // Докл. РАН. 2008₂. Т. 419. № 1. С. 95–99.
- Казанский В.И., Яновский В.М.* Сопоставление мезозойских золоторудных районов Сино-Корейского и Алдано-Станового щитов // Геология руд. месторождений. 2006. Т. 48. № 1. С. 51–70.
- Лебедев В.А., Иваненко В.В., Карпенко М.И.* Геохронология вулканоплутонического комплекса Верхнеурмийского рудного поля (Хабаровский край, Россия): данные K-Ag, ³⁹Ag-⁴⁰Ag и Rb-Sr-изотопных методов // Геология руд. месторождений. 1997. Т. 39. № 4. С. 362–371.
- Лепезин Г.Г., Травин А.В., Юдин Д.С. и др.* Возраст и термическая история максютовского метаморфического комплекса (по ⁴⁰Ag/³⁹Ag-данным) // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. С. 109–125.
- Мельников А.В., Сорокин А.А., Пономарчук В.А. и др.* Золото-полиметаллическое месторождение Березитовое западной части Селенгино-Станового супертеррейна: основные минералогические особенности, возраст и связь с магматизмом // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 258–265.
- Мельников В.Д., Овчарек Э.С.* О возрасте золотого оруденения Джагдинского поднятия // Рудообразование и его связь с магматизмом (тезисы докладов). Якутск: Якутсккнигиздат, 1969. С. 53–55.

- Миронов А.Г., Жмодик С.М., Боровиков А.А. и др. Золото-сульфидное месторождение Каменное (Северное Забайкалье, Россия) — представитель рифейского эпitherмального золото-теллуридно-серебряного оруденения // Геология руд. месторождений. 2004. Т. 46. № 5. С. 407–426.
- Натальин Б.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеанская геология. 1991. № 5. С. 3–23.
- Остапенко Н.С. О глубинах формирования и послерудного эрозионного среза золоторудных месторождений Верхне-Селемджинского района в связи с оценкой их перспектив // Новые данные о минерально-сырьевых ресурсах центральной части зоны БАМ. Благовещенск: ДВНЦ, 1978. С. 69–86.
- Остапенко Н.С., Нерода О.Н. Флюидное давление и гидроразрыв пород при гидротермальном рудообразовании (на примере золоторудных месторождений) // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 3. С. 89–105.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
- Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973.
- Пономарчук В.А. Геохронологические (^{40}Ar - ^{39}Ar и Rb-Sr) и изотопно-геохимические ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$) параметры Cu-Mo-порфировых рудных узлов (Сибирь, Монголия): Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Новосибирск, 2005. 41 с.
- Пономарчук В.А., Лебедев Ю.Н., Травин А.В. и др. Применение тонкой магнитно-сепарационной технологии в K-Ag, ^{40}Ar - ^{39}Ar , Rb-Sr-методах датирования пород и минералов // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 1. С. 55–64.
- Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С., Зорина Л.Д. и др. Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 6. С. 526–548.
- Рассказов С.В., Иванов А.В., Травин А.В. и др. ^{40}Ar - ^{39}Ar и K-Ag датирование вулканических пород альба Приамурья и Забайкалья // Изотопная геохронология в решении проблем геодинамики и рудогенеза: Матер. Росс. конф. по изотопной геохронологии 25–27 ноября 2003 г. СПб.: Центр информационной культуры, 2003. С. 410–413.
- Рейнлиб Э.Л., Романовский Н.П. Изучение купольно-магматических структур по геофизическим данным (на примере Верхне-Селемджинского района) // Геология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 110–115.
- Сорокин А.А. Палеозойские аккреционные комплексы восточного сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 6. С. 31–36.
- Сорокин А.А., Пономарчук В.А., Дербек И.М., Сорокин А.П. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология мезозойских магматических ассоциаций Хинганско-Олонойской вулканической зоны (Дальний Восток) // Стратиграфия и геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 3. С. 63–78.
- Сорокин А.А., Сорокин А.П., Пономарчук В.А., Травин А.В. Возраст и геохимические особенности вулканических пород восточного фланга Умлекано-Огоджинского вулкано-плутонического пояса (Приамурье) // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 4. С. 473–485.
- Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Сорокин А.П. и др. Геохронология, геохимия и геодинамическая позиция палеозойских гранитоидов восточного сегмента Монголо-Охотского складчатого пояса // Докл. РАН. 2003. Т. 392. № 6. С. 807–812.
- Сорокин А.А., Мельников А.В., Пономарчук В.А. и др. Возраст и связь с магматизмом золото-полиметаллического месторождения Березитовое западной части Селенгино-Станового супертеррейна // Докл. РАН. 2008. Т. 421. № 1. С. 86–89.
- Сорокин А.А., Сорокин А.П., Сальникова Е.Б. и др. Геохронология риолитов унериканского комплекса восточного фланга Умлекано-Огоджинского пояса (Дальний Восток) // Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма: Матер. III Росс. конф. по изотопной геохронологии. М., 2006. Т. 2. С. 311–314.
- Сотников В.И., Пономарчук В.А., Сорокин А.А. и др. Возрастные рубежи формирования Cu-Mo-порфировых месторождений в структурах обрамления Монголо-Охотского орогенного пояса // Докл. АН. 2005. Т. 403. № 4. С. 522–525.
- Сотников В.И., Сорокин А.А., Пономарчук В.А. и др. Возраст Mo-Cu-(Au)-порфирового оруденения и магматических комплексов Боргуликанского рудного поля (Верхнее Приамурье) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 2. С. 229–237.
- Сотников В.И., Сорокин А.А., Пономарчук В.А. и др. Геохронология мезозойских гранитоидов и связанного с ними молибденового оруденения западной части Джугджуро-Станового супертеррейна // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 6. С. 794–798.
- Степанов В.А. Этапы формирования и генезиса золоторудных месторождений Приамурья // Докл. РАН. 2005. Т. 403. № 1. С. 83–87.
- Фатьянов И.И., Лейер П. О времени формирования золоторудного месторождения Токур // Геологии и минеральные ресурсы Амурской области. Благовещенск: Амургеолком, 1995. С. 217–219.
- Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1635–1645.
- Шер С.А., Ковалева О.И. О связи золотого оруденения с изверженными породами в одном из районов Приамурья. М.: НИГРИЗолото, 1956. Вып. 21. С. 173–189.
- Эйриш Л.В. Металлогения золота Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 2002.
- Эйриш Л.В. О факторах генерации золоторудных систем Дальнего Востока // Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. № 3. С. 250–260.
- Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г. Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) // Геология руд. месторождений. 2002. Т. 44. № 1. С. 50–52.
- Dickin A.P. Radiogenic isotope geology. Cambridge University Press, 2005. Second edition.
- Fleck R.J., Sutter J.F., Elliot D.H. Interpretation of discordant $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra of Mesozoic tholeites from Antarctica // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1977. V. 41. P. 15–32.
- Gustafson L.B., Orquera W., McWilliam M. et al. Multiple centers of mineralization in the Indio Muerto District, El Salvador, Chile // Econ. Geol. 2001. V. 96.