

**ВОЗРАСТ ЭПИТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА  
МЕСТОРОЖДЕНИИ КУБАКА (ОМОЛОНСКИЙ КРАТОННЫЙ ТЕРРЕЙН, СЕВЕРО-ВОСТОК  
РОССИИ): ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ( $U-Pb$ ,  $^{40}Ar/^{39}Ar$ )  
ОГРАНИЧЕНИЯ**

**В.В. Акинин<sup>1</sup>, А.Н. Глухов<sup>1</sup>, Г.О. Ползуненков<sup>1</sup>, А.В. Альшевский<sup>1</sup>, Д.И. Алексеев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,  
ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: [akinin@neisri.ru](mailto:akinin@neisri.ru)

<sup>2</sup>ФГБУН «ВСЕГЕИ» Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского,  
Средний пр. 74, Санкт-Петербург, 199106

Поступила в редакцию 5 марта 2019 г.

Получены новые данные о возрасте эпитеpмального золото-серебряного оруденения на месторождении Кубака (Омолонский террейн, Северо-Восток России). Наши геологические наблюдения в карьере Цокольной зоны месторождения позволяют заключить, что оруденение «зажато» по времени формирования в вилке между извержениями рудовмещающих позднедевонских вулканитов кедонской серии ( $U-Pb$  возраст по циркону около  $370 \pm 2.5$  млн лет, SHRIMP) и пострудной секущей дайкой ранне-среднеюрских трахибазальтов и пикробазальтов омолонского комплекса ( $^{40}Ar/^{39}Ar$  возраст плато  $179 \pm 8$  млн лет), не проникающей в каменноугольную корбинскую свиту.  $^{40}Ar/^{39}Ar$  возраст плато для белого адуляра из продуктивной жилы составил  $299 \pm 3.5$  млн лет ( $СКВО = 0.91$ ,  $p = 0.43$ , выход  $^{39}Ar = 66\%$  по четырем ступеням). Результаты не подтверждают распространенные представления о полихронном (карбоневом и меловом) или весьма длительном характере рудообразования на месторождении и с большой вероятностью указывают, как минимум, на каменноугольный верхний возрастной предел эпитеpмальной золотой минерализации.

**Ключевые слова:** золото, эпитеpмальные месторождения, возраст оруденения, циркон,  $^{40}Ar/^{39}Ar$  датирование, месторождение Кубака, Омолонский террейн, Северо-Восток России.

### ВВЕДЕНИЕ

Кубакинское эпитеpмальное золото-серебряное рудное месторождение низкосульфидированного типа (low sulfidation type) расположено в верхнем течении р. Омолон – правого притока р. Колымы, в 680 км к северо-востоку от г. Магадана. Месторождение было открыто в 1978 г., с 1997 г. здесь добыто около 105 т золота. Интерес исследователей к месторождению обусловлен в первую очередь тем, что оно, наряду с другими сходными по составу и геологической позиции месторождениями Омолонского кратонного террейна (Биркачан, Бургали, Елочка, Ольча), является примером эпитеpмальной золото-серебряной минерализации, пространственно и генетически связанной с девонским вулканизмом [3, 10, 11, 13, 16]. По составу руд эти объекты отличаются от многочисленных и широко известных позднеме-

зозойских эпитеpмальных месторождений окраинно-континентального Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Хаканджа, Карамкен, Купол и др.) [2, 10]. Специфика обусловлена прежде всего низкой сульфидностью руд, не превышающей 0.5 %. Список рудных минералов, помимо пирита и полисульфидов, селенидов и сульфосолей серебра, включает также теллуриды (алтаит и гессит). Характерны высокое золото-серебряное отношение (1:1–1:3) и существенная роль железа, меди и молибдена в геохимическом спектре руд.

В настоящем сообщении мы приводим некоторые важные геологические наблюдения и первые данные  $U-Pb$  и  $^{40}Ar/^{39}Ar$  датирования до- и пострудных магматитов и жильного адуляра, отобранных в карьере Цокольной зоны месторождения Кубака. Наши результаты свидетельствуют в пользу палеозойского (поздний девон–карбон) возраста месторождения Ку-

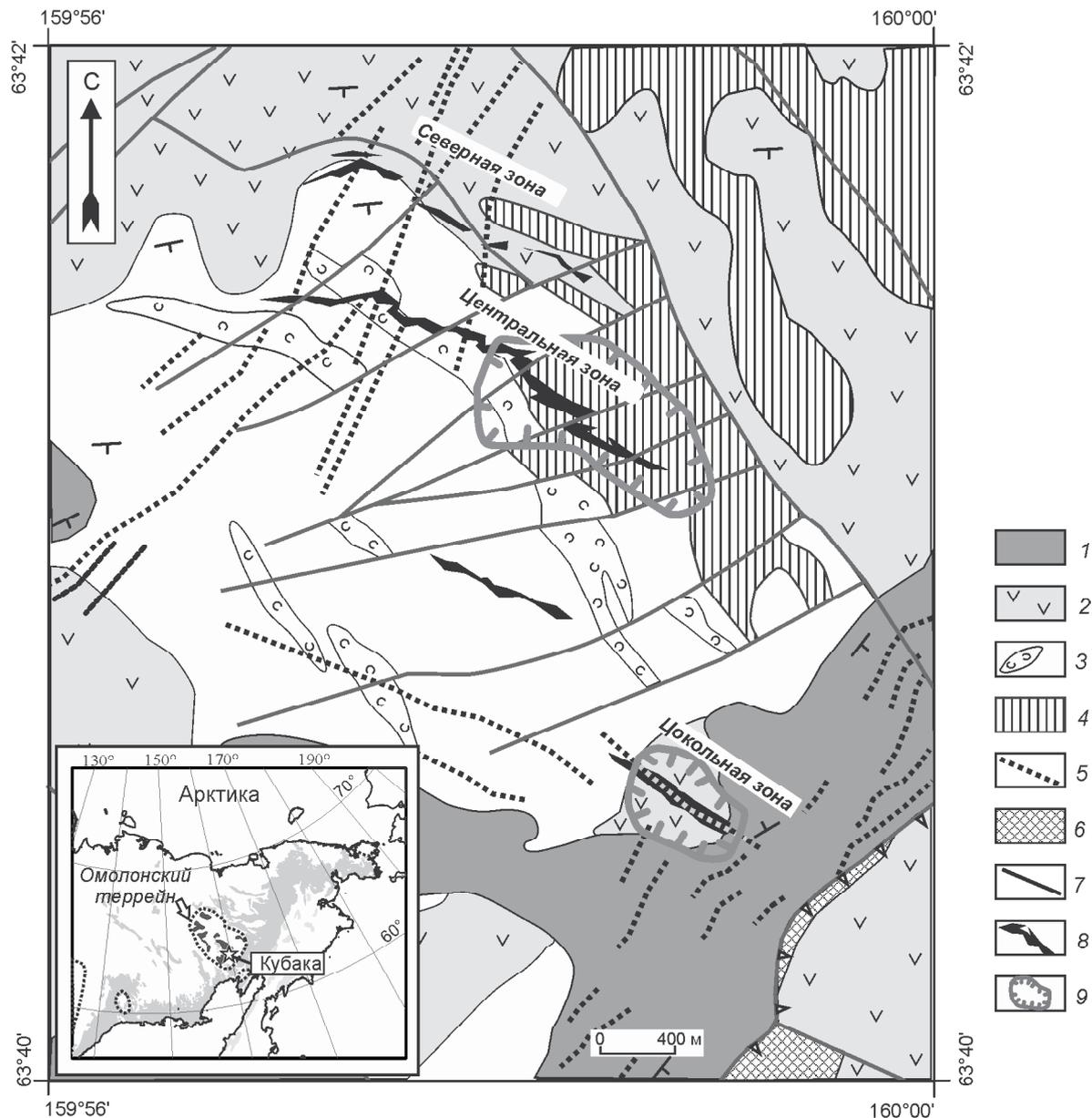
бака и ставят под сомнение полихронный характер эпitherмальных Au-Ag руд, который постулировался ранее рядом предшественников.

### ГЕОЛОГИЯ И ВОЗРАСТ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В региональном отношении месторождение Кубака (рис. 1) находится в южной части Омолонского массива или кратонного террейна, в пределах Кедонского вулканоплутонического пояса и входит в состав Южно-Омолонского рудного района [3, 8, 14]. В структурно-тектоническом отношении месторождение Кубака располагается на юго-восточном фланге Гурникской вулканотектонической депрессии [2] и приурочено к сопряжению Кубакинской палеокальдеры и Андезитовой вулканотектонической депрессии, в зоне влияния Верхне-Омолонского глубинного разлома [16]. В нижней части разреза палеокальдеры обнажаются верхнедевонские лавы и туфы трахиандезитов, а в верхней – игнимбриты и туфы риолитов кубакинской свиты кедонской серии (рис. 1) [16]. В северо-восточной части рудного поля обнажены многочисленные девонские субвулканические интрузии риолитов, риодацитов, андезидацитов кедонской серии. Девонские рудовмещающие образования перекрыты углисто-глинистыми сланцами, песчаниками и конгломератами корбинской свиты карбона. Дайки и силлы юрских (?) субщелочных базитов омолонского комплекса (эссекситы, тешениты, сиенит-порфиры, умеренно щелочные базальты) прорывают палеозойские отложения. Фундамент Кубакинской кальдеры представлен мигматизированными гнейсами архея. Рудные тела месторождения Кубака представляют собой крутопадающие прожилково-жильные зоны северо-западного простирания, в осевых частях которых обособляются стержневые существенно кварцевые жилы мощностью до 8 м. Протяженность зон 500–1300 м при ширине от 30 до 80 м. Всего на месторождении выделяются три рудных зоны: Северная, Центральная и Цокольная (рис. 1). Мощность рудных тел варьирует от 0.3 до 9.5 м; вертикальный размах оруденения 120–150 м. Руды месторождения убогосульфидные; основные жильные минералы – кварц, карбонат и адуляр. Главный рудный минерал – пирит; помимо него в рудах присутствуют халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, фрейбергит, сульфоселениды Ag – всего более 50 минеральных видов [2, 10, 13]. Отношение Au:Ag = 1:1–1:2.

Дискуссии о возрасте золото-серебряных руд Омолонского террейна ведутся уже не один десяток лет. Обсуждалась их связь как с древним девонским кедонским вулканизмом, так и с молодым меловым вулканизмом Охотско-Чукотского вулканогенного пояса [4, 6, 8, 10, 12–14]. В первых публикациях, по-

священных месторождению Кубака, геологическими данными было обосновано формирование руд в дораннекарбонную эпоху [12–14]. В частности, были описаны обломки рудных жил с минерализацией кубакинского типа в базальном горизонте корбинской свиты раннекаменноугольного возраста [12]. Результаты изохронного Rb-Sr датирования, полученные В.А. Степановым с соавторами, оказались противоречивыми. Для навесок гидрослюд и карбонатов из околорудных метасоматитов Центральной зоны Rb-Sr изохронным методом были получены даты  $335 \pm 5$  и  $330 \pm 9$  млн лет [14]. Однако полученные тем же методом возрасты навесок адуляра с примесью кварца составили  $127 \pm 4$  и  $160 \pm 12$  млн лет (там же). В работе П.У. Лейера с соавторами [6] были впервые приведены результаты Ag-Ag датирования адуляров из руд Кубакинского месторождения, даты варьировали от 121 до 149 млн лет [6]. Затем коллектив исследователей из ЦНИГРИ под руководством С.Ф. Стружкова опубликовал результаты изохронных Rb-Sr датировок адуляров из руд месторождений Кубака и Биркачан [8]. Они, как и в работе [14], интерпретированы как образовавшиеся в два возрастных интервала: 334–324 и 173–148 млн лет. Н.Е. Савва с соавторами, основываясь только на минералогическом составе руд и единичной K-Ag дате адуляра, пришли к похожим выводам и предположили существование двух независимых этапов рудообразования – раннекарбонного и раннемелового [10]. К близким выводам относительно руд месторождения Биркачан пришли и специалисты ЦНИГРИ [8]. Наиболее обстоятельный и корректный разбор существующих изотопно-геохронологических и геологических данных привел И.Н. Котляр [4, 5]. Он поставил под сомнение корректность результатов Ag-Ag датирования, полученных П.У. Лейером с соавторами [6], и заключил, что приведенные в [6] спектры высвобождения радиогенного аргона указывают на неоднократные нарушения равновесия K-Ag изотопной системы наложенными термальными событиями. По данным И.Н. Котляра, возраст руд месторождения Кубака раннекарбонный [4, 5]. Для обоснования он приводит Rb-Sr изохронный возраст рудовмещающих субвулканических трахиандезитов и трахириодацитов ( $337 \pm 8$  и  $344 \pm 4$  млн лет, соответственно), отмечает (ссылаясь на В.А. Степанова) находки галек золоторудного кварца кубакинского типа в нижнекарбонных конгломератах корбинской свиты и добавляет факт о позднеюрском (?) возрасте пострудных даек омолонского комплекса [4, 5]. Точку зрения И.Н. Котляра косвенно подтверждают датировки по другим эпitherмальным месторождениям Омолонского террейна: K-Ag возраст адуляра из руд месторождения Ольча составил  $318 \pm 19$  млн лет, а на рудопроявлении Юный был получен



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта месторождения Кубака (по материалам А.Н. Малолыченко (2016 г.), с незначительными изменениями авторов).

1 – карбон, корбинская свита: углистые аргиллиты, песчаники, конгломераты; 2–4 – верхний девон, кедонская серия: 2 – кубакинская толща, лавы и туфы трахиандезитов и трахидацитов с прослоями туффитов; 3 – кубакинская толща, игнимбриты (белое поле) и туфы (линзы со значками на белом поле) риолитов, 4 – субвулканические интрузии риолитов и риодацитов; 5 – юра, оломонский комплекс: дайки умеренно-щелочных базальтов и пикробазальтов; 6 – архейские гнейсы; 7 – разрывные нарушения, с зубцами – надвиг; 8 – рудные тела жильного и штокверкового типов; 9 – контуры карьеров.

На врезке показано расположение месторождения Кубака и Оломонский террейн, серым – мезозойские вулканические пояса, черным – девонская кедонская серия вулканитов. Кратонные массивы очерчены точечной линией.

К-Аг возраст пострудных базальтов, составивший  $323 \pm 1$  млн лет [5]. В материалах И.Н.Котляра два момента остаются слабо обоснованными – возраст вмещающих вулканитов определен Rb-Sr изохронным методом по валу пород (метод не является арбитражным, плохо или вовсе не воспроизводит датировки), возраст

пострудных даек надежно не определен, а взаимоотношения не документированы.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изотопно-геохронологических исследований в карьере Цокольной зоны месторождения Кубака

летом 2015 г. мы задокументировали важные геологические взаимоотношения и отобрали образцы вмещающих туфов кедонской серии (для датирования U-Pb методом по циркону), пострудных даек «тефритов» оломонского комплекса (в терминологии предшественников) и жильного адуляра (для датирования  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом).

U-Pb датирование цирконов выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II (вторично-ионная масс-спектрометрия с высоким пространственным разрешением) в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ с использованием стандартных процедур [23]. Предварительно кристаллы цирконов изучены в катодоллюминесцентном излучении на сканирующем электронном микроскопе с целью выбора подходящих точек анализа. Сила тока первичного пучка ионов кислорода составляла от 1.5 до 2.2 нА, ускоряющее напряжение вторичных ионов – 10 кВ, размер анализируемого участка – около 20 мкм. Перед началом анализа участок размером  $20 \times 30$  мкм в течение двух минут обрабатывался ионным пучком для минимизации возможного поверхностного загрязнения обыкновенным свинцом. Каждое четвертое измерение выполнялось для стандартного образца 91500 с содержанием урана 81.2 г/т и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрастом  $1065.4 \pm 0.3$  млн лет [22].  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрасты скорректированы на  $^{207}\text{Pb}$  [23], допуская, что небольшая дискордантность цирконов является следствием простого смешения обыкновенного и радиогенного Pb. Используя измеренное отношение  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  для контроля концентрации обыкновенного свинца, возраст индивидуальных кристаллов рассчитывался, экстраполируя точки на конкордию Тера-Вассербург вдоль линии – хорды, соединяющей модельный состав обыкновенного Pb и приближенное значение возраста индивидуальных зерен. В этом случае независимая оценка возраста из  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  отношения теряет смысл, и возрасты определяются исключительно из отношения  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . Этот метод достаточно надежен для анализов, которые близки к конкордии.  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрасты индивидуальных кристаллов одного образца объединялись в выборку, и она исследовалась с использованием стандартных статистических процедур. Критерий Пирсона  $\chi^2$  используется как индикатор надежности отнесения выборки к единой совокупности и расчетного среднего. При удовлетворительных статистических параметрах (СКВО 0.1–1.5,  $p > 0.05$ ) рассчитывался средневзвешенный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст, приведение которого в публикациях и обсуждениях в большинстве случаев оправдано. Воспроизводимость SHRIMP анализа для изотопного отношения  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  составляет порядка 1 %. Как показывает сравнительное исследование стандартов

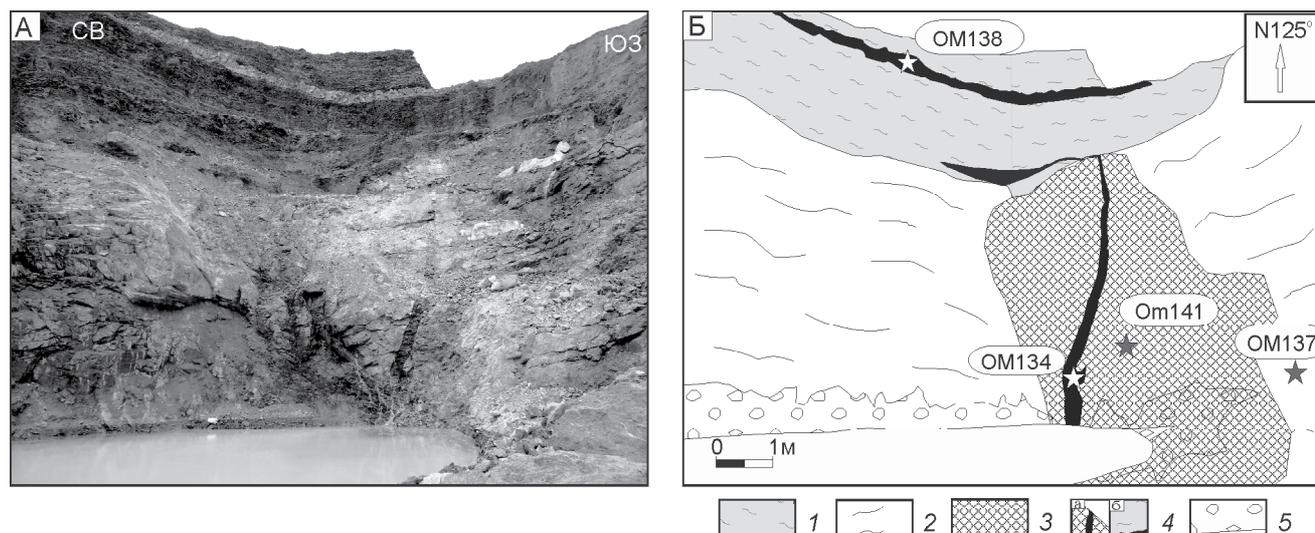
TEMORA1, TEMORA2, R33 методом ID-TIMS и SHRIMP, точность  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  датировок с помощью ионного микрозонда SHRIMP не лучше 1–1.5 % [19]. Учитывая это, погрешность средневзвешенного значения возраста для фанерозойских дат, как правило, достигает от 1 до 3 млн лет.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  геохронологические исследования проведены в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) методом ступенчатого прогрева по методике, опубликованной в [9]. Навески образцов совместно с мусковитом MCA-11 (K/Ar возраст 313 млн лет) и биотитом LP-6 (128.1 млн лет), которые использовались в качестве мониторов, заворачивали в алюминиевую фольгу, помещали в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаивали. Затем пробы облучали в кадмированном канале реактора ВВР-К типа в Научно-исследовательском институте ядерной физики (г. 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  $^{40}\text{Ar}$  (10 мин при 1200 °C) не превышал  $5 \times 10^{-10}$  нсм<sup>3</sup>. Очистку аргона производили с помощью Ti- и ZrAl-SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измеряли на масс-спектрометре МИ-1201В. Ошибки измерений соответствуют интервалу  $\pm 2\sigma$ . Для коррекции на изотопы  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ , полученные при облучении Ca, Cl, K, использовали следующие коэффициенты:  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00073 \pm 0.000026$ ,  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00032 \pm 0.000021$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0641 \pm 0.0001$ . 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  $296.5 \pm 0.5$ . Методика представления и обсуждения изотопных U-Pb и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  дат основана для традиционных, принятых специалистами в мировой литературе подходах (напр. [18]). Для оценки надежности  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования традиционно принимаются следующие критерии: 1) хорошо выраженное плато не менее чем из 3-х ступеней (горизонтальный спектр возрастов) с более чем 50 % выделившегося кумулятивного  $^{39}\text{Ar}$  (СКВО < 2.5); 2) сходимость возрастов плато и изохроны с учетом погрешностей; 4) изохрона пересекает значение отношения  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  близко к 295.5.

Расчет и построение графиков для U-Pb и Ar-Ar датирования выполнен в программе Isoplot 3.75 [21].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На месторождении Кубака в карьере Цокольной зоны вскрыты четыре разновозрастных геологических комплекса. Их взаимоотношения отчетливо



**Рис. 2.** Фотография (А) и зарисовка (Б) карьера Цокольной зоны месторождения Кубака, вид на юго-восточную стенку.

Условные обозначения: 1 – углеродистые сланцы и алевролиты корбинской свиты нижнего карбона; 2 – туфы и игнимбриты андезитов и дацитов корбинской толщи кедонской серии верхнего девона; 3 – карбонат-адулярь-кварцевая жила с золотой минерализацией; 4 – пострудная дайка (а) и силлы (б) юрского омомонского комплекса умеренно щелочных и щелочных базальтов и пикробазальтов; 5 – осыпь.

документируются в хорошо обнаженных стенках карьера в следующей последовательности (рис. 2): 1) слоистая толща зеленовато-серых и фиолетовых дорудных псаммитовых и псефитовых туфов и туф-фитов трахиандезитов кубакинской толщи кедонской серии верхнего девона (обр. OM137), 2) кварц-карбонатная с адулярем жила с продуктивной золотой минерализацией мощностью около 10–15 м, которая пересекает туфы кубакинской толщи (обр. OM141), 3) слоистая толща черных и темно-серых углистых алевролитов и аргиллитов корбинской свиты карбона, в которую жила не проникает, 4) дайки и силлы умеренно-щелочных пикробазальтов и трахибазальтов (OM134, OM138), пересекающие все три предыдущих комплекса – кубакинскую толщу, жилу и корбинские алевролиты. Судя по нашим наблюдениям, в корбинскую свиту оруденение не проникает (рис. 2). Этот факт позволяет предварительно ограничить возраст минерализации как «докорбинский», докарбоновый. Результаты датирования трех важнейших геологических комплексов не противоречат наблюдаемым геологическим взаимоотношениям.

*Кубакинская рудовмещающая толща.* В образце туфа OM137 (рис. 2) были выделены цирконы короткостолбчатой морфологии с характерными для магматических индивидов микровключениями магматических фаз (апатит, флюидные и расплавные включения), осцилляторной зональностью в катодолюминесцентном излучении. Средневзвешенный  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст из одиннадцати датированных SIMS-методом

кристаллов составил  $369.5 \pm 2.4$  млн лет (СКВО = 1.8,  $p = 0.06$ ) – рис. 3, табл. 1.

*Адулярь белого цвета из золотоносной жилы* (OM141 – рис. 4) показал К-Аг дату остывания около 232 млн лет, более точное  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование показало возраст плато  $299 \pm 3.5$  млн лет (СКВО = 0.91,  $p = 0.43$ , выход  $^{39}\text{Ar} = 66\%$  по четырем ступеням) – рис. 5, табл. 2.

*В пострудной дайке трахибазальтов* (OM134 – рис. 4)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом датирован плагиоклаз и основная масса, состоящая из лейст плагиоклаза, девитрифицированного стекла и микролитов магнетита. Для основной массы Аг-Аг возраст плато из трех ступеней составил  $179 \pm 8$  млн лет (СКВО = 2.2,  $p = 0.11$ , выход  $^{39}\text{Ar} = 61.8\%$  по трем ступеням – рис. 5, табл. 2). Возраст обратной изохроны, несмотря на большую погрешность как в дате, так и в отношении  $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ , также соответствует ранней-средней юре. Вторая проба из этого же образца дайки (монофракция плагиоклаза), с той или иной долей условности, показала близкие значения возраста обратной изохроны  $176 \pm 10$  млн лет, СКВО = 1.9 (рис. 5).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов проведенных ранее [5, 6, 8, 14] изотопно-геохронологических исследований на эпitherмальных золоторудных месторождениях Омомонского террейна показывает, что они не могут считаться надежными. В первую очередь, в ряде этих работ отсутствуют надлежащим образом докумен-

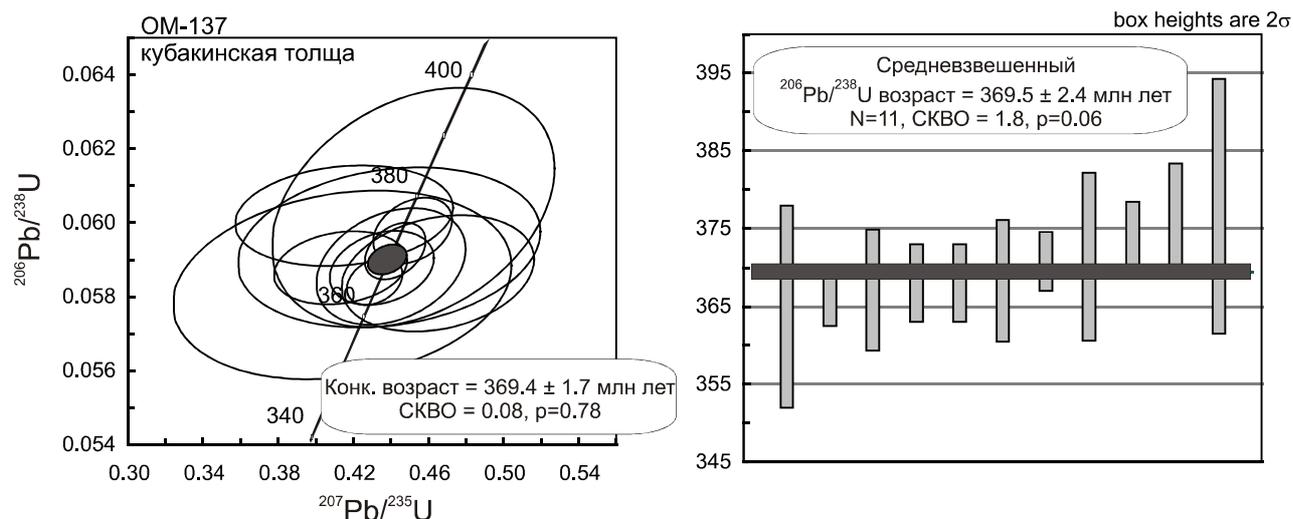


Рис. 3. Результаты U-Pb SHRIMP-датирования цирконов из туфов дацитов кубакинской толщи Цокольной зоны (обр. OM137).

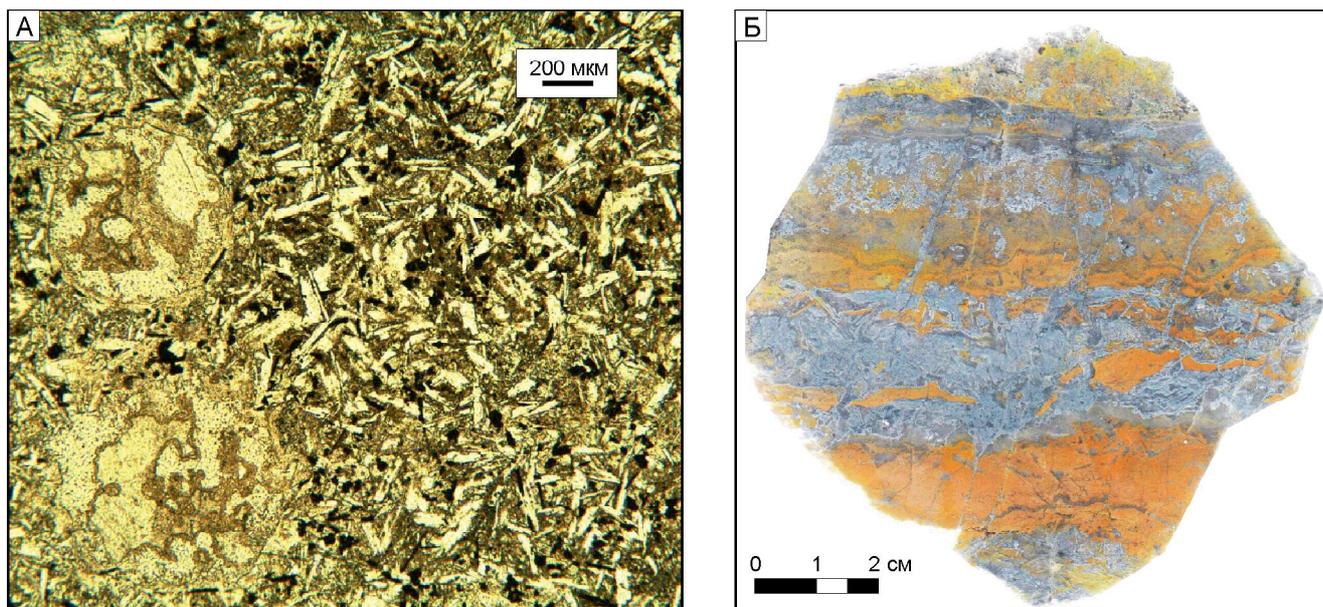


Рис. 4. Микрофотография шлифа (А) умеренно-щелочного базальта пострудной дайки олонского комплекса (обр. OM134) и сканированный образец (Б) продуктивной адуляр-кварцевой жилы (обр. OM141), пересеченной этой дайкой. Адуляр – желтый (прокрашено йодистым метиленом).

тированные геологические взаимоотношения (фотографии, зарисовки обнажений с точным описанием местонахождения). Во-вторых, приведенные Rb-Sr изохронные зависимости, в строгом понимании, являются эрохронами, так как точки изотопных отношений формируют на графиках (рис. 6) облачные совокупности, на которых авторы пытаются волюнтаристски, объединяя подчас образцы из совершенно

разных удаленных геологических тел, построить серию изохрон. В этом случае, если строго подходить к оценке погрешностей единичных точек измерения по  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , а также к робастному определению изохроны (СКВО меньше или равно 1), можно построить большое множество изохрон по трем-четырем точкам с удовлетворительным СКВО. Так, например, если, учитывая погрешности изотопных

Таблица 1. Результаты U-Pb SHRIMP-датирования цирконов из рудовмещающих туфов дацитов кубакинской толщи (обр. ОМ137).

| Spot | <sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> , % | U, ppm | Th, ppm | <sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U | <sup>206</sup> Pb*, ppm | Возраст, млн л.                         |       | <sup>238</sup> U/ <sup>206</sup> Pb* (1) | ± %  | <sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb* (1) | ± % | <sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U (1) | ± % | <sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U (1) | ± %  | err<br>cont |
|------|------------------------------------|--------|---------|-------------------------------------|-------------------------|---|-------|--|------|--|-----|--|-----|--|------|-------------|
|      |                                    |        |         |                                     |                         | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U (1) | ± 1σ  |  |      |  |     |  |     |  |      |             |
| 6.1  | 0.73                               | 113    | 86      | 0.79                                | 5.69                    | 365.1                                   | ± 6.5 | 17.16                                    | 1.8  | 0.0515                                     | 8.7 | 0.414                                    | 8.9 | 0.0583                                   | 1.8  | .205        |
| 2.2  | 0.06                               | 1621   | 1521    | 0.97                                | 81.4                    | 365.8                                   | ± 1.6 | 17.127                                   | 0.45 | 0.05358                                    | 1.4 | 0.4313                                   | 1.4 | 0.05839                                  | 0.45 | .310        |
| 5.1  | 0.32                               | 241    | 166     | 0.71                                | 12.2                    | 367.2                                   | ± 3.9 | 17.06                                    | 1.1  | 0.0575                                     | 4.3 | 0.465                                    | 4.5 | 0.05861                                  | 1.1  | .242        |
| 1.1  | 0.37                               | 522    | 560     | 1.11                                | 26.5                    | 368.1                                   | ± 2.5 | 17.02                                    | 0.69 | 0.0509                                     | 3.4 | 0.413                                    | 3.5 | 0.05876                                  | 0.69 | .199        |
| 7.1  | 0.18                               | 630    | 825     | 1.35                                | 31.9                    | 368.1                                   | ± 2.5 | 17.02                                    | 0.7  | 0.0537                                     | 2.5 | 0.435                                    | 2.6 | 0.05876                                  | 0.7  | .266        |
| 8.1  | 0.00                               | 227    | 141     | 0.64                                | 11.5                    | 368.4                                   | ± 3.9 | 17.01                                    | 1.1  | 0.0543                                     | 3.5 | 0.44                                     | 3.7 | 0.0588                                   | 1.1  | .295        |
| 2.1  | 0.05                               | 1299   | 854     | 0.68                                | 66.1                    | 370.9                                   | ± 1.9 | 16.886                                   | 0.53 | 0.05417                                    | 1.4 | 0.4423                                   | 1.5 | 0.05922                                  | 0.53 | .360        |
| 6.2  | 0.62                               | 129    | 95      | 0.76                                | 6.61                    | 371.5                                   | ± 5.4 | 16.85                                    | 1.5  | 0.0537                                     | 7.4 | 0.439                                    | 7.5 | 0.05932                                  | 1.5  | .197        |
| 4.1  | 0.00                               | 667    | 830     | 1.29                                | 34.2                    | 374.2                                   | ± 2.2 | 16.73                                    | 0.61 | 0.05478                                    | 1.8 | 0.4515                                   | 1.9 | 0.05977                                  | 0.61 | .325        |
| 3.1  | 0.22                               | 265    | 181     | 0.71                                | 13.7                    | 376.7                                   | ± 3.4 | 16.62                                    | 0.93 | 0.05                                       | 5.6 | 0.415                                    | 5.7 | 0.06018                                  | 0.93 | .163        |
| 9.1  | 0.00                               | 70     | 49      | 0.73                                | 3.64                    | 378                                     | ± 8.2 | 16.56                                    | 2.2  | 0.0542                                     | 6.5 | 0.452                                    | 6.8 | 0.0604                                   | 2.2  | .327        |

Пострудная дайка базальта, оломонский щелочнобазальтовый комплекс (обр. ОМ137, 63.670 N, 159.990 E). Средневзвешенный конкордантный возраст – 369.4 ± 1.7 млн лет, СКВО = 0.08, p = 0.78, N = 11

Примечание. СКВО – среднеквадратичное взвешенное отклонение, p – вероятность конкордантности. Погрешности единичных анализов – 1σ. <sup>206</sup>Pb<sub>c</sub> и <sup>206</sup>Pb\* – обыкновенный и радиогенный свинец. (1) – скорректировано с учетом содержания на обыкновенный свинец, используя измеренный <sup>204</sup>Pb. Погрешность калибровки стандарта TEMORA – 0.52 % (не включено в погрешности единичных анализов). Анализы выполнены на SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

отношений, взять табличные данные из работ [8, 14], то можно построить по крайней мере с десяток эрохрон, для самой древней из которых получим гипотетическую дату 327 ± 14 млн лет со СКВО = 1.5, а для самой молодой – 142 ± 13 млн лет со СКВО = 0.002 (рис. 6). Что касается раннекарбонowego Rb-Sr возраста вулканитов рудовмещающей кубакинской толщи (кедонская серия), приведенной в работе [5], то наши более точные и надежные датировки циркона U-Pb методом не подтверждают эти оценки и однозначно указывают на более древний девонский (фамен) возраст кедонской серии вулканитов. В работе [1] приводятся еще более древние U-Pb SHRIMP-датировки циркона из вулканитов артурской толщи в Рассошинском ареале кедонской серии. Однако приведенные в [1] результаты ненадежны и требуют воспроизведения: во-первых, в обеих пробах наблюдаются большие вариации <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U дат для индивидуальных кристаллов, как следствие, расчетные значения СКВО для средневзвешенных возрастов экстремально низкие (СКВО < 0.01) в обоих образцах, во-вторых, не скорректированные на обыкновенный свинец точки изотопных отношений дискордантны даже с учетом погрешностей.

Для даек и силлов щелочнобазальтового оломонского комплекса, рассекающих золоторудные жилы, пострудная позиция не отрицалась практически никем [4, 17]. Возраст интрузивов комплекса считался раннемеловым [17] или предполагался юрским ? [5]. Последние определения возраста K-Ar методом по валу составили от 124 до 155 млн лет, т.е. соответствуют поздней юре-раннему мелу [4, 5]. Большая часть интрузий оломонского комплекса находится среди пермских и триасовых осадочных толщ и лишь некоторые из них прорывают нижнеюрские терригенные отложения. В связи с этим высказывались представления и о возможном поздне триасово-раннеюрском возрасте [7]. В подтверждение этому приводятся также сведения о присутствии в отложениях нижней юры обломков щелочных габброидов типа эссексит-диабазы [15]. Возможно, щелочные габброиды близко синхронны с раннеюрскими трахибазальтами тумминского вулканического комплекса. По нашим геохимическим данным, для базитов оломонского комплекса (называемом иногда малоауланджинским) устанавливаются высокие содержания щелочей и некогерентных примесных элементов. Для пород комплекса характерен относительно плоский спектр распределения несовместимых примесных элементов, в целом повышенный относительно примитивной мантии. Обогащенность пород высокозарядными некогерентными примесными элементами, Та, Nb, Zr, а также У указывает на щелочной внутриплитный ха-

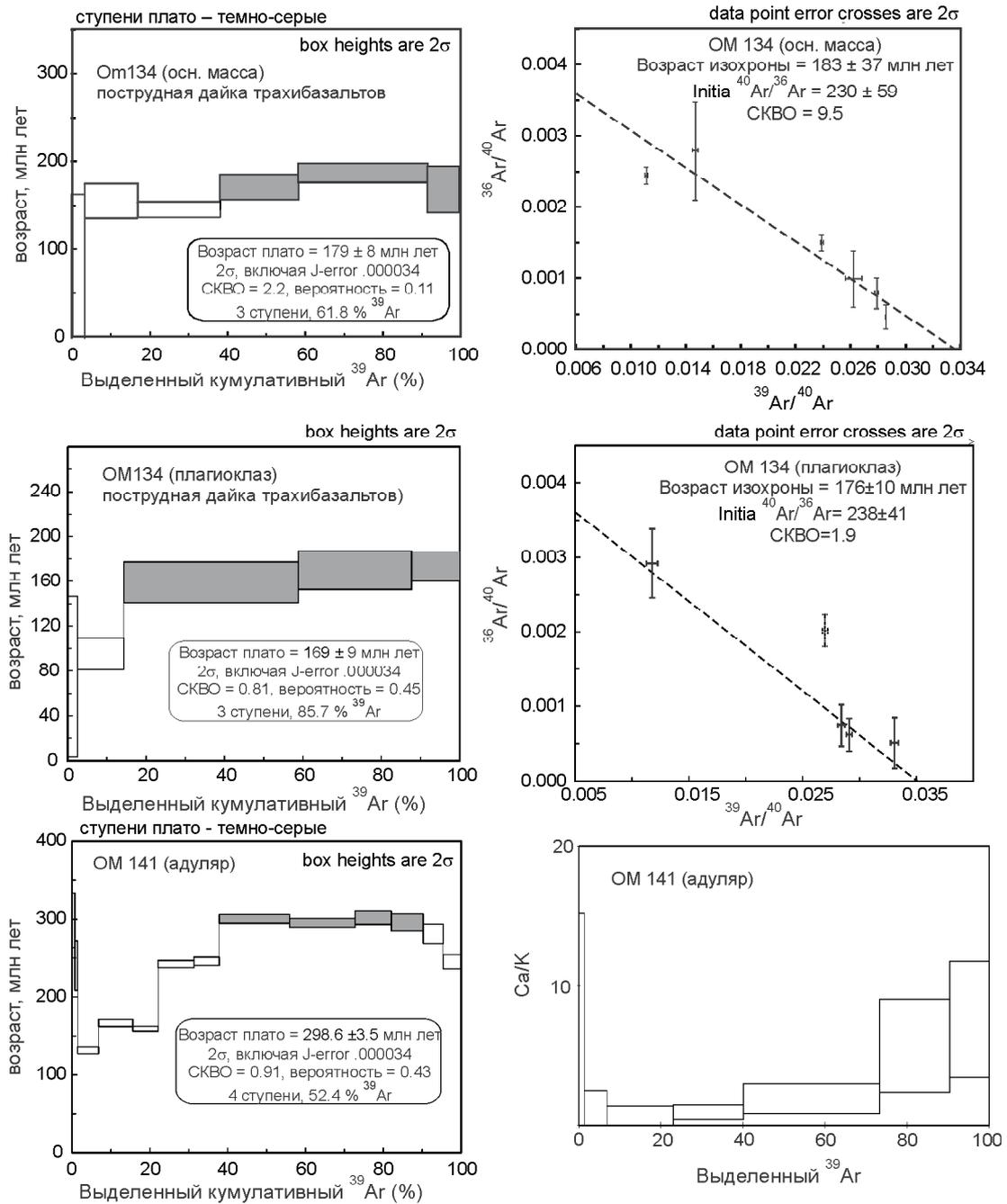


Рис. 5. Результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования пострудной дайки (обр. OM134) и адуляра из рудной жилы (обр. OM141). Левые графики – оценки возраста плато, правые – оценки изохронного возраста.

рактир магм, типоморфный для рифтовых геодинамических обстановок. Результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования, полученные нами по пострудной дайке Цокольной зоны месторождения Кубака, уверенно позволяют исключить меловой их возраст, наметить с большой вероятностью ранне- или среднеюрский временной этап их внедрения. Отсюда следуют два главных вывода: 1) эпитегрмальное оруденение Цокольной зоны не может быть по возрасту моложе средней юры,

что следует из пострудного характера залегания дайки; 2) оруденение не может быть полихронным, включающим, в том числе, меловой этап продуктивной минерализации (минерагеническая активизация, связанная с заложением Удско-Мургалского и Охотско-Чукотского поясов), как это предполагалось в работах [6, 8, 10, 14]. Наши результаты Ar-Ar датирования белого адуляра из продуктивной карбонат-адуляр-кварцевой жилы Цокольной зоны не решили

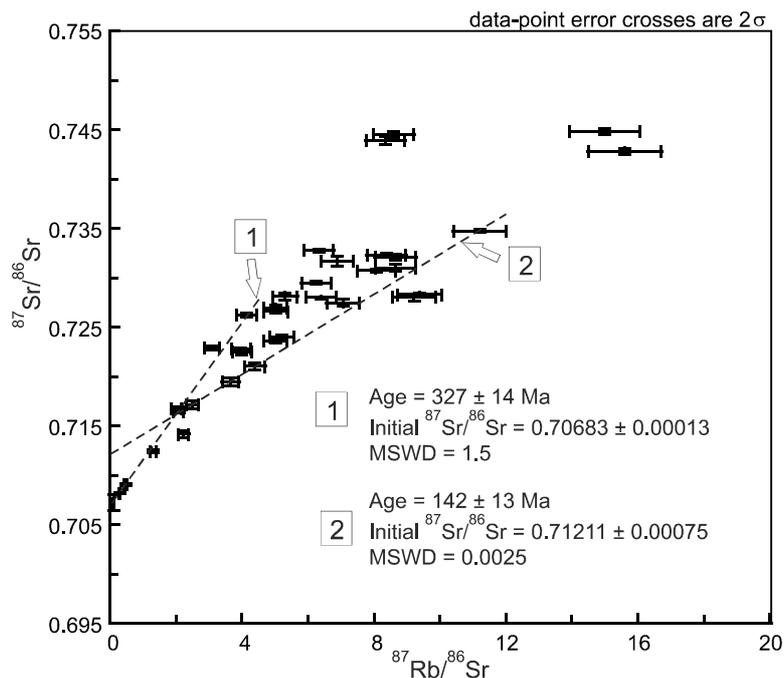
Таблица 2. Результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования проб месторождения Кубака.

| Температура   | Ca/K   | $\pm 2\sigma$ | $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ | $\pm 2\sigma$ | $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ | $\pm 2\sigma$ | кумулят.<br>$^{39}\text{Ar}$ , % | Возраст<br>(млн лет) | $\pm 2\sigma$ |
|---|--------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------------------|----------------------|---------------|
| <i>ОМ134 матрица, <math>J = 0.003597 \pm 0.000034</math></i>      |        |               |                                 |               |                                 |               |                                  |                      |               |
| 500   | 721.53 | 537.46        | 0.01098                         | 0.00146       | 0.00145                         | 0.00124       | 0.8                              | 309.2                | 186.5         |
| 650   | 202.29 | 109.20        | 0.01468                         | 0.00009       | 0.00279                         | 0.00035       | 3.2                              | 75.8                 | 43.3          |
| 775   | 157.49 | 62.48         | 0.01111                         | 0.00005       | 0.00245                         | 0.00006       | 16.8                             | 155.2                | 9.9           |
| 875   | 40.96  | 46.30         | 0.02387                         | 0.00005       | 0.00150                         | 0.00006       | 38.2                             | 145.3                | 4.4           |
| 975   | 30.39  | 29.63         | 0.02787                         | 0.00007       | 0.00080                         | 0.00011       | 58.0                             | 169.7                | 6.9           |
| 1130  | 1.90   | 9.78          | 0.02854                         | 0.00001       | 0.00046                         | 0.00009       | 91.6                             | 186.3                | 5.4           |
| 1170  | 39.23  | 39.14         | 0.02618                         | 0.00030       | 0.00099                         | 0.00020       | 100.0                            | 167.1                | 13.4          |
| <i>ОМ134 плагиоклаз, <math>J = 0.0.003589 \pm 0.000034</math></i> |        |               |                                 |               |                                 |               |                                  |                      |               |
| 550   | 95.55  | 37.43         | 0.01176                         | 0.00106       | 0.00292                         | 0.00101       | 3.1                              | 74.3                 | 36.0          |
| 700   | 11.37  | 6.77          | 0.02700                         | 0.00073       | 0.00202                         | 0.00069       | 17.3                             | 94.3                 | 7.2           |
| 900   | 51.56  | 5.19          | 0.03308                         | 0.00379       | 0.00051                         | 0.00370       | 46.9                             | 158.9                | 9.2           |
| 1015  | 11.01  | 10.77         | 0.02764                         | 0.00213       | 0.00060                         | 0.00198       | 65.8                             | 182.9                | 8.4           |
| 1020  | 21.11  | 9.52          | 0.02920                         | 0.00463       | 0.00089                         | 0.00445       | 85.1                             | 156.6                | 9.1           |
| 1130  |        |               | 0.02908                         | 0.00063       | 0.00062                         | 0.00055       | 100.0                            | 173.3                | 6.8           |
| <i>ОМ141 адуляр, <math>J = 0.0.00358 \pm 0.000034</math></i>      |        |               |                                 |               |                                 |               |                                  |                      |               |
| 500   | 4.871  | 2.81          | 0.009468                        | 0.010693      | 0.001772                        | 0.056838      | 0.75                             | 298.95               | 17.65         |
| 550   | 2.889  | 4.27          | 0.009217                        | 0.000106      | 0.002145                        | 0.000086      | 1.47                             | 239.91               | 15.95         |
| 650   | 0.374  | 5.67          | 0.041191                        | 0.000075      | 0.000468                        | 0.000041      | 6.86                             | 130.33               | 2.13          |
| 800   | 0.197  | 5.97          | 0.035574                        | 0.000032      | 0.000154                        | 0.000035      | 15.67                            | 165.51               | 2.30          |
| 850   | 0.297  | 3.01          | 0.034573                        | 0.000033      | 0.000387                        | 0.000036      | 22.13                            | 158.34               | 1.50          |
| 900   | 0.950  | 0.54          | 0.023842                        | 0.000022      | 0.000149                        | 0.000012      | 31.41                            | 242.05               | 2.32          |
| 950   | 0.514  | 1.18          | 0.023415                        | 0.000021      | 0.000155                        | 0.000011      | 37.88                            | 245.74               | 2.74          |
| 975   | 1.918  | 0.56          | 0.019398                        | 0.000045      | 0.000059                        | 0.000009      | 55.94                            | 300.71               | 2.81          |
| 1000  | 3.286  | 0.51          | 0.019376                        | 0.000046      | 0.000126                        | 0.000009      | 72.78                            | 295.42               | 2.90          |
| 1050  | 5.694  | 0.59          | 0.019194                        | 0.000061      | 0.000075                        | 0.000039      | 82.06                            | 302.33               | 4.31          |
| 1100  | 0.085  | 20.77         | 0.019157                        | 0.000064      | 0.000156                        | 0.000040      | 90.28                            | 295.98               | 5.57          |
| 1130  | 7.582  | 0.55          | 0.020239                        | 0.000179      | 0.000156                        | 0.000066      | 95.48                            | 281.38               | 6.31          |
| 1140  | 6.876  | 0.89          | 0.019910                        | 0.000159      | 0.000646                        | 0.000066      | 100.00                           | 245.13               | 4.55          |

задачи прямого определения возраста жилы, но они строго ограничили верхний возрастной предел золоторудной минерализации границей карбона и перми (рис. 5). Нижнее ограничение возраста оруденения требует дополнительных изотопно-геохронологических исследований с воспроизведением дат. Необходимо заметить, что приведенные ранее в работах [8, 14] результаты Rb-Sr датирования смесей жильных минералов показали нарушенные эрохронные зависимости. Первые же результаты Ar-Ar датирования адуляра из жил Центральной зоны Кубака [6] оказались также явно нарушенными, как это впервые отметил И.Н. Котляр [5]; к тому же приведенные результаты не сопровождалось надлежащим образом оформленными табличным и графическим материалами, что не позволяло оценить надежность датировок с позиции критерия выделения плато (не менее чем три ступени с более чем 50 % выделившегося кумулятивного  $^{39}\text{Ar}$ , низкое СКВО, конкордантность возрастов плато и изохроны с учетом погрешностей). Полученные нарушенные меловые даты для оруденения вполне

объяснимы, учитывая низкую температуру закрытия аргоновой изотопной системы в калиевом полевоом шпате ( $T = 218-237 \text{ }^\circ\text{C}$ : [20]) и «относительную легкость» потерь  $^{40}\text{Ar}$  при наложенных низкотемпературных процессах пропилитизации в мелу.

В заключение еще раз подчеркнем хорошо известные главные критерии, которых необходимо придерживаться при оценке надежности полученных датировок и валидности оценок геологического возраста, в порядке значимости: 1) согласованность получаемых хронометрических дат с наблюдаемыми геологическими взаимоотношениями, 2) систематическое воспроизведение интервала датировок с учетом погрешности как для изучаемого локального геологического объекта (свита, толща, массив, жильные образования определенного типа), так и для других генетически близких объектов в районе или провинции; 3) полное раскрытие аналитических изотопно-геохронологических данных, включая погрешности измерений и статистические параметры расчетов.



**Рис. 6.** Эрохронная зависимость Rb-Sr изотопных отношений, измеренных в смесях жильных минералов (адуляра, иллит, кварц, карбонат), по материалам [8, 14].

Показаны два варианта гипотетических линейных зависимостей, построенные по крайним по наклону точкам для наиболее древних и молодых эрохрон.

## ВЫВОДЫ

Полученные новые U-Pb датировки циркона, выполненные методом SHRIMP, из рудовмещающих туфов кедонской серии, а также  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  даты по-струдной дайки и адуляра из продуктивной золотоносной жилы Цокольной зоны месторождения Кубака с большой вероятностью указывают, как минимум, на каменноугольный верхний возрастной предел эпитептермальной золотой минерализации. Результаты не подтверждают представления о полихронном (каменноугольном и меловом) характере рудообразования на этом уникальном крупном месторождении [6, 8, 10, 14]. Наши геологические наблюдения позволяют уверенно заключить, что оруденение «зажато» по времени формирования в вилке между извержениями рудовмещающих позднедевонских вулканитов кедонской серии (U-Pb дата по циркону около  $370 \pm 2.5$  млн лет) и секущей дайкой ранне-среднеюрских трахибазальтов и пикробазальтов ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст плато  $179 \pm 8$  млн лет), в то же время не проникая в карбоновую корбинскую свиту.

Исследования выполнены при поддержке Программы «Дальний Восток», грант 18-2-015, а также в рамках Государственного задания СВКНИИ ДВО РАН по теме НИР № АААА-А17-117022850033-6. Авторы благодарны д.г.-м.н. А.А. Сорокину и д.г.-м.н. А.В. Прокопьеву за позитивные рецензии и полезные замечания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагиева А.М., Жуланова И.Л. Геохронометрия среднепалео-

зойских вулканитов Омолонского массива: сопоставление K-Ar, Rb-Sr, U-Pb данных и геологическая интерпретация (Северо-Восток Азии) // Тихоокеан. геология, 2011. Т. 30, № 3. С. 3–19.

- Горячев Н.А., Егоров В.Н., Савва Н.Е., Кузнецов В.М., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток: Дальнаука, 2017. 312 с.
- Калинин А.И., Константинов М.М., Стружков С.Ф. Геологическое строение месторождения Ольча, Омолонский массив // Руды и металлы. 2002. № 4. С. 41–47.
- Котляр И.Н. Петрологическое моделирование при прогнозе и оценке золото-серебряного оруденения в слабо освоенных горнорудных районах. Возраст золотых руд месторождения Кубака // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии: Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 156–159.
- Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 319 с.
- Лейер П.У., Иванов В.В., Раткин В.В., Бандтцен Т.К. Эпитептермальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -определения возраста руд // Докл. АН. 1997. Т. 356, № 5. С. 665–658.
- Лычагин П.П., Дылевский Е.Ф., Ликман В.Б. Магматизм Омолонского срединного массива // Изв. Акад. наук СССР. Сер. геологическая. 1990. № 7. С. 17–29.
- Наталенко М.В., Стружков С.Ф., Рыжов О.Б., Вакин М.Е., Ишков Б.И., Гиллес Б., Карчавец В.П., Устинов В.И., Шергина Ю.П. Геологическое строение и минералогия месторождения Биркачан // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 37–52.
- Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Тер-

- мохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. Т. 11. С. 1181–1199.
10. Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А. Особенности рудообразования на эпitherмальном Au-Ag месторождении Кубака (Северо-Восток России) // Докл. АН. 2007. Т. 417, № 1. С. 79–83.
  11. Савва Н.Е., Шахтыров В.Г. Золото-серебряное месторождение Олча: тектоническая позиция, структура и минералогическая характеристика // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 5. С. 462–486.
  12. Степанов В.А., Лайпанов Х.Х. О рудокластах близповерхностного золото-серебряного месторождения Омолонского массива // Докл. АН СССР. 1991. Т. 316, № 2. С. 444–447.
  13. Степанов В.А., Шишакова Л.Н. Кубакинское золото-серебряное месторождение. Владивосток: Дальнаука, 1994. 195 с.
  14. Степанов В.А., Шергина Ю.П., Шкоробогатова Г.С., Шишакова Л.Н., Рублев А.Г. Возраст руд Кубакинское месторождения золота (Омолонский массив) // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17. № 5. С. 89–97.
  15. Терехов М.И. Стратиграфия и тектоника южной части Омолонского массива. М.: Наука, 1979. 116 с.
  16. Черняев Е.В., Черняева Е.И. Структура и условия локализации золотого оруденения Кубакинское рудного поля // Изв. Томск. политехн. ун-та. 2001. Т. 304. Вып. 23: Геология, поиски и разведка полезных ископаемых Сибири. С. 225–243.
  17. Шпетный А.П. Вещественный состав, металлогеническая и геохимическая специализация магматических формаций Северо-Востока (тема 885) // Информ. бюлл. о результатах тематических работ. Вып. 9. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 15–19.
  18. Baksi A.K. Guidelines for assessing the reliability of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau ages: application to ages relevant to hotspot tracks. 2006. <http://www.mantleplumes.org/ArAr.html> [accessed 24 July 2014]
  19. Black L.P., Kamo S.L., Allen C.M., Aleinikoff J.N., Valley J.W., Mundil R., Campbell I.H., Korsch R.J., Williams I.S., Foudoulis C. Improved  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards // Chem. Geol. 2004. V. 205. P. 115–140.
  20. Hodges K.V. Geochronology and thermochronology in orogenic systems / R.L. Rudnick (Ed.), Treatise on Geochemistry. The Crust // Elsevier. 2003. V. 3. P. 263–291.
  21. Ludwig K.R. User's Manual for Isoplot Version 3.75–4.15: a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronological Center Spec. Publ., 2012. V. 5. P. 1–75.
  22. Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C. & Spiegel, W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses // Geostandards Newsletter. 1995. V. 19. P. 1–23.
  23. Williams I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Reviews in Economic Geology. 1998. V. 7. P. 1–35.

*Рекомендована к печати А.А. Сорокиным  
после доработки 23.04.2019 г.  
принята к печати 06.09.2019 г.*

*V.V. Akinin, A.N. Glukhov, G.O. Polzunenkov, A.V. Alshevsky, D.I. Alexeev*

### **Age of the Kubaka epithermal gold-silver deposit (Omolon massif, Northeast Russia): geological and isotopic-geochronology constrains (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ methods)**

New data were obtained on the age of the epithermal gold-silver mineralization of the Kubaka deposit (Omolon massif, Northeast Russia). Our geological observations in the open-pit mine of the Zokol zone of the deposit certainly allow conclusions to be made of the formation of mineralization between the eruptions of the ore-hosting Upper Devonian volcanics of the Kedon series (zircon U-Pb age about  $370 \pm 2.5$  Ma, SHRIMP) and Lower to Middle Jurassic trachybasalts and picobasalts of the Omolon complex ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau age of  $179 \pm 8$  Ma) without penetrating of the vein into the Carboniferous Corba formation. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of the plateau for a white adularia from the productive quartz vein yielded  $299 \pm 3.5$  Ma (MSWD = 0.91,  $p = 0.43$ , 66 % of  $^{39}\text{Ar}$  released in four steps). Our results contradict with widely accepted notion of «polychronous» ore formation (in the Carboniferous and Cretaceous) or a very long-term of mineralization at the Kubaka deposit, and are likely to indicate at least the Upper Carboniferous upper age limit of epithermal gold mineralization.

**Key words:** gold, epithermal deposits, age of mineralization, zircon,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, Kubaka, Omolon massif, Northeast Russia.