

**ВОЗРАСТ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ЭВЕНСКОЙ ГРУППЫ (ОХОТСКО-ЧУКОТСКИЙ
ВУЛКАНОГЕННЫЙ ПОЯС, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

Р.Г. Кравцова, С.И. Дриль, А.С. Макшаков

*ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского 1 а, г. Иркутск, 664033;
e-mail: krg@igc.irk.ru*

Поступила в редакцию 11 мая 2023 г.

Обобщены имеющиеся и вновь полученные данные по изотопному возрасту и составу вулканогенных Au-Ag месторождений и рудопроявлений Эвенской группы (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, Северо-Восток России). Возраст Au-Ag руд изученных месторождений и рудопроявлений, установленный изотопным K-Ar методом составил 82.7 ± 3 – 77.5 ± 3 млн лет, изохронным Rb-Sr методом 84.1 ± 2 – 79.7 ± 5 млн лет. Длительность формирования Au-Ag оруденения оценивается примерно в 5 млн лет. Au-Ag минерализация, типичная для продуктивных рудных стадий, практически не затронутая более поздними термальными процессами, характеризуется низкими величинами первичных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0) = 0.7055$ – 0.7058 , близких к первичным отношениям $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0)$ в околорудных метасоматитах (0.7033 – 0.7082) и неизменных вмещающих породах (0.7045 – 0.7048), что указывает на резкое преобладание мантийного Sr в рудах. Точки составов рудного Pb на эволюционной диаграмме $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ группируются в непосредственной близости от точек изотопного состава Pb в истощенной (деплетированной) мантии, с трендом в область вулканитов, сформировавшихся в зонах субдукции, типичных для континентальной окраины. Подтверждается тесная генетическая связь между рудными и магматическими процессами. Предполагается, что эта связь обусловлена функционированием единого мантийного базальтоидного очага – источника металлоносных флюидов и, вероятно, первоисточника Au и Ag.

Ключевые слова: Au-Ag месторождения, K/Ar изотопный и Rb/Sr изохронный возраст руд, изотопы Sr и Pb, источник металлоносных флюидов, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении процессов эндогенного рудообразования геохронологические и изотопные исследования крайне важны. Всестороннее исследование в этой области имеет большое значение для решения многих проблем современной геологии. Это установление этапов магматизма и метаморфизма, выявление возрастных соотношений между вулканической и плутонической фациями, условий их формирования и оценка потенциальной рудоносности. Важнейшими для геологической науки являются проблемы связи рудной минерализации с материнскими магматическими породами, а также вопросы выявления источников рудного вещества, которые не могут быть решены без определения изотопного возраста и изотопного состава собственно рудной минерализации.

Для крупнейшего Эвенского золото-серебряного (Au-Ag) рудного района (Северо-Восток России) большая часть опубликованных данных по этой проблематике посвящена изучению магматических и метаморфических, реже метасоматических комплексов горных пород [8, 11, 13, 14, 16, 18, 20, 21, 27–29, 38 и др.]. Сведений по изотопному возрасту и составу собственно вулканогенных эпитермальных Au-Ag руд этого района немного.

Наиболее изучено в этом отношении Au-Ag месторождение Кубака (Омолонский массив) [2, 12, 45, 47–49, 58]. В работах П.У. Лейера с соавторами [35, 63] приводятся данные по изотопному возрасту полосчатой руды месторождения Кегали. По Au-Ag месторождению Биркачан изохронный возраст дан только одной цифрой [37] и, скорее всего, относится к возрасту силлообразных тел риолитов, вмещающих

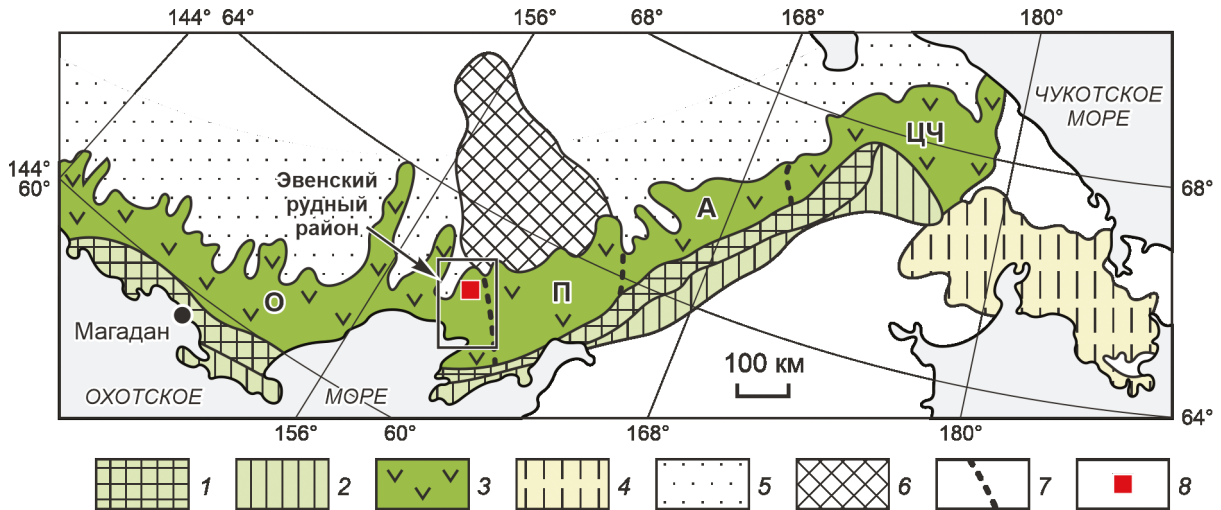


Рис. 1. Схема тектонического и металлогенического районирования ОЧВП. Составлена по материалам [5, 6], с небольшими изменениями и дополнениями авторов.

1, 2 – внутренняя зона: 1 – унаследованная (золото-серебро-медно-порфировая), 2 – новообразованная (золото-серебро-медно-молибден-порфировая); 3 – внешняя зона (золото-серебряная); 4 – фланговая зона (золото-серебряная, золото-порфировая); 5 – перивулканическая зона (золото-мышьяковисто-сульфидная); 6 – Омолонский массив; 7 – границы секторов внешней зоны ОЧВП (О – Охотский, П – Пенжинский, А – Анадырский, ЦЧ – Центрально-Чукотский); 8 – площадь проведения исследований.

рудную минерализацию. В последнее время появились данные по Au-Ag рудам месторождения Невенрекан [43]. По эпитермальным Au-Ag рудным объектам, приуроченным к центральной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), относящимся к так называемой Эвенской группе (Au-Ag месторождения Дальнее, Кварцевая Сопка, Ирбычан, Ороч и Au-Ag рудопроявления Красная Сопка, Тэн, Торок, Альдыгич, Старт, Сурьма), публикаций также немного. В основном, это краткие сообщения, касающиеся месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка* и Ирбычан [17, 33, 35, 38, 63].

В настоящей работе основными задачами проведенных исследований явилось изучение изотопного возраста (K-Ar, Rb-Sr) и изотопного состава (Sr, Pb) Au-Ag руд месторождений и рудопроявлений Эвенской группы, сформировавшихся в вулканогенных условиях центральной части ОЧВП. Основная цель – обобщение и анализ имеющихся и вновь полученных данных с целью определения возраста и продолжительности рудных процессов, их связи с магматизмом, а также выявление источника металлоносных флюидов и, возможно, первоисточника Au и Ag.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Геологическое строение площади, на которой проводились наши исследования, известно главным образом по фондовым материалам геологических организаций. Частичное изложение и обобщение этих материалов, наряду с материалами по другим рудным регионам, дано в монографиях [5–7, 9, 25, 52, 53]. Значительно больше публикаций посвящено геолого-минералогическим и геохимическим исследованиям рудных объектов, большинство которых представлено Au-Ag месторождениями [4, 21–24, 30–32, 34, 36, 67 и др.].

Из всех известных эпитермальных Au-Ag рудных объектов, входящих в состав Эвенской группы, предметом нашего изучения стали месторождения Дальнее, Кварцевая Сопка, Ирбычан и рудопроявления Тэн, Альдыгич. Территория, где эти объекты находятся, приурочена к центральной части ОЧВП, к восточной части Охотского сектора и западной Пенжинского (рис. 1). В строении этой площади принимает участие целый ряд крупных вулканотектонических структур, с которыми связано оруденение. Изученные нами Au-Ag месторождения и рудопроявления сформировались в рамках двух таких рудоносных структур – кольцевой вулканотектонической Верхне-Туромчинской (Верхне-Гижигинское вулканическое поле) и очаговой кольцевой Ирбычанской (Пареньское вулканическое поле) [15, 52, 53]. Эти структуры и формирующие

*На начальных этапах изучения (1972–1984 гг.) месторождения Дальнее и Кварцевая Сопка называли участками Эвенского месторождения [17] или Эвенского рудного поля [22]. В работах [35, 38, 63] эти два месторождения тоже названы Эвенским.

их магматические образования относятся, в основном, к позднему мелу. Магматические образования позднемелового рудовмещающего комплекса пользуются преобладающим развитием. Раннемеловая вулканическая деятельность здесь проявлена крайне слабо. Раннемеловой вулканический комплекс сложен палеотипными андезитами и андезибазальтами. Раннемеловой интрузивный магматизм вообще отсутствует (рис. 2).

Месторождения Дальнее, Кварцевая Сопка, рудопроявления Тэн и Альдыгич расположены на площади Верхне-Туромчинской кольцевой вулканоструктуры, имеющей четкие ограничения, обусловленные наличием зон глубинных разломов – Туромчинского и Гижигинского [52, 53]. Внутренняя часть структуры представлена зональным интрузивно-эффузивным массивом, в составе которого выделяется интрузивное ядро – Доктомычанская интрузия гранитоидов. Массив вдоль северной и восточной окраины обрамлен периферической зоной кислых и средних по составу эффузивов, которые контролируются серией разломов, с приуроченными к ним субвулканическими малыми интрузиями и дайками гранодиоритов и субвулканическими экструзивными телами преимущественно дацитового состава. Они образуют внешнюю кольцевую зону, к которой пространственно тяготеет большинство изученных Au-Ag месторождений и рудопроявлений (рис. 2).

Месторождение Ирбычан приурочено к южной части Ирбычанской кольцевой очаговой рудоносной структуры, находящейся на пересечении Доктомычанского, Хивачского и Гижигинского глубинных разломов, в зоне сочленения Пареньского и Верхне-Гижигинского полей [4, 15]. На северо-востоке эта структура граничит с крупным Ахавеевским гранитным массивом (Пареньское вулканическое поле), на юге – с Гижигинским гранодиоритовым массивом (Верхне-Гижигинское вулканическое поле). Сложена структура вулканитами, в основном, кислого состава, дацитами и их игнимбритами, реже андезитами. С вулканитами тесно связаны гипабиссальные массивы и мелкие штокообразные тела гранитов, гранодиоритов и диоритов (рис. 2).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Месторождения и рудопроявления, на которых проводились наши исследования, относятся к типичной для вулканогенных поясов близповерхностной эпитермальной убогосульфидной Au-Ag рудной формации [41]. Отличительная черта изученных этих месторождений – их биметалльность и относительная простота. Промышленные концентрации образуют

только два элемента – Au и Ag. Продуктивная минерализация формируется преимущественно в одну (Кварцевая Сопка, Дальнее), реже в две (Ирбычан) стадии.

Вмещающими рудную минерализацию породами являются вулканиты верхнемелового комплекса, в основном, эффузивы среднего и кислого состава. На месторождении Дальнее и рудопроявлении Тэн это вулканиты средней туромчинской толщи – андезиты, их туфы и туфобрекчии. На месторождении Кварцевая Сопка и рудопроявлении Альдыгич вулканиты нижней вархаламской толщи – риодациты, дациты, их туфы и игнимбиты. Все вулканические породы обогащены калием. Отмеченные на отдельных участках месторождений горизонты эксплозивных брекчий широко проявлены только на месторождении Кварцевая Сопка. На месторождении Ирбычан руды вмещают дациты и игнимбиты гольцовой (аналог вархаламской) толщи и андезиты чайваеемской (аналог туромчинской) толщи. В целом оруденение имеет неравномерный, бонанцевый характер распределения. В то же время, богатые бонанцевые руды встречаются крайне редко.

Рудные тела в разрезе изученных месторождений Дальнее, Кварцевая Сопка и Ирбычан имеют веерообразное строение, различную крутизну залегания (от 40° до 80°) и сложные морфологические формы. В верхних частях они характеризуются ветвлением, многочисленными раздувами и пережимами, сопровождаются целым рядом маломощных жил и прожилков, сменой участков монолитного строения зонами брекчирования и прожилкования. С глубиной морфология рудных зон упрощается, мощности жил заметно снижаются до полного выклинивания. Для руд с промышленными содержаниями Au и Ag типичны колломорфные, ритмично-полосчатые, реже брекчиевые и массивные текстуры.

Морфологические и текстурные особенности рудных тел рудопроявления Тэн, вскрытых канавами и редкими скважинами на момент наших исследований, практически те же самые. Рудопроявление Альдыгич изучено слабо, по немногочисленным канавам и коренным обнажениям. Установлен целый ряд жильных зон, состоящих из ветвящихся коротких жил, реже прожилков.

Рудные тела на всех изученных рудных объектах представлены, в основном, кварцевыми, кварц-адуляровыми жилами и жильными зонами с убогой сульфидной минерализацией. Среди слагающих их минералов всегда преобладает кварц. Кварц обычно массивный, кавернозный, преимущественно мелкозернистый, часто имеет метасоматический облик. Второй

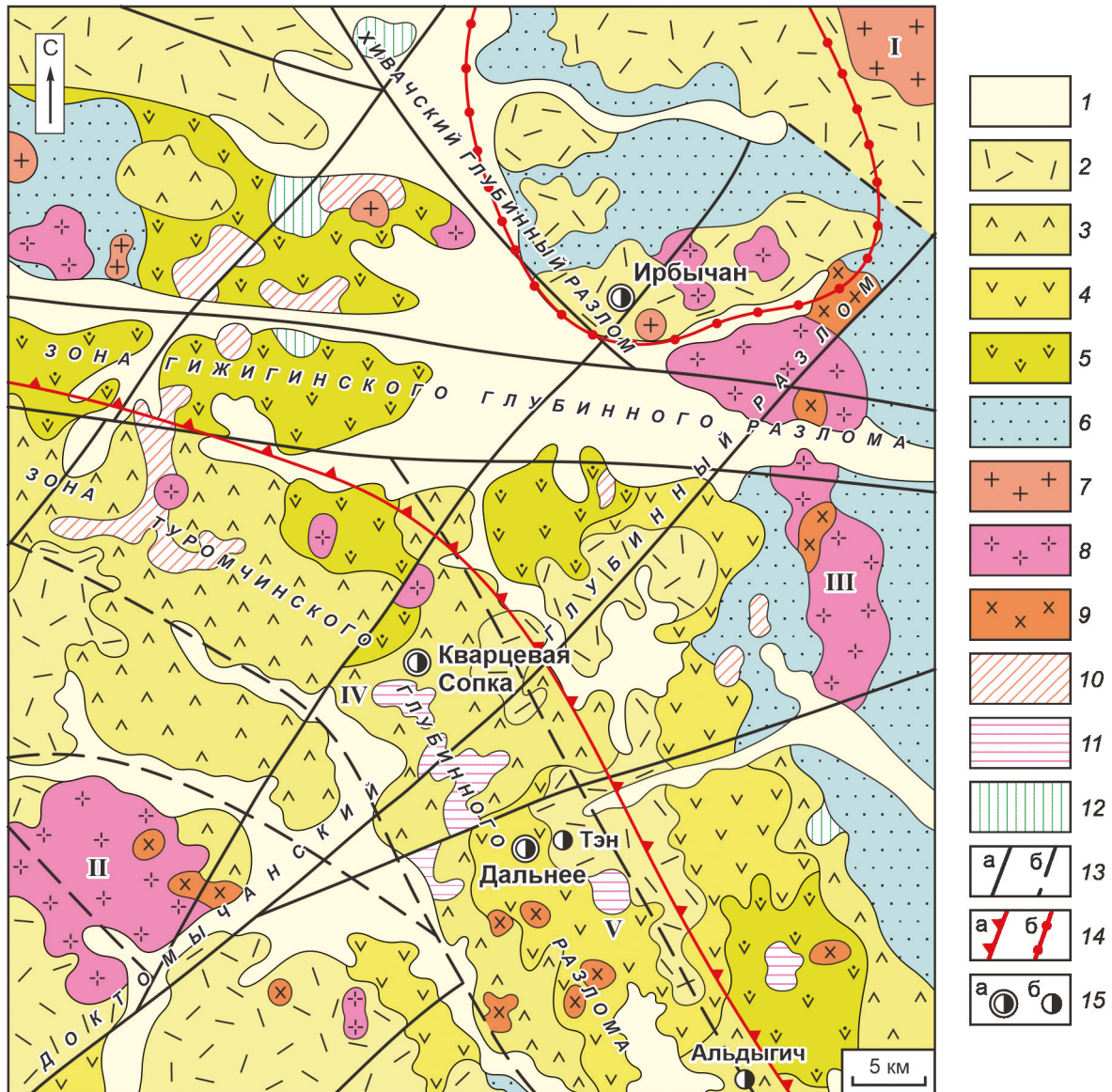


Рис. 2. Геолого-структурная схематическая карта площади исследований (Эвенский рудный район, фрагмент), составлена по материалам, опубликованным в [31, 34].

1 – нерасчлененные четвертичные отложения; 2–4 – верхнемеловой вулканический комплекс: 2 – хайчанские трахириолиты, их туфы и игнимбриты, 3 – вархаламские трахидациты, их туфы и игнимбриты, 4 – туромчинские трахиандезиты, андезибазальты и их туфы; 5 – ниже-верхнемеловой нерасчлененный вулканический комплекс (палеотипные андезиты, их туфы и игнимбриты); 6 – палеозойские и мезозойские терригенные породы в основании вулканического пояса; 7–9 – позднемерловы интрузии: 7 – граниты (I – Ахавеемский массив), 8 – гранодиориты (массивы: II – Доктомычанский, III – Гижигинский), 9 – диориты, габбродиориты; 10–12 – позднемерловы субвулканические тела: 10 – риолиты, 11 – дациты (массивы и их автомагматические брекчии: IV – Кварцевый, V – Дальний), 12 – андезиты, андезибазальты; 13 – разрывные нарушения (а – установленные, б – предполагаемые); 14 – внешние границы вулканоструктур (а – Верхне-Туромчинской, б – Ирбычанской); 15 – Au-Ag месторождения (а) и рудопоявления (б).

по распространенности минерал – адуляр. Карбонат встречается спорадически. В приповерхностных зонах рудные тела часто интенсивно серицитизированы, гидрослюдизированы, вплоть до каолинитизации. С глубиной и на флангах месторождений появляются жилы и прожилки кварц-адуляр-сульфидного и кварц-сульфидного состава.

Продуктивная рудная минерализация месторождений Кварцевая Сопка и Дальнее формируется преимущественно в одну золото-акантитовую стадию. Вещественный состав рудных тел: кварц (90–95 %), адуляр (5–10 %, иногда до 50 %), серицит, гидрослюда, карбонат, каолинит (1–10 %) и рудные минералы (1–3 %). Наиболее распространенный из

рудных минералов – пирит. На его долю приходится до 95 %. Главные рудные минералы – акантит, электрум, прустит, пираргирит, самородные золото и серебро, полибазит, штрмейерит. Реже встречаются миаргирит, пирсеит, стефанит, науманнит, блеклые руды, гессит, петцит, галенит, сфалерит, халькопирит.

Минерализация рудопроявления Тэн более бедная и по качественному, и по количественному составу. Из минералов золота и серебра отмечаются аргентит, электрум, прустит, пираргирит, из простых сульфидов проявлен пирит, редко встречаются галенит, сфалерит, халькопирит. Особенностью минерализации рудопроявления Альдыгич является то, что большая часть рудных минералов представлена не только пиритом. Существенно увеличивается количество таких сульфидов, как галенит, сфалерит, халькопирит. Золото (электрум) и минералы серебра (акантит, прустит, Ag-содержащие блеклые руды) отмечены в единичных случаях.

В отличие от месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка, в формировании рудных жил месторождения Ирбычан четко проявлены две продуктивные рудные стадии – кварц-адуляровая (золото-акантитовая) и более поздняя – кварцевая (золото-сульфосольная). Вещественный состав кварц-адуляровых жил золото-акантитовой стадии и их структурно-текстурные особенности, в основном, идентичны выше описанным для месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка. Отличие лишь в более тонкой рассеянности рудной минерализации, что создает определенные трудности в диагностике минералов. Визуально определяется только пирит. Микроскопически удалось установить акантит, электрум, реже прустит, пираргирит, блеклые руды, крайне редко – галенит, сфалерит и халькопирит. Кварцевые жилы поздней золото-сульфосольной стадии пересекают и дробят кварц-адуляровые жилы, цементируют их обломки. Здесь чаще встречаются жилы брекчиевой текстуры. Для кварцевых жил характерно почти полное отсутствие адуляра. В то же время, наряду с кварцем часто присутствуют железистые карбонаты и гнезда кальцита. Количество рудных минералов увеличивается иногда до 40–50 %. В основном, это сульфосоли Ag (прустит, пираргирит). При визуальном описании их часто называют серебряной чернью. Реже встречаются акантит, электрум, пирит, еще реже – блеклые руды, штрмейерит, миаргирит.

Наиболее полная геолого-структурная и минералого-геохимическая характеристика изученных нами месторождений и рудопроявлений приводится в работах [4, 15, 22–24, 30–32, 34, 36, 67].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выяснения возраста Au-Ag руд (кварцевых, кварц-адуляровых, кварц-адуляр-сульфидных и кварц-сульфидных жил) были использованы K-Ag и Rb-Sr изотопные методы. Для выявления источника рудного вещества – изотопный состав Sr в рудах и изотопный состав Pb в сульфидах (пирите и галените). Определение K-Ag изотопного возраста проводилось по валовым пробам и калиевому полевоому шпату (адуляру), выявление Rb-Sr изохронного возраста – по валовым пробам. Валовые и мономинеральные пробы отбирались из разных по составу Au-Ag рудных жил, реже зон прожилкования.

При изучении K-Ag изотопного возраста руд по валовым пробам и адуляру содержание радиогенного Ag определялось методом изотопного разбавления воздушным Ag. В качестве эталонов использовались стандарты Bi-70 и Азия/65, содержащие соответственно 0.0947 и 0.0442 мм³/г аргона-40. Средняя ошибка определения Ag не превышала 3 %. При расчете возраста применялись константы $\lambda_{\alpha} = 0.557 \cdot 10^{-10}$ лет⁻¹ и $\lambda_{\beta} = 4.72 \cdot 10^{-10}$ лет⁻¹. Калий определялся методом фотометрии пламени по стандартной методике. По данным рентгеноструктурного анализа, отобранный для датирования K-Ag методом калиевый полевой шпат по своим характеристикам ($\Delta Z = 0.65-0.67$, $A_v < 5\%$) ближе всего к адуляру, гидротермальной разновидности ортоклаза. Все аналитические исследования проводились в лабораториях ИГХ СО РАН, г. Иркутск.

Химическая подготовка проб к изотопному анализу Sr проводилась в блоке чистых химических помещений ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Выделение чистых фракций стронция из геологических проб осуществлялось по двухстадийной схеме с использованием ионообменных смол BioRad AG 50W*8, 200–400 меш и BioRad AG 50*12, 200–400 меш. Для определения изотопного состава стронция и концентраций рубидия и стронция применялся метод двойного изотопного разбавления с использованием смешанного трассера ⁸⁵Rb + ⁸⁴Sr [60]. Измерения изотопного состава стронция выполнялись на 7-коллекторном масс-спектрометре Finnigan MAT-262 ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИГХ СО РАН (г. Иркутск) в статическом режиме с использованием одноленточной конфигурации источника ионов. Правильность результатов определения изотопного состава оценивалась по результатам измерения стандартного образца NBS-987, который в процессе проведения аналитических работ составил $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710254 \pm 7$ (2SD, $n = 25$). Точность измерения отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ по результатам параллельных измерений составляла около 1 %

(отн.), а отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – около 0.05 % (отн.). Эти же погрешности использовались при расчетах по программе «ISOPLOT».

Измерения изотопного состава свинца выполнялись на 7-коллекторном масс-спектрометре Finnigan MAT-262 ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (г. Иркутск) в статическом режиме. Использовался одноленточный режим с применением силикогелевого эмиттера. Точность анализа контролировалась измерением международного стандартного образца NBS-981 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.937$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.491$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.628$). Измеренные отношения стандарта ($n = 19$) соответствовали значениям $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.893 \pm 3$; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.343 \pm 3$; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.522 \pm 9$. Внутренняя сходимости анализа (2σ %) составляла 0.0016 для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношения, 0.0015 для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношения и 0.0017 для отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Воспроизводимость с аттестованным значением (δ %) составляла 0.0018 для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношения, 0.0026 для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношения и 0.0020 для отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К-Аг изотопный возраст Au-Ag руд

На начальных этапах исследования для определения возраста Au-Ag месторождений и рудопоявлений Эвенской группы был использован изотопный К-Аг метод. Применение этого метода у одних исследователей вызывает скептическое отношение [3, 12, 46, 65]. Другие, а их большинство, считают, что К-Аг геохронометрия, особенно в сочетании с другими методами, далеко не исчерпала свои возможности [8, 11, 16, 28, 29, 38, 42, 44, 45, 58, 61, 62, 68]. Опыт изучения близповерхностных Au-Ag месторождений показал, что широко проявленные наложенные термальные процессы, характерные для этого типа руд, существенно влияют на изменение их вещественного и, как следствие, изотопного состава. Поэтому для получения достоверных результатов из всего разнообразия эпитеpmальной Au-Ag минерализации в этой работе мы ограничились изучением Au-Ag руд, в основном, жильного типа, не затронутых наложенными процессами.

Результаты определения К-Аг возраста Au-Ag рудных жил приведены в табл. 1. Изотопный К-Аг возраст Au-Ag руд на изученных нами объектах составил (млн лет): Дальнее – 80.2 ± 3 – 79.3 ± 3 , Тэн – 77.5 ± 3 , Кварцевая Сопка – 82.7 ± 3 – 77.6 ± 3 и Ирбычан – 81.1 ± 3 – 77.5 ± 3 . Наблюдается достаточно проявленная тенденция зависимости значений К-Аг датировок от вещественного состава рудных жил. Так возраст кварцевых и кварц-адуляровых жил месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка, в которых

присутствуют более поздние прожилки карбонатного состава, моложе, чем жилы, которые такой карбонат не содержат. На месторождении Ирбычан жилы кварц-сульфидного состава более поздней золото-сульфосольной стадии моложе возраста кварц-адуляровых жил ранней золото-акантитовой стадии, что хорошо согласуется с геологической позицией этих образований (табл. 1).

Самые первые данные по К-Аг возрасту Au-Ag минерализации Эвенского месторождения (Дальнее, Кварцевая Сопка), приведенные в работе [17], составили (млн лет): по адуляру из кварц-адуляр-слюдистых жил – 76 ± 3 , 74 ± 3 ; по валовым пробам слудисто-кварцевого метасоматита – 74 ± 3 , адуляр-содержащего метасоматита – 74 ± 3 и алунитового кварцита – 80 ± 3 . Видно, что полученные датировки в значительной степени зависят не только от состава анализируемого материала, но и от степени проявленности более поздних метасоматических процессов, таких как гидрослюдизация и каолинизация в рудах на приповерхностных участках месторождений. Можно предположить, что на начальных этапах исследования датировались именно такие руды. Нельзя не отметить, что в приповерхностных рудных зонах развитие каолин-гидрослюдистого замещения связано не только с завершающей стадией рудообразования, но и с наложением более позднего процесса минералообразования, значительно оторванного по времени от рудного. Если согласиться с этим, то полученные И.А. Загрузиной [17] датировки не вполне отражают возраст первичных Au-Ag руд.

Причины часто наблюдающегося при К-Аг датировках омоложения или удрежнения возраста рудных образований однозначно не могут быть истолкованы, так как прямых данных, объясняющих это явление нет. О них можно судить лишь по косвенным признакам. Существуют разные точки зрения. Так, по мнению Я. МакДугалла и Т.М. Харрисона [65], более молодой возраст указывает на удаление Ag из «старых» минералов в процессе нагревания, более древний – на его внедрение. По мнению других исследователей, за процесс омоложения или удрежнения ответственны калий, вследствие нарушения изотопных систем при термальном воздействии. При привносе К наблюдается омоложение пород и руд, при выносе – удрежнение [3, 13, 16, 28, 38].

Как считают некоторые исследователи [38, 46], и мы с ними согласны, чем сложнее и многочисленнее термальные события, тем менее надежным является К-Аг метод. Объясняется это различием физико-химических свойств К и Ag, которое особенно проявляется в сложных геологических условиях и приводит к

нарушению К-Аг изотопной системы на всех уровнях анализируемого материала (минералы, породы, руды).

От себя можем добавить, что это относится не только к К-Аг методу. Примером тому служит Au-Ag месторождение Кубака (Омолонский массив). Кроме К-Аг дат пород и руд этого месторождения [12], критике подвергаются и другие методы определения изотонного возраста. И.Н. Котляром с соавторами [26, 27] ставятся под сомнение $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки руд, приведенные П.У. Лейером [35]. Указывается на их неполноту и несогласованность с геологическими данными. В работе [45] критикуются результаты U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования, опубликованные В.В. Акиным с соавторами [2]. И список таких работ можно продолжить.

В этом отношении изученные нами Au-Ag месторождения и рудопроявления Эвенской группы по изученности геологических и минералого-геохимических особенностей, позволяющие отобрать для исследования образцы неизмененных (первичных) руд, являются объектами, наиболее благоприятными для определения их изотопного возраста даже К-Аг методом. В то же время, нельзя не согласиться с теми исследователями, которые считают применение и интерпретацию этих данных более надежными, если они сочетаются с другими методами [8, 11, 28, 29, 38, 61, 62, 66 и др.]. Подтверждение тому – результаты определения Rb-Sr изохронного возраста Au-Ag руд месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка, которые приводятся ниже.

Rb-Sr изохронный возраст Au-Ag руд

Определение Rb-Sr изохронного возраста проводилось по валовым пробам на примере разных по составу продуктивных Au-Ag руд тел, представленных кварцевыми, кварц-адуляровыми, кварц-сульфидными жилами месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка. Изохронный Rb-Sr возраст Au-Ag руд месторождения Дальнее составил 79.7 ± 5 млн лет (табл. 2, рис. 3), что хорошо согласуется с результатами, полученными нами ранее – 80 ± 5 млн лет [33]. Данные по изохронному Rb-Sr возрасту Au-Ag руд месторождения Кварцевая Сопка составили 84.1 ± 2 млн лет (табл. 3, рис. 4) и приводятся впервые.

Оценка возраста руд изученных Au-Ag месторождений Rb-Sr изохронным методом дает удовлетворительный результат. Установленные значения 79.7 ± 5 млн лет (Дальнее) и 84.1 ± 2 млн лет (Кварцевая Сопка) соответствуют позднему времени и практически не противоречат нашим данным, полученным К-Аг изотопным методом для этих двух месторождений: 80.2 ± 3 – 79.3 ± 3 млн лет (Дальнее),

82.7 ± 3 – 77.6 ± 3 млн лет (Кварцевая Сопка) (табл. 1). Они также хорошо согласуются с изотопными датировками, опубликованными в работах [35, 63], полученными Ag-Ag методом по калиевым полевым шпатам (ортоклазу и адуляру) для рудных жил Au-Ag месторождений (млн лет): Дальнее – 78.6 ± 0.2 , Кварцевая Сопка – 80.4 ± 0.2 и Ирбычан – 82.5 ± 0.2 .

Изотопный К-Аг возраст Au-Ag минерализации Эвенского месторождения (Дальнее, Кварцевая Сопка) 76 ± 3 – 74 ± 3 млн лет, приведенный в работе [17], судя по анализируемому материалу (кварц-адуляр-слюдистые жилы и адуляр-слюдистые метасоматиты), не отражает в достаточной степени возраст первичных руд. В то же время, эти данные в целом не противоречат существующим представлениям о позднему возрасту рудовмещающего комплекса пород Верхне-Туромчинской кольцевой и Ирбычанской очаговой вулканоструктур (Верхне-Гижигинское и Пареньское вулканические поля).

По результатам предыдущих исследований, изотопный К-Аг возраст родоначальных андезитов, производными которых являются эффузивы среднего и кислого состава, породы, вмещающие Au-Ag оруденение Верхне-Гижигинского и Пареньского вулканических полей, составляет 92 ± 3 – 81 ± 3 млн лет [13]. Изотопный К-Аг возраст туромчинских андезитов и вархаламских дацитов, по данным [51], – 92 ± 3 млн лет. Полученные нами позднее К-Аг датировки возраста для двух образцов пропилитизированных андезитов, отобранных на флангах месторождения Дальнее, показали 87.1 ± 3 млн лет и 93.5 ± 3 млн лет. Изотопный К-Аг возраст рудной минерализации Au-Ag месторождений Эвенской группы, в общем, составил 82.7 ± 3 – 77.5 ± 3 млн лет, изохронный Rb-Sr – 84.1 ± 2 – 79.7 ± 5 млн лет (табл. 1 и рис. 3, 4).

Если обобщить все имеющиеся и вновь полученные геохронологические данные, длительность формирования Au-Ag руд месторождений и рудопроявлений Эвенской группы оценивается периодом примерно в 5 млн лет. Полученные нами результаты достаточно хорошо согласуются с уже существующими геологическими и геохронологическими наблюдениями. По данным [13, 16, 18, 28, 29, 51 и др.], формирование рудоносных структур Верхне-Гижигинского (Верхне-Туромчинская кольцевая структура) и Пареньского (Ирбычанская очаговая структура) вулканических полей происходило в период 92 ± 3 – 74 ± 3 млн лет назад, от внедрения родоначальных андезитов до гранодиоритов и гранитов. По сравнению с рудами этот период является наиболее продолжительным. Именно в этот, наиболее значительный по времени период, примерно 18 ± 3 млн лет, происходило фор-

Таблица 1. К-Ag возраст Au-Ag руд месторождений Эвенской группы.

№ п.п.	№№ проб	Место отбора	Краткая характеристика руд (Au, Ag, в г/т)	Материал	К, %	Ag, мм ³ /г	Возраст, млн лет
Месторождение Дальнее							
1	P-240	Скв. 2-бис, гл. 220 м	Кварцевая жила колломорфной текстуры с небольшим количеством адуляра и сульфидных минералов (0.15, 0.8)	Валовая проба	3.64	0.0109	79.3
2	P-3415/1	Штольня 1, подходная	Кварц-адуляровая жила ритмично-полосчатой текстуры с редкой вкрапленностью сульфидов (0.86, 7.6)	Адуляр	7.22	0.0217	79.7
3	P-4605	Штольня 10, рассечка 41	Кварц-адуляровая жила колломорфно-полосчатой текстуры с участками гидрослюдизации и редкой вкрапленностью сульфидных минералов (2.1, 6.5)	Валовая проба	5.00	0.0151	80.1
4	P-5105	Штольня 11, подходная	Кварц-адуляр-сульфидная жила брекчиевой текстуры с небольшим количеством обломков полностью окварцованных вмещающих пород (0.53, 5.5)	Валовая проба	5.75	0.0174	80.2
Рудопроявление Тэн***							
5	Г-1283/2+3*	Верховье реки Малая Туромча, коренное обнажение	Кварцевая жила неясноколломорфной текстуры с небольшим количеством адуляра, с редкой вкрапленностью пирита и густой сетью более поздних кварц-карбонатных прожилков (0.19, 2.7)	Валовая проба	5.78	0.0169	77.5
Месторождение Кварцевая Сопка							
6	P-4581M**	Штольня 4, штрек 2	Кварц-адуляровая жила, массивная, с видимым золотом и богатой сульфидной минерализацией, представленной в основном, минералами серебра (466, > 100)	Адуляр	7.94	0.0244	81.4
7	P-5707M**	Штольня 4, рассечка 24	Кварц-адуляр-сульфидная жила, массивная, с видимым золотом и сульфидной минерализацией, представленной пиритовой и серебряной чернью (268, > 100)	Валовая проба	6.25	0.0195	82.7
8	B-2724*	Штольня 4, подходная	Зона прожилково-вкрапленной рудной минерализации (гидрослюдисто-кварцевая метасоматическая жила) с убогой сульфидной минерализацией (0.6, 2.2)	Валовая проба	5.53	0.0167	80.1
9	B-2783*	Штольня 3, устье	Кварц-адуляровая жила, с большим количеством гнезд и более поздних прожилков карбоната, с убогой вкрапленностью сульфидных минералов, в основном, пирита (0.16, 6.7)	Валовая проба	5.91	0.0172	77.6
10	B-2821	Канава-251	Кварц-адуляровая жила полосчатой текстуры с убогой сульфидной минерализацией, представленной, в основном, пиритом и серебряной чернью (1.84, 50.7)	Адуляр	7.17	0.0223	82.1 ±
Месторождение Ирбычан							
11	P-5724	Штольня 15, штрек 8	Кварц-адуляровая жила массивной текстуры с редкой вкрапленностью пирита и минералов серебра (золото-акантитовая стадия) (34.5, > 100)	Адуляр	7.24	0.0213	78.1
12	P-5724/1		Кварц-адуляровая жила массивной текстуры, с небольшим количеством обломков вмещающих пород, вкрапленностью пирита и минералов серебра (золото-акантитовая стадия) (10.5, > 100)	Адуляр	7.23	0.0217	79.4

Таблица 1. (Продолжение).

№ п.п.	№№ проб	Место отбора	Краткая характеристика руд (Au, Ag, в г/т)	Материал	К, %	Ar, мм ³ /г	Возраст, млн лет
Месторождение Ирбычан							
13	P-5801	Штольня 15, отвалы	Кварц-адуляровая жила колломорфно-полосчатой текстуры с редкой вкрапленностью пирита и минералов серебра (золото-акантитовая стадия) (2.8, > 100)	Адуляр	8.20	0.0245	79.2
14	P-5801/1		Кварц-адуляровая жила полосчатой текстуры с небольшим количеством обломков более светлого кварца и вкрапленностью в основном пирита и минералов серебра (золото-акантитовая стадия) (0.67, > 100)	Адуляр	7.51	0.0225	81.0
15	P-5742	Штольня 15, штрек 6	Кварц-сульфидная жила колломорфно-полосчатой текстуры с вкрапленностью пирита и минералов серебра (более поздняя золото-сульфосольная стадия) (3.6, > 100)	Валовая проба	3.58	0.0105	77.6
16	P-5797	Штольня 15, отвалы	Кварц-сульфидная жила брекчиевой текстуры с обломками кварц-адуляровых жил и цемента, состоящего из кварца, пирита и минералов серебра (более поздняя золото-сульфосольная стадия) (2.96, > 100)	Валовая проба	5.62	0.0165	77.8
17	P-5797/1		Кварцевая жила колломорфной текстуры с тонкой вкрапленностью пирита и минералов серебра, рассеянная прожилками кварц-карбонатного состава (более поздняя золото-сульфосольная стадия) (3.6, > 100)	Валовая проба	5.61	0.0164	77.5

мирование рудоносных структур и связанной с ними Au-Ag минерализации.

Что касается K-Ar датирования. Сравнивая данные изотопной геохронологии с геологическими данными, приходим к выводу, что K-Ar метод далеко не исчерпал свои возможности и при правильном методологическом подходе к отбору анализируемого материала и последующей интерпретации полученных данных, особенно в сочетании с другими методами, в нашем случае с Rb-Sr изохронным методом, может быть весьма эффективен.

Следует отметить, что Rb-Sr изохронный метод, наряду с U-Pb (SHRIMP) и ⁴⁰Ar/³⁹Ar, считается наиболее надежным при датировании пород и руд. Хотя и здесь не без проблем. При обсуждении возраста ОЧВП, В.Ф. Белым [8] были выявлены существенные несоответствия между геологическими и изотопными данными в его Охотском и Центрально-Чукотском секторах. Значительные расхождения отмечены между U-Pb (SHRIMP) и ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировками. При этом K-Ar и Rb-Sr даты, привлекавшиеся раньше для расчленения вулканитов ОЧВП, в целом, подтверждают представления об его возрасте. В то же время, из большого количества определений K-Ar возраста, не относящихся к вулканитам, лишь малая часть согласуется с геологическими данными. Делается «эмпирический вывод о влиянии геологических факторов на изотопные системы («часы»)» [8, стр. 64]. Что касается результатов Rb-Sr датирования Au-Ag руд изученных нами месторождений, они показали удовлетворительный результат.

Изотопный состав Sr в Au-Ag рудах

У Rb-Sr изохронного метода есть и еще одно преимущество. Используемые при построении изохроны величины первичных отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr₍₀₎ дают нам представление не только о возрасте, но и об изотопном составе руд, который позволяет с той или иной степенью достоверности говорить о предполагаемом источнике металлоносных флюидов и возможном первоисточнике Au и Ag. Изученные нами

Примечание к таблице 1. * – Опубликованные в [13]. ** – монопробы, отобранные из богатых бананцевых руд с видимым самородным золотом. *** – при проведении разведочных работ ОАО «Полиметалл» площадь рудопроявления Тэн была отнесена к северному флангу месторождения Дальнего.

Калий определялся методом фотометрии пламени по стандартной методике, аналитик Т.Н. Галкина. Содержания Au и Ag приводятся по данным атомно-абсорбционного анализа [39, 40], аналитик Л.Д. Андрулайтис; содержания Ag > 100 г/т – по данным спектрального приближено-количественного анализа [59], аналитик Н.Е. Смолянская. Все анализы были выполнены в химико-аналитических лабораториях ИГХ СО РАН, г. Иркутск.

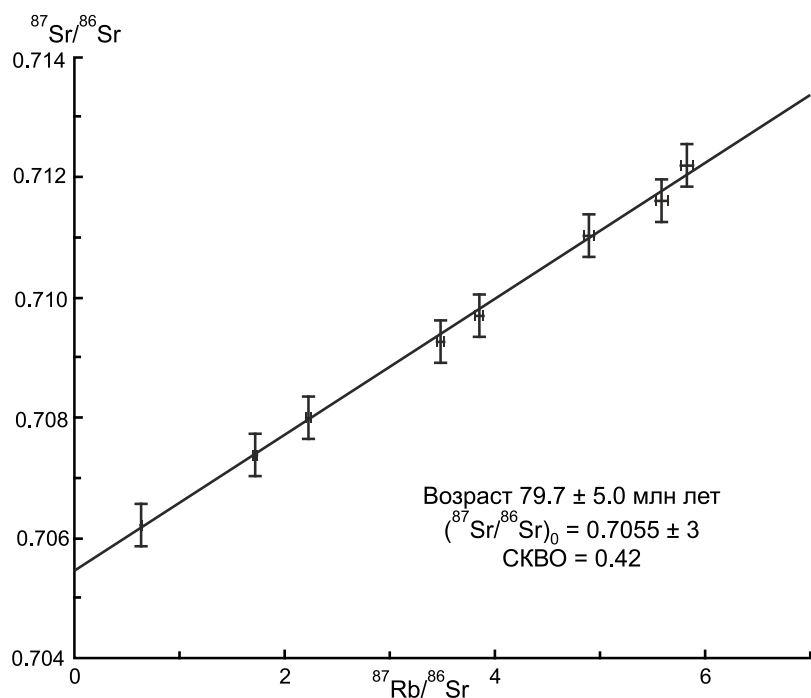


Рис. 3. Rb-Sr изохрона для Au-Ag руд месторождения Дальнего.

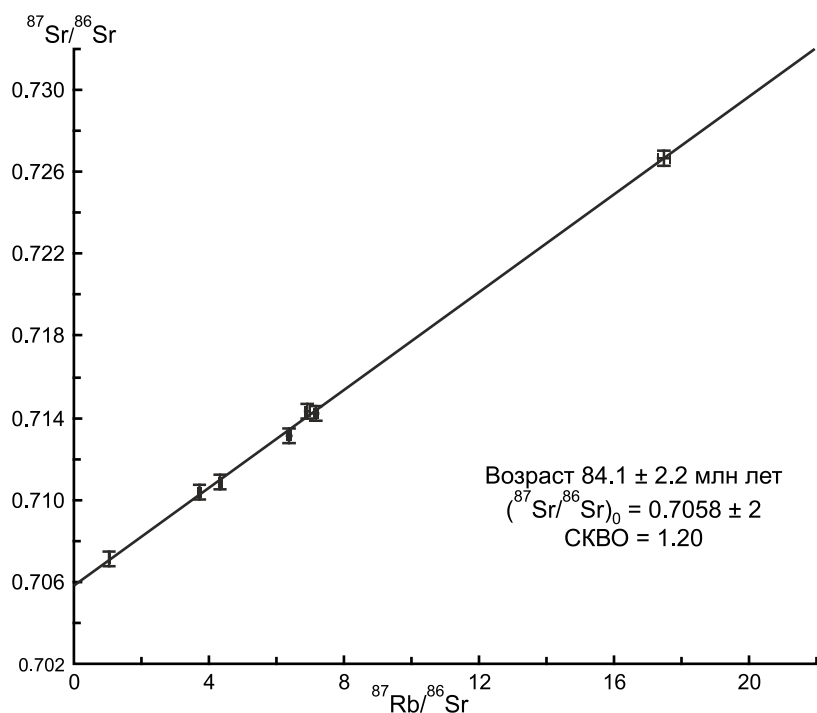


Рис. 4. Rb-Sr изохрона для Au-Ag руд месторождения Кварцевая Сопка.

Au-Ag руды характеризуются низкими величинами первичного отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)} = 0.7055$ (Дальнее) и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)} = 0.7058$ (Кварцевая Сопка) (рис. 3, 4). Это указывает на резкое преобладание мантийного стронция в рудном процессе. По данным [14, 51], первичные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в околорудных метасоматитах Au-Ag месторождений Дальнее и Кварцевая Сопка изменяются от 0.7033 до 0.7082, при значени-

ях в неизменных породах (андезитах, андезидацитах и дацитах) от 0.7045 до 0.7048. Более широкий интервал значений первичных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в околорудных метасоматитах по сравнению с неизменными породами можно объяснить процессами выноса-привноса Sr и зависимостью величины этих значений от интенсивности проявленных метасоматических процессов. То же, как мы считаем, относится

Таблица 2. Концентрации Rb, Sr и измеренный изотопный состав Sr в рудах месторождения Дальнего.

№ п.п.	№№ проб	Место отбора	Краткая характеристика руд (Au, Ag, в г/т)	Rb, мкг/г	⁸⁷ Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	⁸⁶ Sr, мкг/г	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1	P-3408	Шгольня 1, подходная	Кварц-адуляровая жила колломорфной текстуры с убогой сульфидной минерализацией, есть просечки пирита (1.15, 80.1)	146	41.34	87	8.37	4.885	0.71105
2	P-3415/1		См. табл. 1	151	42.94	79	7.62	5.574	0.71163
3	P-4605	Шгольня 10,	См. табл. 1	227	64.29	189	18.28	3.477	0.70928
4	P-4607	рассечка 41	Кварц-адуляровая жила (адуляра ~ 5%) ритмично-полосчатой текстуры с большим количеством пиритовой и серебряной черни (6.1, >100)	62	17.49	104	10.08	1.715	0.70739
5	P-5105	Шгольня 11,	См. табл. 1	8	2.39	38	3.71	0.635	0.70622
6	P-5110/1	подходная	Кварц-адуляровая жила метасоматического облика с большим количеством пиритовой и серебряной черни на контакте с вмещающими андезитами (1.9, > 100)	238	67.36	119	11.45	5.815	0.71222
7	P-240	Скв. 2-бис, гл. 220 м	См. табл. 1	242	68.50	182	17.62	3.844	0.70971
8	Г-709/2	Верховье ручья Дальний, коренное обнажение	Кварц-сульфидная жила массивной текстуры с небольшим количеством гнезд и прожилков карбоната. Сульфидные минералы представлены, в основном, пиритом и галенитом, реже халькопиритом и сфалеритом (6.2, 30)	19	5.15	25	2.41	2.221	0.70801

и к рудам. Более определенно о характере источника металлоносных флюидов можно говорить на основе данных по радиогенным отношениям изотопов Rb в сульфидных минералах.

Изотопный состав Rb в сульфидных минералах Au-Ag руд

Положительных примеров использования рудных свинцов с целью выявления природы рудоносных флюидов в последнее время и в наших, и в зарубежных публикациях появилось немало [1, 10, 19, 33, 44, 50, 54–57, 64]. Данные, полученные нами по изотопному составу Rb в пиритах и галенитах, отобранных из кварц-адуляровых, кварц-адуляр-сульфидных и кварц-сульфидных жил месторождений Дальнее, Кварцевая Сопка и рудопроявления Альдыгич, приводятся в табл. 4. Все точки составов рудных свинцов на эволюционной диаграмме ²⁰⁷Rb/²⁰⁴Pb – ²⁰⁶Rb/²⁰⁴Pb группируются в непосредственной близости от тренда эволюции изотопного состава свинца в истощенной (деплетированной) мантии (рис. 5).

Эти точки образуют слабо намеченный тренд в область составов вулканитов, сформировавшихся в условиях зон субдукции, характерных для типичной активной континентальной окраины, что указывает на тесную генетическую связь между проявленными здесь рудными и магматическими процессами. Особенности изотопного состава свинцов в сульфидных минералах, пирите и галените, отобранных из Au-Ag руд, подтверждают вывод о магматической природе рудоносных флюидов. Они прямо указывают на глубинные родоначальные базальтоидные магмы как источник рудоносных растворов и, вероятно, первоисточник Au и Ag.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные нами Au-Ag месторождения и рудопроявления Эвенской группы относятся к типичной близповерхностной эпитермальной убогосульфидной Au-Ag формации руд, сформировавшейся в вулканогенных условиях центральной части ОЧВП (Северо-Восток России). Отличительная черта этих небольших по запасам золота и серебра месторождений – это их относительная простота. Продуктивные Au-Ag руды формируются преимущественно в одну (Кварцевая Сопка, Дальнее), реже в две (Ирбычан) рудные стадии. Возраст Au-Ag руд месторождений (Дальнее, Кварцевая Сопка, Ирбычан) и рудопрояв-

Примечание к таблице 2. Здесь и в таблице 3 анализы были выполнены в химико-аналитических лабораториях ИГХ СО РАН и ИЗК СО РАН г. Иркутска.

Таблица 3. Концентрации Rb, Sr и измеренный изотопный состав Sr в рудах месторождения Кварцевая Сопка.

№ п.п.	№№ проб	Место отбора	Краткая характеристика руд (Au, Ag, в г/т)	Rb, мкг/г	⁸⁷ Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	⁸⁶ Sr, мкг/г	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
1	K-248	Канава-248	Кварц-адуляровая жила колломорфной текстуры с большим количеством пиритовой и серебряной черни (6.4, > 100)	285	80.55	117	11.30	7.128	0.71421
2	B-2808	Штольня 5, устье	Кварц-адуляровая жила полосчатой текстуры с убогой сульфидной минерализацией, представленной, в основном, пиритом (0.13, 8.0)	109	30.74	46	4.47	6.877	0.71431
3	B-2821	Канава-251	См. табл. 1	37	10.34	17	1.63	6.344	0.71312
4	Шт. 4М	Штольня 4, подходная	Кварцевая жила брекчиевой текстуры с убогой сульфидной минерализацией, представленной, в основном, пиритом (0.32, 10.7)	30	6.63	62	6.43	1.032	0.70712
5	P-4598M	Штольня 3, рассечка 45	Кварц-адуляровая жила (адуляра < 5%) колломорфно-полосчатой текстуры с большим количеством пиритовой и серебряной черни (0.5, > 100)	60	17.19	43	4.65	3.698	0.71037
6	P-5705M	Канава-214	Кварц-адуляровая жила колломорфно-полосчатой текстуры с большим количеством пиритовой и серебряной черни (23.75, > 100)	188	41.52	30	2.70	17.393	0.72665
7	P-5706M	Канава-203	Кварц-адуляровая жила (адуляра < 5%) колломорфно-полосчатой текстуры с большим количеством пиритовой и серебряной черни и с видимым самородным Au (311, > 100)	37	9.45	17	2.19	4.306	0.71087

лений (Тэн, Альдыгич), установленный нами изотопным K-Ag методом составил $82.7 \pm 3 - 77.5 \pm 3$ млн лет. Изохронный Rb-Sr возраст месторождений Кварцевая Сопка и Дальнее – 84.1 ± 2 и 79.7 ± 5 млн лет, соответственно. Полученные нами K-Ag и Rb-Sr методами значения возрастов достаточно хорошо согласуются с изотопными Ag-Ag датировками, опубликованными в работах П.У. Лейера с соавторами [45, 63]. Ag-Ag возраст по калиевым полевым шпатам (ортоклазу и адуляру) для рудных жил Au-Ag месторождений составил (млн лет): Дальнее – 78.6 ± 0.2 , Кварцевая Сопка – 80.4 ± 0.2 и Ирбычан – 82.5 ± 0.2 .

По сравнению с Rb-Sr, K-Ag датирование возраста руд в значительной степени зависит от влияния геологических факторов на изотопные системы, в первую очередь от степени проявленности более поздних наложенных термальных процессов. Так самые первые данные по K-Ag возрасту Au-Ag минерализации месторождений Эвенской группы, полученные И.А. Загрузиной [17], составили $76 \pm 3 - 74 \pm 3$ млн лет. Очевидно, что на начальных этапах исследования изучались руды, характерные для приповерхностных участков этих месторождений, где широко проявлены процессы формирования каолин-гидрослюдистого замещающего минерального комплекса. Его развитие связано не столько с завершающей стадией рудообразования, сколько с наложением более позднего минералообразования, значительно оторванного по времени от рудного процесса. Поэтому полученные И.А. Загрузиной данные K-Ag датирования не вполне отражают возраст первичных Au-Ag руд, хотя, в целом, не противоречат существующему представлению об их позднемеловом возрасте.

Изотопный K-Ag и изохронный Rb-Sr возрасты Au-Ag руд изученных месторождений и рудопроявлений достаточно хорошо согласуются с уже существующими геологическими и геохронологическими наблюдениями и не противоречат представлениям о позднемеловом возрасте рудовмещающих комплексов горных пород Верхне-Туромчинской кольцевой вулканоструктуры (Верхне-Гижигинское вулканическое поле) и Ирбычанской очаговой структуры (Пареньское вулканическое поле). Если обобщить все имеющиеся и вновь полученные геохронологические данные, длительность формирования Au-Ag руд месторождений и рудопроявлений Эвенской группы оценивается временем примерно в 5 млн лет. Это полностью согласуется с длительностью формирования всех рудоносных структур Верхне-Гижигинского и Пареньского вулканических полей. По сравнению с Au-Ag рудами этот период наиболее продолжителен по времени, примерно 18 млн лет, от начала внедре-

Таблица 4. Изотопный состав свинца в пиритах и галенитах месторождений Даленее, Кварцевая Сопка и рудопроявления Альдыгич.

№ п.п.	№№ проб	Место отбора	Краткая характеристика руд (Au, Ag, в г/т)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$ (abs)	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$ (abs)	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$ (abs)
Даленее (северный фланг)									
1	P-1953*	Шгольня 1, рассечка 44	Кварц-адуляр-сульфидная жила массивной текстуры. Сульфиды представлены пиритом (0.20, 10.4)	17.6888	0.0008	15.4313	0.0007	37.6602	0.0017
Даленее (центральная часть)									
2	P-245*	Шгольня 1, подходная	Кварц-адулярная жила брекчиевой текстуры с вкрапленностью пирита (1.02, 19.2)	17.6977	0.0013	15.4498	0.0011	37.7322	0.0028
3	P-4607*	Шгольня 10, рассечка 41	См. табл. 2	17.7293	0.0012	15.4586	0.0013	37.7837	0.0026
4	P-5110/1*	Шгольня 11, подходная	См. табл. 2	17.6677	0.0011	15.4199	0.0011	37.6393	0.0023
Даленее (южный фланг)									
5	Г-709/2*	Верховье рч.	См. табл. 2	17.5953	0.0009	15.4172	0.0008	37.5509	0.0019
6	Г-709/2***	Дальний, коренное обнажение		17.5883	0.0012	15.4125	0.0009	37.5346	0.0025
Кварцевая Сопка									
7	P-719*	Шгольня 4,	См. табл. 3	17.6186	0.0012	15.4405	0.0022	37.6260	0.0054
8	P-719**	устье		17.6699	0.0010	15.4183	0.0008	37.5591	0.0022
Альдыгич									
9	Г-709/1*	Ручей Альдыгич, коренное обнажение	Кварц-сульфидная жила массивной текстуры с вкрапленностью и гнездами, в основном, пирита и галенита (0.64, 8.9)	17.5932	0.0010	15.4194	0.0009	37.5592	0.0021

Примечание. Минералы: * пирит, ** галенит. Все анализы были выполнены в химико-аналитических лабораториях ИЗК СО РАН, г. Иркутск.

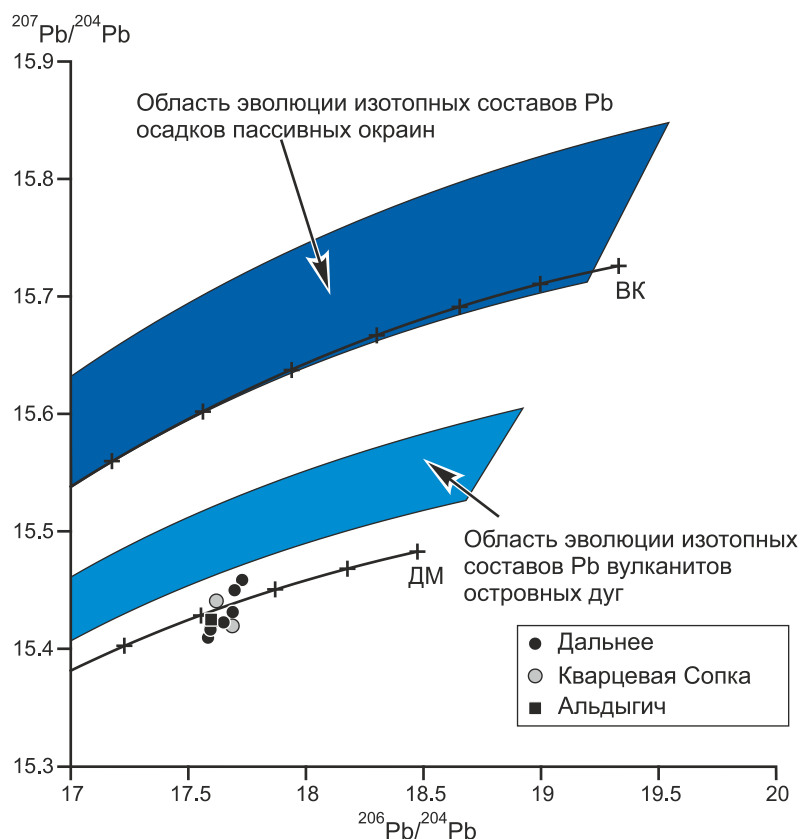


Рис. 5. Диаграмма зависимости $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ для изотопных составов рудных свинцов пиритов и галенитов из рудных жил месторождений Дальнее, Кварцевая Сопка и рудопроявления Альдыгич.

ВК – верхняя кора, ДМ – деплетированная мантия.

ния родоначальных андезитов – 92 ± 3 млн лет назад – до заключительных фаз становления гранитоидных интрузий – 74 ± 3 млн лет назад.

Обобщение и анализ имеющихся данных по изотопному составу Au-Ag руд и рудовмещающих комплексов вулканитов позволяют говорить о тесных генетических связях между проявленными здесь рудными и магматическими процессами. Au-Ag минерализация изученных месторождений и рудопроявлений, типичная для продуктивных рудных стадий и практически не затронутая более поздними термальными процессами, характеризуются низкими величинами первичных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)} = 0.7055\text{--}0.7058$, близких к первичным отношениям $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$ в околорудных метасоматитах ($0.7033\text{--}0.7082$) и неизмененных вмещающих породах ($0.7045\text{--}0.7048$). Это указывает на резкое преобладание мантийного стронция как в магматических, так и в рудных процессах. Особенности изотопного состава свинцов в пиритах и галенитах изученных Au-Ag руд также указывают на мантийный источник. Предполагается, что эта связь обусловлена функционированием единого мантийного базальтоидного очага – источника металлоносных флюидов и, вероятно, первоисточника Au и Ag.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту № 0284-2021-

0002 с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (г. Иркутск) и «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авченко О.В., Вах А.С., Горячев Н.А., Александров И.А., Веливецкая Т.А., Капитонов И.Н. Генезис Березитового золото-полиметаллического месторождения (на основе данных по изотопному составу свинца, кислорода и серы) // Докл. АН. 2013. Т. 453, № 2. С. 185–189.
2. Акинин В.В., Глухов А.Н., Ползунов Г.О., Альшевский А.В., Алексеев Д.И. Возраст эпitherмального золото-серебряного оруденения на месторождении Кубака (Омолонский кратонный террейн, Северо-Восток России): геологические и изотопно-геохронологические (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ограничения // Тихоокеан. геология. 2020. Т. 39, № 1. С. 37–47.
3. Афанасьев Г.Д., Гукасян Р.Х., Даштаян Г.Г. Примеры цифр возраста, согласующиеся и не согласующиеся по определениям разными методами и по отношению к геологической позиции изучаемого объекта // Геолого-радиологическая интерпретация не сходящихся значений возраста. М.: Наука, 1973. С. 3–13.
4. Белоглазов Е.В. Особенности геологического строения и литохимические ореолы Ирбычанского рудного поля: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1982. С. 132–137.
5. Белый В.Ф. Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Наука, 1977. 171 с.

6. Белый В.Ф. Структурно-формационная карта Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1981. 56 с.
7. Белый В.Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 76 с.
8. Белый В.Ф. Проблемы геологического и изотопного возраста Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Стратиграфия. Геолог. корреляция. 2008. Т. 16, № 6. С. 64–75.
9. Богданов Н.А., Тильман С.М. Тектоника и геодинамика Северо-Востока Азии: Объясн. зап. к тектонической карте Северо-Востока Азии. 1:5 000 000. М.: Ин-т литосферы РАН, 1992. 54 с.
10. Ванин В.А., Чугаев А.В., Демонтерова Е.И., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. Геологическое строение золоторудного поля Мукодек, Северное Забайкалье и источники вещества (Pb-Pb и Sm-Nd данные) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 9. С. 1345–1356.
11. Гагиева А.М., Жуланова И.Л. Геохронометрия среднепалеозойских 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.
12. Глухов А.Н., Акинин В.В., Ползунов Г.О., Альшевский А.В. Возраст эпитермального золото-серебряного оруднения на месторождении Кубака (Омолонский кратонный террейн, Северо-Восток России): геологические и изотопно-геохронологические (U-Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ограничения: ответ // Тихоокеан. геология. 2022. Т. 41, № 6. С. 111–116.
13. Гундобин Г.М., Захаров М.Н., Смирнов В.Н., Кравцова Р.Г. Новые данные по геохронологии магматических формаций Эвенской вулканической зоны Охотско-Чукотского пояса и связанной с ней рудной минерализации // Геохронология гранитоидов Монголо-Охотского пояса. М.: Наука, 1980. С. 145–156.
14. Гундобин Г.М., Николаев В.М., Пахольченко Ю.А., Посохов В.Ф., Плюснин Г.С., Сандмирова Г.П. Изотопный состав стронция в метасоматитах месторождений золото-серебряной формации в связи с проблемой источника рудного вещества // Докл. АН. 1982. Т. 268, № 2. С. 429–432.
15. Животнев А.Я., Литовченко З.И. Структурная позиция Ирбычанского рудопроявления: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1977. Вып. 23. С. 162–167.
16. Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Котляр И.Н. Геохронология и геохронометрия эндогенных событий в мезозойской истории Северо-Востока Азии. М.: Наука, 2007. 358 с.
17. Загрузина И.А. Абсолютный возраст Эвенского золото-серебряного месторождения // Колыма. 1972. С. 36–37.
18. Загрузина И.А. Геохронология мезозойских гранитоидов Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1977. 279 с.
19. Замятина Д.А., Мурзин В.В. Тамуьнерское месторождение золота на Северном Урале: физико-химические условия образования, источники рудного вещества и флюида, генезис // Литосфера. 2019. Т. 19, № 1. С. 139–147.
20. Захаров М.Н., Легейдо В.А. Геохимические особенности магматических комплексов верхнего мела и палеогена Туромчинского наложенного прогиба (Охотско-Чукотский вулканический пояс) // Геохимия. 1976. № 11. С. 1653–1661.
21. Захаров М.Н., Кравцова Р.Г., Бобров Ю.Д., Сандмирова Г.П., Пахольченко Ю.А. Минералого-геохимические особенности пород малых интрузий и даек Эвенской группы золото-серебряных месторождений // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 2. С. 92–104.
22. Костырко Н.А., Пляшкевич Л.Н., Болдырев М.В. Строение и вещественный состав рудных зон Эвенского рудного поля // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1974. Вып. 21. С. 87–94.
23. Костырко Н.А., Романенко И.М. К минералогии одного из близповерхностных золото-серебряных месторождений Северо-Востока России // Минералогия и геохимия рудных месторождений Северо-Востока России. Магадан, 1978. С. 55–68.
24. Костырко Н.А. Минеральные типы золото-серебряных проявлений Гижигинского вулканического поля (Северное Приохотье) // Минеральные типы рудных месторождений в вулканогенных поясах и зонах активизации Северо-Востока Азии. Владивосток, 1983. С. 35–40.
25. Котляр И.Н. Золото-серебряная рудоносность вулканоструктур Охотско-Чукотского пояса. М.: Наука, 1986. 263 с.
26. Котляр И.Н. 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.
27. 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.
28. Котляр И.Н., Русакова Т.Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: Геолого-геохронологическая корреляция. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 152 с.
29. Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. О времени формирования гранитоидов главного Колымского батолитового пояса: опыт согласования геологических данных и результатов изотопного датирования (Северо-Восток Азии) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 3. С. 45–62.
30. Кравцова Р.Г. Геохимическая зональность золото-серебряных гидротермальных систем (на примере месторождения Дальнего) // Докл. РАН. 1998. Т. 358, № 6. С. 821–825.
31. Кравцова Р.Г. Минералого-геохимическая зональность и особенности формирования золото-серебряных месторождений Северо-Востока России // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 6. С. 763–777.
32. Кравцова Р.Г., Алмаз Я.А. Редкоземельные элементы в рудах эпитермальных золото-серебряных и серебряных месторождений (Северо-Восток России) // Геохимия. 2006. № 12. С. 1338–1344.
33. Кравцова Р.Г., Дриль С.И., Алмаз Я.А., Татарников С.А., Владимирова Т.А. Первые данные по Rb-Sr возрасту и изотопному составу золото-серебряных руд месторождения Дальнего (Эвенский рудный район, Северо-Восток России) // Докл. АН. 2009. Т. 428, № 2. С. 240–243.
34. Кравцова Р.Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2010. 292 с.
35. Лейер П.У., Иванов В.В., Раткин В.В., Бундцен Т.К. Эпитермальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определения возраста руд // Докл. АН. 1997. Т. 356, № 5. С. 665–668.

36. Макшаков А.С., Кравцова Р.Г., Павлова Л.А. Самородное золото эпitherмального месторождения Кварцевая Сопка (Северное Приохотье) // Вопросы естествознания. 2018. № 2 (16). С. 75–82.
37. Наталенко М.В., Стружков С.Ф., Рыжов О.Б., Вакин М.Е., Политов В.К., Ишков Б.И., Гиллес Б., Карчавец В.П., Устинов В.И., Шергина Ю.П. Геологическое строение и минералогия руд месторождения Биркачан, Магаданская область // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 37–52.
38. Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б., Гончаров В.И., Горячев Н.А., Ворошин С.В. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. В 2 т. Т.1. Геология, геохронология и геохимия: Тр. Всерос. совещ. Магадан, 4–6 сент. 1997. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 181–205.
39. Определение золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки экстракционно-атомно-абсорбционным методом с органическими сульфидами. Методика НСАМ № 237-С. М.: ВИМС, 2016. 18 с.
40. Определение серебра в горных породах, рудах и продуктах их обогащения экстракционным атомно-абсорбционным методом. Методика НСАМ № 164-ХС. М.: ВИМС, 2009. 11 с.
41. Петровская Н.В. Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.: Наука, 1973. 347 с.
42. Плюснин Г.С., Захаров М.Н., Кравцова Р.Г., Пахольченко Ю.А., Колмычкова Т.М. Rb-Sr возраст рудоносных лейкогранитов Балыгычано-Сугойского прогиба (Северо-Восток СССР) // Докл. АН. 1989. Т. 309, № 5. С. 1196–1199.
43. Приймченко В.В., Глухов А.Н., Акинин В.В., Фомина М.И., Михалицына Т.И., Пономарчук А.В., Ползунов Г.О. Золото-серебряное вулканогенно-плутогенное месторождение Невенрекан (Магаданская область, Россия): вмещающие породы, околорудные метасоматиты, возраст и вещественный состав руд // Вулканология и сейсмология. 2022. № 1. С. 54–72.
44. Сахно В.Г., Григорьев Н.В., Курашко В.В. Геохронология и изотопно-геохимическая характеристика магматических комплексов золотосеребряных рудно-магматических структур Чукотского сектора арктического побережья России // Докл. АН. 2016. Т. 468, № 3. С. 297–303.
45. Сидоров А.А., Савва Н.Е., Ишков Б.И., Волков А.В., Степанов В.А., Шишакова Л.Н. Возраст эпitherмального золото-серебряного оруденения на месторождении Кубака (Омолонский кратонный террейн, Северо-Восток России): геологические и изотопно-геохронологические (^{206}Pb , $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) ограничения: дискуссия // Тихоокеан. геология. 2021. Т. 40, № 2. С. 90–97.
46. Сорокин А.А., Остапенко Н.С., Пономарчук В.А., Травин А.В. Возраст адуляра из жил золоторудного месторождения Токур (Монголо-Охотский орогенный пояс, Россия): результаты датирования $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 3. С. 297–304.
47. Степанов В.А., Шишакова Л.Н. Кубакинское золото-серебряное месторождение. Владивосток: Дальнаука, 1994. 195 с.
48. 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.
49. Степанов В.А. О геологическом и изотопном возрасте золоторудных месторождений на примере золото-серебряного месторождения Кубака // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2021. № 1. С. 3–12.
50. Тарарин И.А., Дриль С.И., Сандмирова Г.П., Бадрединов З.Г., Татарников С.А., Владимирова Т.А. Изотопный состав стронция, неодима и свинца в метаморфических породах Хавывенской возвышенности Восточной Камчатки // Докл. АН. 2010. Т. 431, № 2. С. 238–241.
51. Таусон Л.В., Плюснин Г.С., Захаров М.Н., Сандмирова Г.П. О генезисе магматических формаций Гижигинского прогиба по изотопным данным // Геохимия. 1978. № 2. С. 199–205.
52. Умитбаев Р.Б., Еремин Р.А., Найборodin В.И., Бабайцев О.В., Вашилов Ю.Я., Середа П.И. Глубинное строение, магматизм и металлогения Верхне-Туромчинской вулкано-тектонической структуры (Северо-Восток СССР) // Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов. Владивосток, 1976. С. 97–99.
53. Умитбаев Р.Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. М.: Наука, 1986. 286 с.
54. Чернышев И.В., Филимонова Л.Г., Чугаев А.В., Пушкарев Ю.Д. Источники рудного вещества Au-Ag месторождения Дукач (Северо-Восток России) по результатам изучения изотопного состава Pb, Sr и Nd // Геология руд. месторождений. 2005. Т. 47, № 4. С. 299–314.
55. Чернышев И.В., Бортников Н.С., Чугаев А.В., Гамянин Г.Н., Бахарев А.Г. Источники металлов крупного орогенного золоторудного Неждандинского месторождения (Якутия, Россия): результаты высокоточного изучения изотопного состава свинца (MC-ICP-MS) и стронция // Геология руд. месторождений. 2011. Т. 53, № 5. С. 395–418.
56. Чернышев И.В., Чугаев А.В., Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Прокопьев А.В. Изотопный состав свинца и источники металлов в месторождениях золота и серебра Южного Верхоянья (Якутия, Россия): по данным высокоточного MC-ICP-MS метода // Геология руд. месторождений. 2018. Т. 60, № 5. С. 448–471.
57. Чугаев А.В., Дубинина Е.О., Чернышев И.В., Травин А.В., Коссова С.А., Ларионова Ю.О., Носова А.А., Плотинская О.Ю., Олейникова Т.И., Садасюк А.С. Источники и возраст золоторудной минерализации месторождения Ирокинда (Северное Забайкалье): результаты изучения изотопного состава Pb, S, Sr, Nd и данные ^{39}Ar - ^{40}Ar геохронометрии // Геохимия. 2020. Т. 65, № 11. С. 1059–1079.
58. Шергина Ю.П., Шкорбатова Г.С., Рублев А.Г., Степанов В.А., Рябов А.Н. Изотопно-геохронологические данные о возрасте золото-серебряного месторождения Кубака (Северо-Восток России) // Докл. АН. 1999. Т. 367, № 2. С. 226–229.
59. Эмиссионный спектральный анализ в геохимии / Ред. Я.Д. Райхбаум. Новосибирск: Наука, 1976. 280 с.
60. Birk J.L. Precision K-Rb-Sr isotopic analyses: application to Rb-Sr chronology // Chem. Geol. 1986. V. 56. P. 73–83.
61. Izawa E., Urashima Y., Ibaraki K., Suzuki R., Yokoyama T., Kawasaki K., Koga A., Taguchi S. The Hishikari gold deposit: high-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan // J.W. Hedenquist, N.C. White,

- G. Siddeley (Eds). Epithermal gold mineralization of the Circum-Pacific: geology, geochemistry, origin and exploration, II // J. Geochem. Explor. 1990. V. 36. P. 1–56.
62. Izawa E., Kurihara M., Itaya T. K-Ar ages and the initial Ar isotopic ratio of adularia-quartz veins from the Hishikari gold deposit, Japan // Resource Geol. 1993. Spec. Is. 14. P. 63–69.
63. Layer P.W., Ivanov V.V., Bundzen T.K. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages from ore deposits in the Okhotsk-Chukotka volcanic belt, Northeast Russia // Intern. Conf. Artic Margins (Magadan, Russia, Sept. 6–10, 1994): Abstracts. Magadan: NESC RAS, 1994. P. 64–65.
64. Ma Y., Jiang Sh.-Y., Frimmel H.E. Deciphering multiple ore-forming processes of the Shuangqishan orogenic gold deposit, Southeast China by in situ analysis of pyrite // Ore Geol. Rev. 2022. V. 142. 104730.
65. McDougall I., Harrison T.M. Geochronology and thermochronology by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method. New York: Oxford Univ. Press. 1988. 212 p.
66. Morishita Yu., Yabe Yo. Genesis and evolution of hydrothermal fluids in the formation of the high-grade Hishikari Gold Deposit: Carbon, oxygen, and sulfur isotopic evidence // Minerals. 2022. V. 12, N 12. 1595.
67. Savva N.E., Kravtsova R.G., Anisimova G.S., Palyanova G.A. Typomorphism of native gold (geological-industrial types of gold deposits in the Northeast of Russia) // Minerals. 2022. V. 12, N 5. 561.
68. Sekine R., Izawa E., Watanabe K. Timing of fracture formation of mineralization at the Hishikari deposit, southern Kyushu, Japan // Resource Geol. 2002. V. 52. P. 395–404.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

после доработки 23.05.2023 г.

принята к печати 06.07.2023 г.

R.G. Kravtsova, S.I. Dril, A.S. Makshakov

Age and isotope composition of the gold-silver deposits and ore occurrences of the Evensk group (Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt, Northeast Russia)

Existing and recently acquired data on the isotope age and composition of volcanogenic Au-Ag deposits and occurrences of the Evensk group (Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt, Northeast Russia) are summarized. The K-Ar isotopic and Rb-Sr isochron ages of Au-Ag ores from the deposits and occurrences studied is 82.7 ± 3 – 77.5 ± 3 Ma and 84.1 ± 2 – 79.7 ± 5 , respectively. Au-Ag mineralization formed during a 5 million-year time interval. Au-Ag mineralization, typical of productive ore stages and practically unaffected by later thermal processes, is characterized by low values of primary $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0) = 0.7055$ – 0.7059 ratios close to primary $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(0)$ ratios in wall-rock metasomatites (0.7033–0.7082) and unaltered host rocks (0.7045–0.7048) indicative of a pronounced predominance of mantle Sr in the ores. The composition points of ore Pb on the $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ evolution diagram are grouped in close proximity to the Pb isotope composition points in the exhausted (depleted) mantle with a trend towards the volcanic rocks formed in subduction zones typical of the continental margin. A close genetic relationship between ore and magmatic processes is confirmed. It is assumed that this relationship is due to the functioning of a single mantle basaltoid chamber, a source of metal-bearing fluids and, probably, the primary source of Au and Ag.

Key words: Au-Ag deposits, K/Ar isotope and Rb/Sr isochronic ages of ores, Sr and Pb isotopes, source of metal-bearing fluids, Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt, Northeast Russia.