

УДК 553.41/.065

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ДАТИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА КРУПНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КОЧКАРСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ, РОССИЯ)

©2024 г. М. Е. Притчин¹*, А. Ю. Кисин¹, О. В. Викентьева², Д. А. Озорнин¹,
А. В. Травин³, И. В. Викентьев²

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. Ак. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620016 Россия

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

³Институт геологии и минералогии СО РАН, проспект Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия

*E-mail: mpritch@gmail.com

Поступила в редакцию 05.05.2024 г.

После доработки 11.06.2024 г.

Принята к публикации 17.06.2024 г.

В статье анализируются возрастные ограничения для продуктивных минеральных ассоциаций двух крупнейших золоторудных месторождений Южного Урала — Светлинского и Кочкарского, которые расположены в Восточно-Уральской мегазоне. Впервые выполнено изотопное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование калий-содержащих гидротермальных минералов. Оно проведено по монофракциям минералов (слюды и амфиболы) из рудных жил и околорудных метасоматитов, а также вмещающих мраморов. Полученные оценки возраста лежат в интервале 290–276 млн лет; средневзвешенное значение для Светлинского месторождения составляет 284 ± 2 млн лет, для Кочкарского 276 ± 2 млн лет. Предполагается, что изученные минеральные ассоциации Светлинского и Кочкарского месторождений образовались на начальных фазах постколлизийного этапа, отвечающего режиму тектонической релаксации. Возрастные оценки гидротермального минералообразования в золоторудных полях Кочкарского антиклинория согласуются с временем посттектонической плутонической активности, которая выразилась на Среднем — Южном Урале в масштабной гранитизации (~ 300 млн лет назад). Близисинхронными ей являются рудовмещающие метасоматиты фемического профиля (одновозрастные для двух месторождений), которые, вероятнее всего, являются базификатами.

Ключевые слова: Светлинское и Кочкарское золоторудные месторождения, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование, коллизия, Кочкарский антиклинорий, Южный Урал.

DOI: 10.31857/S0016777024050062, EDN: abhhtt

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на Южном Урале разрабатываются два крупных золоторудных месторождения: Кочкарское и Светлинское. Они расположены на площади Кочкарского антиклинория, в 100 км к югу от г. Челябинска. В середине XIX в. здесь были обнаружены богатые россыпи золота, а уже в 1868 г. — золотоносные кварцевые жилы Кочкарского и, чуть южнее, небольшого Новотроицкого месторождений золота (Бородаевский, 1952; Денисова, Хайрятдинов, 2020); оба месторождения эксплуатируются подземным способом по настоящее время. Вопросам геологии, минералогии и генезиса *Кочкарского месторождения*

посвящена обширная научная литература (Бородаевский, 1952; Яновский, 1970; Грабежев, 1974; Смолин, 1975; Бородаевский и др., 1984; Спиридонов, 1995; Kisters et al., 2000; Знаменский, Серавкин, 2006; Знаменский, 2014 и др.). *Светлинское месторождение* — сравнительно новое и менее изученное. Оно разведывалось в 70–80-е гг. XX в. и отрабатывается открытым способом с 1992 г. По его геологическому строению и генезису также опубликован ряд работ (Сазонов и др., 1989; 2001; Bortnikov et al., 1999; Vikent'eva, Bortnikov, 2015; Vikent'eva et al., 2020; Кисин, Притчин, 2015; Кисин и др., 2022). В большинстве этих работ месторождение рассматривается как полигенное

и полихронное. Возрастные этапы становления месторождения намечены такие: ~ 380 млн лет (D_2) — образование кварц-серицитовых пород с сульфидной слабозолотоносной минерализацией; ~ 340 млн лет (C_1) — лиственизация, березитизация; ~ 330 млн лет (C_{1v}) — Fe—Mg-метасоматоз и золотое оруденение (Сазонов и др., 1989; Огородников и др., 2004). Геодинамическая обстановка, приведшая к его формированию, практически не обсуждалась.

Исследователи В.Н. Сазонов и др. (Сазонов и др., 2001; Sazonov et al., 2001; Огородников и др., 2004) увязывали формирование этих месторождений с позднепалеозойской уральской коллизией: ранней и поздней, “мягкой” и “жесткой”. По их мнению, рудоподводящими и рудо локализирующими структурами выступали “шовные зоны” (глубинные разломы), а источник вещества был преимущественно мантийным.

Авторами (Кисин и др., 2022) развиваются представления, тесно увязывающие время образования золотых месторождений с коллизионными и постколлизионными процессами, периодизация которых хорошо разработана (Пучков, 2010; Vikentyev et al., 2017 и др.). Начало коллизионных процессов на Урале приходится на поздний девон, их пик был на рубеже карбона и перми, а завершение произошло в ранней перми; постколлизионный этап длился до ранней юры. Цель проведенных исследований заключается в попытке датирования стадий минералообразования, с привязкой гидротермальных событий к коллизионному и постколлизионному этапам. Для сопоставления привлечены опубликованные геохронологические данные для близлежащих гранитоидных и гранито-гнейсовых массивов. Предполагается, что Кочкарское и Светлинское месторождения формировались примерно в одно время, в близких геотектонических обстановках.

ОБЗОРНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Исследуемые объекты находятся в восточном крыле Восточно-Уральской мегазоны, в пределах Кочкарского антиклинория, геологическое строение которого достаточно хорошо изучено (Болтыров и др., 1973; Кейльман, 1974; Огородников и др., 2004; Пужаков и др., 2018 и др.). Протяженность антиклинория в меридиональном направлении составляет около 140 км, при ширине до 30 км. Структура характеризуется ярко выраженным купольным тектогенезом: выделяются несколько купольных структур

(Варламовская, Еремкинская, Борисовская и Санарская), они обрамляются меж- и околокупольными геологическими комплексами (фиг. 1).

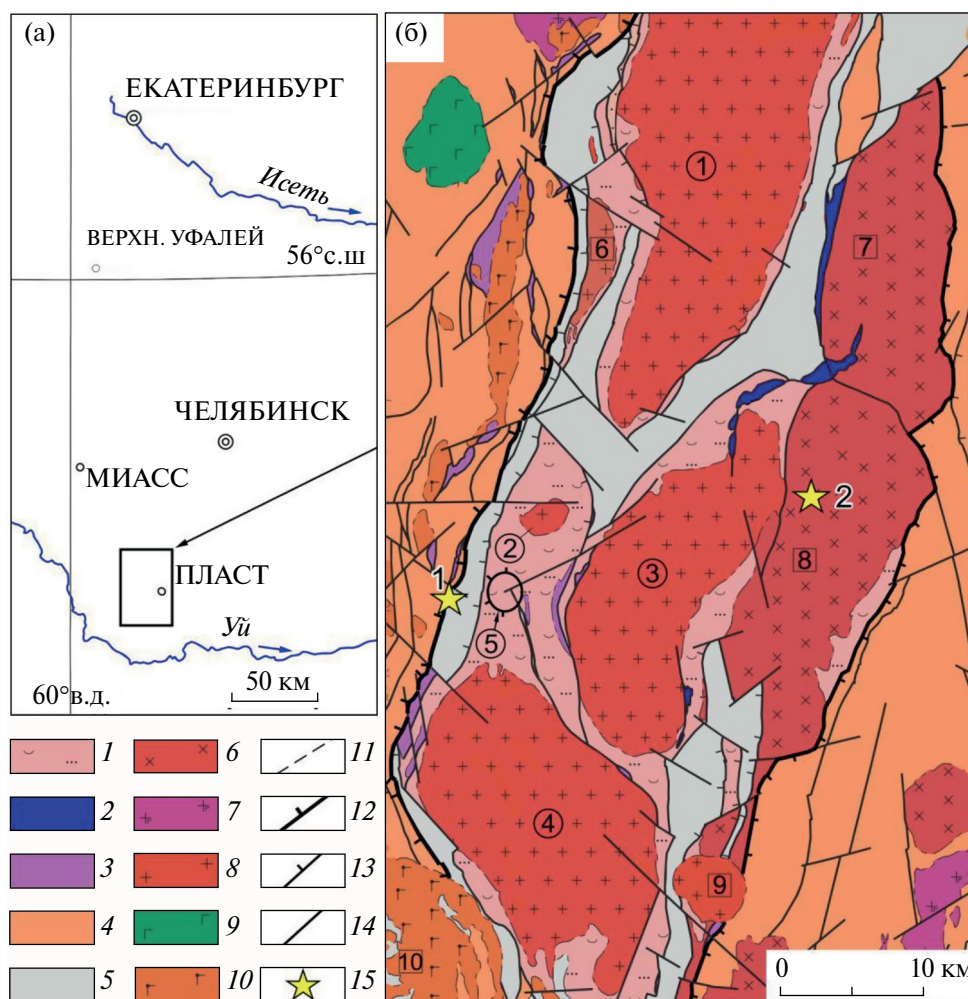
Купольные структуры сложены сиалическими породами: гнейсами, гранито-гнейсами и интрузивными сериями кислого состава (гранодиориты, плагиограниты, граниты). Их обрамление и межкупольные депрессии слагают гнейсы, кристаллические сланцы (биотитовые, мусковит-биотитовые с кварцем, полевым шпатом, амфиболом, редко с дистеном, ставролитом и силлиманитом), амфиболиты и мраморы кальцитового, реже доломитового и смешанного состава. Контакты сланцевого обрамления с гранито-гнейсовыми куполами обычно тектонические, соответствующие по характеру тектоническим срывам.

На востоке граница Кочкарского антиклинория фиксируется линейными интрузиями гранодиоритов Коелгинского и плагиогранитов Пластовского массивов, отделяющих развитые на западе гнейсы и кристаллические сланцы от вулканогенных и вулканогенно-осадочных комплексов ордовик-девонского возраста Еманжелинско-Бородинского синклинория. Западная граница антиклинория также тектоническая. В антиклинории метаморфизм зональный: в ядрах куполов он отвечает условиям амфиболитовой фации, а в породах обрамления — условиям эпидот-амфиболитовой фации (Болтыров и др., 1973; Кейльман, 1974; Пужаков и др., 2018).

Геологическое строение Светлинского месторождения

Первые представления о геологическом строении Светлинского месторождения и его генезисе сформировались по результатам геологоразведочных работ 70–80-х гг. (Сазонов и др., 1989, 2001; Bortnikov et al., 1999); они дополнены результатами исследований в добычном карьере (Vikent'eva, Bortnikov, 2015; Кисин, Притчин, 2015; Vikent'eva et al., 2020; Кисин и др., 2022; Викентьева, Бортников, 2023). Месторождение расположено в зоне глубинного надвига субмеридионального простирания и западного падения, отделяющего Кочкарский антиклинорий от вулканогенно-осадочных комплексов Заураловского синклинория, развитых к западу от него (см. фиг. 1б).

Породы Кочкарского антиклинория в пределах месторождения представлены мраморами кальцитового, реже доломитового состава и переходными разностями разной степени доломитизации. Реликтовая слоистость в мраморах (с оползневыми текстурами) имеет западное падение под углом



Фиг. 1. Географическая позиция (а) и схематическая геологическая карта Кочкарского антиклинария (б) по материалам (Пужаков и др., 2018), с упрощениями и дополнениями. 1 – плагиогнейсы биотитовые, гранат-биотитовые, амфиболиты, кристаллосланцы с гранатом, ставролитом, силлиманитом и кианитом (V1); 2 – ультраметаморфиты апогарибургитовые аподунитовые нерасчлененные (V2); 3 – серпентиниты (O2); 4 – нерасчлененные вулканогенные, вулканогенно-осадочные комплексы, углеродисто-кремнистые сланцы (O3-D3); 5 – мраморизованные известняки, мраморы (C1v); 6 – тоналиты гнейсовидные, гранодиориты, плагиограниты (D3-C1); 7 – плагиограниты (C1); 8 – граниты биотитовые, мезократовые и лейкокатовые, гнейсограниты (C1-2); 9 – габбро, габбронориты (C1); 10 – монцогаббро, граносиениты, граниты (P1); 11 – геологические границы; 12–14 – тектонические нарушения: 12 – глубинные надвиги, 13 – сбросы (тектонические срывы), 14 – прочие разломы; 15 – месторождения золота (1 – Светлинское, 2 – Кочкарское). Цифры в кружках – гранитогнейсовые купола: 1 – Варламовский, 2 – Еремкинский, 3 – Борисовский, 4 – Санарский, 5 – Светлинская купольная структура. Цифры в квадратах – интрузивные массивы: 6 – Котликский, 7 – Коелгинский, 8 – Пластовский, 9 – Каменно-Санарский, 10 – Степнинский.

70–75°; кливаж разлома, ранее принимаемый за осадочную слоистость, имеет также западное падение, но под углом 45–55°. Возраст карбонатных осадочных пород по находкам макрофауны считается раннекаменноугольным (Пужаков и др., 2018; Кисин, Притчин, 2022).

Вулканогенно-осадочный разрез Заураловского синклиория в пределах месторождения представлен толщей кварц-биотитовых, кварц-серицит-биотитовых пород крайне невыдержанного состава и с варьирующей степенью

рассланцевания — как по простирацию, так и по падению. Зачастую они полностью утратили первичный облик субстрата, по которому образовались. Поэтому предполагается, что состав протолита аналогичен малоизмененным породам разрезов, изученных южнее и севернее месторождения. Они представлены базальтами, андезитами, дацитами и риолитами субщелочного и нормального ряда, их туфами, углерод-кремнистыми и филлитовидными сланцами (Болтыров и др., 1973; Пужаков и др., 2018). Породы испытали

региональный метаморфизм верхов фации зеленых сланцев; их полосчатость минеральная, кристаллизационная, имеет западное падение под углом 45–60°, увеличиваясь до 80° близ контакта с мраморами. В толще наблюдаются маломощные тела тальцитов, реже — серпентинитов, залегающих как с полосчатостью, так и в виде крутопадающих, секущих тел мощностью до первых метров. Возраст вулканогенно-осадочной толщи, по геологическим данным, условно принят ордовик-позднедевонским (Болтыров и др., 1973; Сазонов и др., 1989; Пужаков и др., 2018).

Предполагается, что надвиг, в зоне которого локализовано месторождение, был заложен в позднем девоне (Сазонов и др., 1989), на раннеколлизийном этапе. В пределах месторождения надвиг осложнен постколлизийными взбросами вертикального и крутого восточного падения, обусловленными ростом Светлинской купольной структуры (Кисин и др., 2022). С формированием купола связано развитие на месторождении в пределах вулканогенно-осадочного комплекса системы кварцевых жил: 1) крутых субмеридиональных, с глубиной меняющих падение с западного на восточное; 2) субширотных, лестничного типа, крутопадающих на север, наиболее распространенных; и 3) редких субмеридиональных, полого падающих на запад (Кисин, Притчин, 2015).

Рудоносные зоны на месторождении выделяются по результатам разведки, детализированной по эксплуатационному опробованию, и представлены двумя типами оруденения: прожилково-вкрапленного и кварцево-жильного (Сазонов и др., 1989). Положение рудоносных зон контролируется зонами интенсивного рассланцевания, биотитизации и развитием серий сближенных субширотных кварцевых жил, нередко с шеелитом. С учетом материалов по геологии, минералогии и флюидному режиму (Сазонов и др., 1989; Сазонов и др., 2001; Vikent'eva, Bortnikov, 2015; Пужаков и др., 2018; Vikent'eva et al., 2020) Светлинское месторождение считается полихронным и полигенным, сформированным в пять этапов: 1) отложение терригенных и вулканогенно-осадочных пород, слабо обогащенных Au, девон, вплоть до франа; 2) региональный зеленокаменный метаморфизм с локальным перераспределением сульфидов, фамен-турне; 3) коллизия, метаморфизм (эпидот-амфиболитовой — амфиболитовой фации) и формирование синорогенного тоналит-гранодиоритового плутона, пегматитовых и кварцевых жил в его апикальной части и, далее от плутона, в дистальной периферийной

зоне, серии золото-шеелит-сульфидно-кварцевых жил, сопровождающихся изменением березит-лиственитовых метасоматитов, поздний карбон; 4) формирование связанной с мантийными источниками золото-теллуридной прожилково-вкрапленной минерализации, ранняя пермь; 5) гипергенная стадия — образование коры выветривания и крупных золотых россыпей (мезозой-кайнозой).

Геологическое строение Кочкарского месторождения

Кочкарское месторождение расположено в северной части Пластовского массива плагиогранитов (см. фиг. 16). Площадь массива около 150 км², форма — вытянутая в субмеридиональном направлении, выклинивающаяся к югу; протяженность — около 50 км при ширине до 10 км. Западная часть массива сложена полосчатыми плагиогнейсами, биотитовыми гнейсами и разгнейсованными плагиогранитами. К центру и в глубину вышеперечисленные породы постепенно сменяются массивными плагиогранитами с ксенолитами сланцев, гнейсов и зеленокаменных пород (Яновский, 1970; Смолин, 1975). Элементы залегания гнейсовидности в кровле массива указывают на наличие крупной открытой антиклинальной брахискладки субмеридионального простираения с размахом крыльев 2.5–3 км, которые погружаются под углом 40–60° к востоку и западу.

Массив пересечен двумя комплексами даек: 1) ранний — плагиограниты, плагиодиориты, аплиты и плагиогранит-пегматиты, генетически связанные с Пластовским массивом; 2) поздний — дайки основного состава, претерпевшие метасоматические преобразования с образованием кварц-плагиоклаз-амфибол-биотитовых метасоматитов, называемых “табашками” (Бородаевский и др., 1984; Пужаков и др., 2018) за характерный цвет. О природе субстрата этих метасоматитов нет единого мнения, ряд исследователей считают их протолитом долериты (Яновский, 1970; Бородаевский и др., 1984), другие — лампрофиры различного состава (Грабежев, 1974; Знаменский, Серавкин, 2006). Дайки основного состава на площади Пластовского массива в целом образуют веер, раскрытый на восток; Кочкарское месторождение расположено в северной части веера, где преобладают дайки субширотного и ВСВ простираения.

На месторождении выделено 4 этапа метасоматических преобразований пород (Яновский, 1970; Грабежев, 1974; Знаменский, Серавкин, 2006; Знаменский, 2014): 1) дорудный этап

имеет площадное распространение, во время которого произошла полная амфиболитизация и биотитизация даек основного состава и слабая биотитизация, частичная калишпатизация, серицитизация и альбитизация плагиогранитов и даек кислого состава; 2) предрудный этап распространён локально и охарактеризован оклотрещинной березитизацией пород, с образованием отдельных тел мощностью 0.5–1.5 м при длине 20–30 м; 3) рудный этап проявился в виде пучков, серий кулисных и четковидных сульфидно-кварцевых жил (протяженностью первые сотни метров), обычно пространственно совмещенных с амфибол-биотитовыми метасоматитами; 4) послерудный этап связан с формированием карбонат-кварц-мусковит-хлоритовых жил, в малой степени наследующих более ранние структуры. Возраст дорудного метаморфизма, метасоматического изменения даек и рудообразования предполагается совпадающим

с возрастом постмагматических процессов и лежит в интервале 360–330 млн лет (Сазонов и др., 2001; Ферштатер и др., 2009; Знаменский, 2014).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ

Образцы пород для исследований взяты авторами в Светлинском золоторудном карьере и в западном штреке на горизонте 650 м шахты Центральная Кочкарского месторождения; образец с шахты Южная предоставлен рудничными геологами; одна проба отобрана из рудного тела Осейского карьера. Минералы отобраны под бинокулярным микроскопом МБС-9 из фракции 0.2–1 мм предварительно раздробленных образцов. Для исследований использованы мономинеральные фракции слюд и амфибола: 6 проб для Светлинского месторождения (биотит — 3, флогопит — 1, фуксит — 1, актинолит — 1) и 4 пробы для

Таблица 1. Список проб для изотопного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования калий-содержащих минералов Светлинского и Кочкарского золоторудных месторождений

М-ние	№ обр.	Описание образца
Светлинское	4/19	Флогопит из мрамора; представлен единичными прозрачными недеформированными кристаллами бледно-желтого цвета, размером до 2 мм, идиоморфными по отношению к кальциту
	8/19	Биотит из зальбанда субширотной кварцевой жилы рудной зоны. Биотит образует крупночешуйчатые сростки кристаллов размером до 5 мм на стенках трещины в пирит-кварц-плагиоклаз-биотитовой породе; образовался синхронно жильному кварцу
	9/19	Биотит из пирит-кварц-плагиоклаз-биотитовых золотоносных метасоматитов. Гнезда крупночешуйчатого биотита до 8 мм поперечником в мелкозернистой массе.
	14/19	Актинолит (14/19А) в зальбандах субширотной кальцитово-кварцевой жилы и биотит (14/19Б) из вмещающей ее биотит-актинолит-кальцитово-кварцевой породы. Биотит представлен чешуйчатыми зернами до 4 мм в поперечнике; зеленый актинолит образует сноповидные сростки и игольчатые кристаллы до 3 мм в длину
	17/19	Фуксит из миарол, инкрустированных доломитом, в кальцитовом мраморе вблизи контакта с породами вулканогенно-осадочной толщи. Фуксит образует кристаллы свободного роста до 2 мм на стенках полостей, нередко формирует сростки, реже полностью выполняет полости выщелачивания в мраморе
Кочкарское	14/18	Флогопит из золотоносной кварцевой жилы шахты Центральная, горизонт 600, штрек 31, блок 993. Слюда слагает цемент тектонической брекчии по кварцевой жиле и инкрустирует пустоты между ее обломками. Флогопит представлен крупными, до 1.5 см в поперечнике, таблитчатыми кристаллами светло-серого цвета, нередко в хлоритовой рубашке. Судя по друзовому строению агрегата и присутствию кристаллов горного хрусталя, это, вероятно, постколлизийный этап.
	18/18	Биотит из кварц-плагиоклаз-биотитовой породы в тектонизированном контакте “табашки” с плагиогранитом, участок Осейка на южном фланге Кочкарского месторождения. Биотит представлен крупными, слабо деформированными темно-коричневыми чешуями до 3 мм в длину
	38/18	Биотит (38/18Б) и актинолит (38/18А) из “табашки” биотит-актинолитового состава, вмещающей жилу Новая (в ее зальбандах), шахта Центральная, горизонт 600, орт 34. Биотит слагает основную массу породы; местами содержит прожилки мелкозернистого кварца. Амфибол представлен крупными (до 10 мм по наибольшему измерению), различно ориентированными, недеформированными кристаллами серовато-зеленого цвета

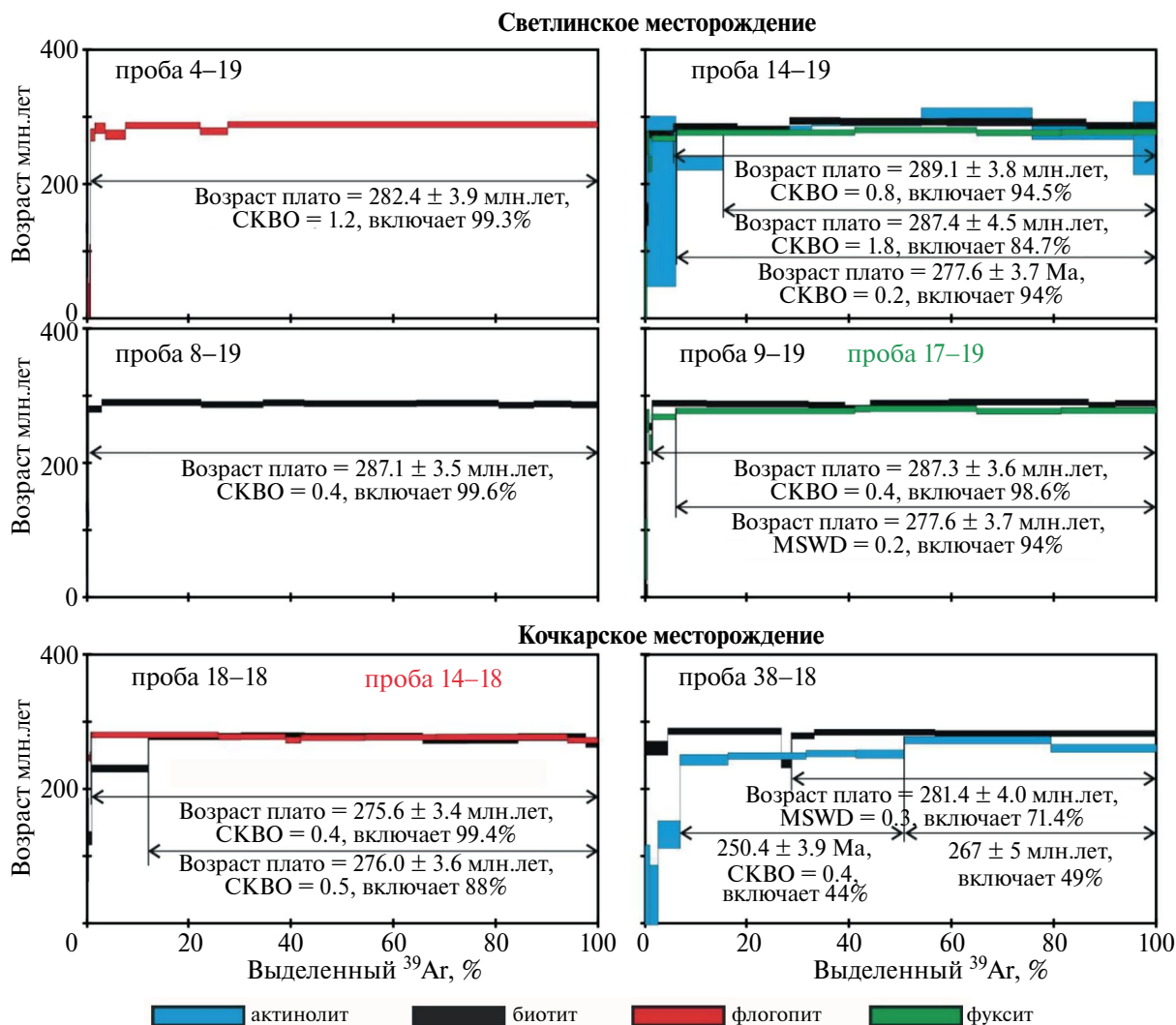
Кочкарского месторождения (биотит — 2, флогопит — 1, актинолит — 1) (табл. 1).

Изотопное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование монофракций К-слюд и амфиболов выполнено в ИГМ СО РАН г. Новосибирска на масс-спектрометре Micromass Noble gas 5400 (аналитик А.В. Травин) методом ступенчатого нагрева в кварцевом реакторе с печью внешнего нагрева (Травин и др., 2009). При интерпретации возрастных спектров использовался метод возрастного плато (Fleck et al., 1977). Для входящих в плато ступеней должны выполняться следующие условия: разница возрастных значений между любыми двумя из них не должна превышать 3σ ; им соответствует не менее 60% выделенного ^{39}Ar . В тех случаях, когда исследуемые образцы характеризуются возрастной гетерогенностью, сложной термической историей,

полезная информация может быть получена по промежуточным плато, выделяемым в возрастном спектре с помощью менее жестких критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДАТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КОЧКАРСКОМ АНТИКЛИНОРИИ

Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования калий-содержащих минералов Светлинского и Кочкарского месторождений методом ступенчатого прогрева приведены на фиг. 2. В спектрах всех образцов, за исключением актинолита пробы 38/18, выделяется кондиционное плато. В спектре актинолита 38/18 выделяется высокотемпературное промежуточное плато из 2 ступеней,



Фиг. 2. Возрастные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ спектры для калий-содержащих минералов Светлинского и Кочкарского месторождений золота.

характеризующееся значением возраста 267 ± 5 млн лет и 49% выделенного ^{39}Ar . В низкотемпературной части спектра выделяется плато из 4 ступеней, характеризующееся значением возраста 250 ± 4 млн, $\text{СКВО} = 0.4$ и 44% выделенного ^{39}Ar .

Можно заметить, что полученные для минералов Светлинского месторождения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки древнее полученных для минералов Кочкарского месторождения. Средние взвешенные составляют 284 ± 2 и 276 ± 2 млн лет соответственно, differing by 8 млн лет.

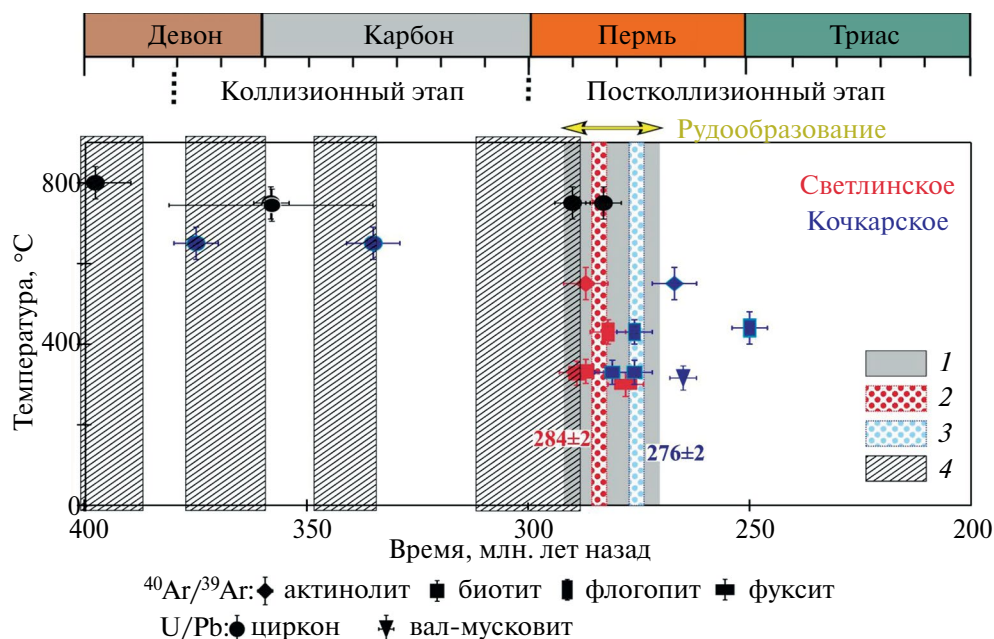
ОБСУЖДЕНИЕ

Геологические данные для региона свидетельствуют, что на исследуемой площади начало коллизионных процессов (преобладающий механизм — одноосное горизонтальное сжатие) пришлось на поздний девон и ознаменовалось заложением надвигов корового масштаба (Болтыров и др., 1973; Кейльман, 1974; Огородников и др., 2004 и др.). На фиг. 3 приведена сводка полученных датировок по минералам Светлинского и Кочкарского золоторудных месторождений, а также опубликованных данных изотопного датирования гранитоидных массивов и гранито-гнейсовых куполов Кочкарского антиклинория (табл. 2). В таблице

приведены также значения температуры закрытия изотопных систем, рассчитанные на основе определенных в лабораторных экспериментах кинетических параметров (Hodges, 2004).

В пределах Пластовского массива плагиигранитов доколлизийному этапу отвечает формирование плагиигранитных даек. Коллизийному этапу, с которым были связаны формирование антиклинория, разогрев пород в его ядре с последующим образованием гранито-гнейсовых куполов, метаморфизмом и гранитизацией (Огородников и др., 2004; Кисин и др., 2022 и др.), соответствуют датировки Варламовского и Борисовского гранитоидных массивов. В этот же временной интервал попадают датировки метаморфогенного циркона из плагиигранитных гнейсов района Кочкарского золоторудного месторождения. Метаморфизм, по оценке (Сначев и др., 2019), соответствовал условиям $T=640\text{--}690\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=3.5\text{--}4.6$ кбар.

Пик метаморфизма и начало перехода к процессам постколлизийной релаксации (граница карбона и перми) фиксируются появлением анатектических гранитов (лейкогранитов, аплитов и пегматитов). Этому этапу соответствует полученный по циркону возраст гранитов Санарского и Степнинского массивов (Ферштатер и др., 2007).



Фиг. 3. Термохронологическая диаграмма со сводкой полученных данных $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования К-содержащих минералов Светлинского (красные значки) и Кочкарского (синие значки) золоторудных месторождений, а также опубликованных данных изотопного датирования U/Pb и Rb/Sr-методами гранитоидных массивов и пород гранито-гнейсовых куполов Кочкарского антиклинория (черные значки; см. табл. 2). 1 — предполагаемый период золоторудной минерализации; 2, 3 — среднее взвешенное из $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок для Светлинского (2) и Кочкарского (3) золоторудных месторождений; 4 — периоды активизации тектонических и тектоно-магматических процессов, реконструированных на Урале (согласно обзору Vikenteyev et al., 2017).

Таблица 2. Изотопные датировки горных пород и минералов золоторудных полей Кочкарского антиклинория, использованные для построения термохронологической диаграммы

Возраст, млн лет	Метод	T, °C*	Минерал/порода	Объект	Литературный источник
399 ± 8	U/Pb	800 ± 40 _ф	Циркон/плагиогранит	Пластовский массив	Ферштатер и др., 2007
375 ± 5	U/Pb	650 ± 15 _ф	Циркон/лампрофир	Кочкарское месторождение	Ферштатер и др., 2009
358 ± 4	U/Pb	750 ± 40 _ф	Циркон/гнейсо-гранит	Варламовский массив	Ферштатер и др., 2007
358 ± 23	U/Pb	750 ± 40 _ф	Гранит	Борисовский массив	Kolb et al., 2005
335 ± 6	U/Pb	650 ± 15 _д	Циркон/плагиогранит	Пластовский массив	Ферштатер и др., 2007
290 ± 4	U/Pb	750 ± 40 _ф	Циркон/гранит	Санарский массив	Ферштатер и др., 2007
289 ± 4	Ar/Ar	330 ± 30 _з	Биотит/метасоматит	Светлинское месторождение	Настоящая работа
287 ± 5	Ar/Ar	550 ± 40 _з	Актинолит/кальцитовая жила	Светлинское месторождение	Настоящая работа
287 ± 3	Ar/Ar	330 ± 30 _з	Биотит/кварцевая жила	Светлинское месторождение	Настоящая работа
287 ± 4	Ar/Ar	330 ± 30 _з	Биотит/метасоматит	Светлинское месторождение	Настоящая работа
283 ± 4	U/Pb	750 ± 40 _ф	Циркон/гранит	Степнинский массив	Ферштатер и др., 2007
282 ± 4	Ar/Ar	430 ± 30 _з	Флогопит/мрамор	Светлинское месторождение	Настоящая работа
281 ± 4	Ar/Ar	330 ± 30 _з	Биотит/метасоматит	Кочкарское месторождение	Настоящая работа
278 ± 4	Ar/Ar	300 ± 30 _з	Фуксит/мрамор	Светлинское месторождение	Настоящая работа
276 ± 4	Ar/Ar	330 ± 30 _з	Биотит/кварц-плагиоклаз-биотитовая порода	Кочкарское месторождение	Настоящая работа
276 ± 3	Ar/Ar	430 ± 30 _з	Флогопит/брекчия	Кочкарское месторождение	Настоящая работа
267 ± 5	Ar/Ar	550 ± 40 _з	Актинолит/метасоматит	Кочкарское месторождение	Настоящая работа
265 ± 3	Rb/Sr	316 ± 30 _з	Пострудная Q-жила	Кочкарское месторождение	Kolb et al., 2005
250 ± 4	Ar/Ar	440 ± 40 _з	Актинолит/метасоматит	Кочкарское месторождение	Настоящая работа

Примечание: *Индекс означает: ф — температура формирования; д — температура деформации, преобразования; з — температура закрытия изотопной системы.

По всей видимости, с этим этапом связана завершающая стадия метаморфизма толщ Кочкарского антиклинория, закончившаяся их подъемом. В пользу этого предположения свидетельствует совпадение датировок по минералам рудных парагенезисов, характеризующихся различной температурой закрытия, для Светлинского и Кочкарского месторождений (см. фиг. 3).

Установлено, что для кварцевых жил, сформировавшихся в пределах Светлинского рудного поля, гомогенизация газово-жидких включений происходит при $T=250\text{--}380\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Огородников и др., 2004; Vikent'eva et al., 2020), что сопоставимо с температурой закрытия изотопной системы датировемых минералов ($\sim 300\text{--}330\text{ }^{\circ}\text{C}$). Полученные датировки по актинолиту и слюдам из рудных парагенезисов Светлинского и Кочкарского месторождений, вероятно, соответствуют возрасту дорудного метасоматоза и, собственно, рудообразования. Наблюдаемая разница возраста в ~ 8 млн. лет между средними оценками для минералов Светлинского и Кочкарского месторождений может быть связана с различием во времени подъема пород месторождений к земной поверхности в силу региональной неоднородности тектонических процессов либо с постепенной миграцией источника теплового потока и флюида с востока на запад, которая была реконструирована ранее по геологическим данным (Огородников и др., 2004). Возможно, причина в том, что Кочкарское месторождение локализовано в западной части Пластовского плагиогранитного массива, в относительно высокотемпературной зоне метаморфического ореола крупного Борисовского гранитоидного массива. Светлинское месторождение локализовано в зоне глубинного надвига на краю антиклинория и испытало менее существенный зональный метаморфизм со стороны малого и наименее эродированного Светлинского купола.

Рассчитанные для актинолита из “табашек” биотит-актинолитового состава (обр. 38/38) по промежуточным плато значения возраста оказались значительно меньше датировок, полученных методом полноценного плато, включая и возраст биотита из этого же временного диапазона. Это может быть связано с избирательным метасоматическим воздействием на кристаллическую структуру и изотопную систему данного минерала.

Полученные датировки для Кочкарского месторождения не укладываются в существующие представления о формировании золотого оруденения в связи с внедрением лампрофиров

(Ферштатер и др., 2007, 2009). Возраст самого Пластовского массива дискуссионен. По одним данным, он считается раннедевонским, отвечая U/Pb датировке по циркону 405 ± 3 млн лет (Ферштатер и др., 2009; 2010), хотя выделенные в этой пробе цирконы показали возрасты от 527.9 ± 6.4 до 287.6 ± 5.8 млн лет. По другим — возраст принимается позднедевонско-раннекаменноугольным (Пужаков и др., 2018; Сначев, Рыкус, 2020). Геологические наблюдения не исключают и поствизейский возраст внедрения плагиогранитов (Кисин и др., 2022). Возраст даек основного состава по результатам U/Pb датирования циркона принят 375 ± 5 млн лет (Ферштатер и др., 2009), хотя, как и для Пластовского массива, цирконы образуют в пробе полигенную и полихронную популяцию с диапазоном возрастов от 410.9 ± 4.4 до 293.3 ± 1.4 млн лет. Возраст предрудных метасоматических преобразований и формирования золоторудных ассоциаций для Светлинского месторождения ограничен ранней пермью. Вопрос об источнике флюидов и золота, необходимых для формирования и этого, и Кочкарского месторождений, требует дальнейшего изучения. Полученные результаты изотопного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования K-содержащих минералов рудовмещающих метасоматитов хорошо вписываются в модель блоковой складчатости (Кисин, Коротеев, 2017; Кисин и др., 2022), согласно которой формирование Кочкарского антиклинория происходило в несколько этапов.

1. $O\text{--}D_3$ — формирование вулканогенно-осадочных толщ в островодужной и рифтогенной обстановках. В конце этапа, с началом коллизии, закладываются крупные надвиги противоположного падения, разделяющие формирующиеся структуры: Заураловского синклинория на западе, Кочкарского антиклинория в центре и Еманжелинско-Бородинского синклинория на востоке. С этим этапом соотносятся раннедевонские датировки цирконов в Пластовском массиве.

2. $D_3\text{--}C_1v$ — раннеколлизийная стадия: под тяжестью надвинутых пород центральный блок коры, ограниченный глубинными надвигами, постепенно погружается, формируя морской бассейн, заполняющийся карбонатными осадками с примесью терригенного материала. Дальнейшая коллизия приводит к надвиганию ордовик-девонских вулканогенно-осадочных комплексов на раннекаменноугольные осадки. Изгибающие моменты, сопровождающие надвиги, приводят к образованию синклинорий (Заураловского и Еманжелинско-Бородинского)

и антиклинория (Кочкарского). Сфокусированная на ядро антиклинория механическая энергия сжатия трансформируется в тепловую, приводя к разогреву пород, их метаморфизму и дегидратации; отделяющиеся флюиды и тепло формируют тепловые купола. Идет гранитизация с выносом Mg, Fe, Ca и накоплением Na, K, Si, формированием массивов гранодиоритов и тоналитов. Продукты раннего гранитообразования в Пластовском массиве подробно описаны (Яновский, 1970; Смолин, 1975; Знаменский и Серавкин, 2006). Этому этапу соответствует возраст каймы ~ 375–360 млн лет у цирконов с древними корродированными ядрами (Ферштатер и др., 2009). Отметим, что интрузивные контакты этого массива с каменноугольными известняками и наличие роговиков также находятся в соответствии с его каменноугольным возрастом. Ранний этап коллизии завершается формированием Пластовского плагиогранитного массива ~ 340 млн лет назад, что отмечено U/Pb датировками метаморфических кайм циркона.

3. Рубеж C/P (± 10 млн лет) — пик коллизии. Разогретые в ядре антиклинория до пластичного состояния породы выжимаются вверх, формируя купольные структуры. Продолжаются процессы гранитизации с выносом в околокупольное пространство Si, Fe, Ti, Mg, Ca, Au и накоплением в ядрах куполов Na, K, Be, Li, Sn, W, Ta, Nb (Кисин, Коротеев, 2017). Каменноугольные известняки, развитые в межкупольном пространстве, частично мраморизируются. Пластовский массив также испытал гранитизацию под влиянием Борисовского гранито-гнейсового купола (Черемисин, Бородаевский, 1979). На западе, в обрамлении растущего Светлинского купола, формируются тектонические срывы (сбросы в связи с выдвиганием вверх пород лежащего бока) (Кисин и др., 2019). Часть таких срывов накладывается на теряющий активность Светлинский надвиг, вследствие чего последний осложнился серией субвертикальных взбросов субмеридионального простирания, контролирующих развитие по вулканогенно-осадочным породам тел вторичных кварцитов. Одновременно формируется серия сближенных субширотных трещин растяжения, заполняемых жильным кварцем, иногда с шеелитом (падение на север $\angle \sim 70^\circ$).

4. P_1-J_1 — постколлизийная релаксация. В Пластовском массиве пластические деформации сменились хрупкими, с формированием трещин скалывания СВ и СЗ простирания. Последующий спад напряжения привел к раскрытию

этих трещин и формированию в них кварц-плагиоклаз-амфибол-биотитовых метасоматитов — “табашек”, которые авторы считают базификатами, связанными с осаждением Fe, Mg, вынесенных при гранитизации. На это указывают несколько признаков: сходный состав “табашек” с кварц-биотитовыми метасоматитами Светлинского месторождения (Сазонов, Мурзин, 1994); крайне невыдержанный состав: кварц-плагиоклаз-амфибол-биотитовый, но нередко амфибол-биотитовый без кварца и полевых шпатов; наблюдения постепенного перехода или нерезкого контакта “табашек” с вмещающими плагиогранитами (Смолин, 1975; Бородаевский и др., 1984) и, наконец, сходный полихронный набор цирконов из “табашек” и плагиогранитов (Ферштатер и др., 2009). С учетом этого возраст “табашек” отвечает возрасту молодой популяции циркона 287.6 ± 5.8 млн лет из плагиогранитов, 293.3 ± 1.4 млн лет — из “табашек”, а также — $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировке 281.4 ± 4.5 биотита из “табашек” (см. фиг. 3, таб. 2). Дальнейшее раскрытие системы трещин скалывания приводит к наложению на “табашки” золото-сульфидной минерализации ~ 276 ± 3 млн лет назад (по флогопиту из брекчий по золотоносным кварц-сульфидным жилам) и 276 ± 4 млн лет (по биотиту из поздних “табашек” участка Осейка Кочкарского месторождения).

Окончание тектоно-метаморфической активности зафиксировано на Кочкарском месторождении $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датами 267 ± 5 и 250 ± 4 млн лет для актинолита из поздних “табашек” (см. табл. 2). Оно отмечено также образованием поздних кварцевых жил и кристаллизацией вторичного хлорита при температуре около 350°C ; датировано Rb/Sr методом (см. фиг. 3, таб. 2) (Kolb et al., 2005) — 265 ± 3 млн лет назад.

На Светлинском месторождении на зоны тектонических срывов субмеридионального простирания накладываются пирит-кварц-плагиоклаз-биотитовые метасоматиты. Аналогичные метасоматиты развиты в зальбандах некоторых субширотных кварцевых жил. Этому этапу соответствует возраст биотита и актинолита 291–287 млн лет из зальбандов жил и крупночешуйчатого биотита — из пирит-кварц-плагиоклаз-биотитовых метасоматитов. В тектонизированных кварцевых жилах и пирит-кварц-плагиоклаз-биотитовых метасоматитах отлагалась малосульфидная золото-теллуридная минерализация. В мраморах при снятии стресса пластические деформации сменились хрупкими, и в полостях отложилась

пневматолито-гидротермальная минерализация: флогопит, мусковит, фуксит, Сг-паргасит, пирит, пирротин, сфалерит, кварц, топаз, флюорит, самородная сера и др. Изотопное датирование флогопита показало возраст 282 ± 4 млн лет, а фуксита — 278 ± 4 млн лет (см. фиг. 3, табл. 2).

ВЫВОДЫ

1. По результатам изотопного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования калий-содержащие минералы метасоматитов и жил Светлинского и Кочкарского месторождений образовались на начальных фазах постколлизийного этапа, отвечающего режиму тектонической релаксации, в интервале 290–276 млн лет.

2. Вероятнее всего, образование обоих месторождений связано с процессами гранитизации при формировании Кочкарского антиклинория, являясь их следствием: накоплению золота в обрамлении гранитогнейсовых куполов мог способствовать его вынос из зон анатектического плавления в их ядрах. На обоих месторождениях рудовмещающие метасоматиты фемического профиля одновозрастные и, вероятнее всего, являются базификатами, образованными при гранитизации, охватившей глубокие зоны Кочкарского антиклинория.

3. Золотая минерализация Светлинского месторождения накладывается на базификаты и кварцевые жилы, сформированные в зоне сочленения Светлинского надвига с рудоподводящими зонами тектонического срыва (сбросами) одноименного Светлинского купола, апикальная часть которого расположена в 3 км восточнее месторождения.

4. Золотое оруденение Кочкарского месторождения наложено на базификаты, выполняющие трещины скалывания и растяжения, которые сформировались при росте Борисовского гранитогнейсового купола.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Госзадания № Гос. учета НИОКТР 123011800011–2 “Рудообразующие процессы и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых во внутриплитных коллизийно-складчатых поясах”, а также — по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400171–5) и ИГЕМ РАН (№ 124022400142–2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болтыров В.Б., Пыстин А.М., Огородников В.Н. Региональный метаморфизм пород северного обрамления Санарского гранитного массива на Южном Урале // Труды Свердловского Горного ин-та. 1973. Т. 91. С. 53–66.

Бородаевский Н.И. Кочкарское золоторудное месторождение // Геология главнейших золоторудных месторождений СССР. М.: ОБТИ, 1952. Т. III. С. 269–413.

Бородаевский Н.И., Черемисин А.А., Яновский В.М., Покусев В.И. Кочкарское месторождение // Золоторудные месторождения (Европейская часть СССР). Москва: Недра, 1984. Т. 1. С. 54–87.

Викентьева О.В., Бортников Н.С. Признаки плавления минералов в рудах Светлинского золоторудного месторождения, Южный Урал, Россия // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 513. С. 206–211.

Грабежеев А.И. Процессы метасоматизма пород Кочкарского золоторудного месторождения // Метасоматизм и рудообразование. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1974. С. 3–22.

Денисова Н.А., Хайрятдинов Р.К. История разработки Кочкарского месторождения золота // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2020. Вып. 1. С. 211–227.

Знаменский С.Е. Тектоническая позиция и структура Кочкарского рудного поля и месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2014. № 1. С. 16–19.

Знаменский С.Е., Серавкин С.Б. Глубинное строение, региональная позиция и структура Кочкарского рудного поля и месторождения // Геологический сборник. Труды ИГ УНЦ РАН, 2006. Т. 5. С. 30–38.

Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. Москва: Недра, 1974. 200 с.

Кисин А.Ю., Коротеев В.А. Блоковая складчатость и рудоогенез. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 349 с.

Кисин А.Ю., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Мурзин В.В., Притчин М.Е. Роль Светлинской гранитогнейсовой купольной структуры в образовании кварцево-жильных месторождений (Южный Урал) // Изв. Уральского гос. горного ун-та. 2019. Т. 56. С. 53–63.

Кисин А.Ю., Притчин М.Е. Разрывная тектоника на Светлинском месторождении золота (Южный Урал) и ее рудоконтролирующая роль // Вестник Пермского ун-та. Геология. 2015. Т. 28. С. 34–42.

Кисин А.Ю., Притчин М.Е., Озорнин Д.А. Геолого-структурная позиция Светлинского месторождения золота (Южный Урал) // Записки Горного ин-та. 2022. Т. 255. С. 369–376.

- Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минералогия шовных зон Урала. Ч. 1. Кочкарский рудный район. Екатеринбург: УГГА, 2004. 216 с.
- Пужаков Б.А., Шох В.Д., Шулькина Н.Е. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Сер.: Южно-Уральская. Лист N-41-XIII (Пласт). Об. зап. М.: Моск. филиал ВСЕГЕИ, 2018. 205 с.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Сазонов В.Н., Мурзин В.В. Кочкарские табашки и светлинские метасоматиты фемического профиля — генетические родственники (Южный Урал) // Ежегодник-1993. Труды ИГГ УрО РАН. 1994. Т. 141. С. 97–98.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГА, 2001. 622 с.
- Сазонов В.Н., Попов Б.А., Григорьев Н.А., Мурзин В.В., Мецнер Э.И. Корово-мантийное оруденение в салических блоках эвгеосинклиналей. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 112 с.
- Смолин Д.А. Структурная документация золоторудных месторождений. М.: Недра, 1975. 240 с.
- Сначев В.И., Рыкус М.В. Геология, петрогеохимия и условия кристаллизации гранитоидов Пластовского массива (Восточно-Уральский прогиб) // Нефтегазовое дело. 2020. Т. 18. С. 6–14.
- Сначев В.И., Сначев А.В., Рыкус М.В. Физико-химические условия метаморфизма еремкинской толщи (Кочкарский антиклинорий) // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. С. 6–15.
- Спиридонов Э.М. Минералогия метаморфизованного Кочкарского плутогенного золото-кварцевого месторождения, Южный Урал // Записки ВМО. 1995. № 6. С. 24–39.
- Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г. и др. Термохронология Черноурдской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. Т. 11. С. 1181–1199.
- Ферштатер Г.Б., Знаменский С.Е., Бородин Н.С. Возраст и геохимия Пластовского золотоносного массива // Ежегодник-2008. Труды ИГГ УрО РАН. 2009. Т. 156. С. 276–282.
- Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., Монтеро П., Бородин Н.С. История и геодинамические обстановки палеозойского интрузивного магматизма Среднего и Южного Урала (по результатам датирования цирконов) // Геотектоника. 2007. № 6. С. 52–77.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Кремнецкий А.А. и др. Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции // Геология руд. месторождений. 2010. Т. 52. С. 65–84.
- Черемисин А.А., Бородаевский Н.А. О зональности гидротермального метаморфизма на одном из рудных полей Урала // Метасоматические формации и фации. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. С. 65–69.
- Яновский В.М. Особенности структуры Кочкарского золото-мышьякового месторождения (Южный Урал) // Изв. Томского политех. ин-та. 1970. Т. 239. С. 354–360.
- Bortnikov N.S., Murzin V.V., Sazonov V.N., Prokofiev V.Y., Stolyrov M.I. The Svetlinsk gold-telluride deposit, Urals, Russia: mineral paragenesis, fluid inclusions and stable isotope studies // Mineral Deposits: Processes to Processing; Proc. 5th SGA Meeting and 10th JAGOD Symp. Rotterdam, Netherlands: Balkema Publishers, 1999. P. 21–24.
- Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. V. 4. P. 1508–1511.
- Fleck R.J., Sutter J.F., Elliot D.H. Interpretation of discordant $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age-spectra of Mesozoic tholeiites from Antarctica // Geochim. Cosmochim. Acta. 1977. V. 41. P. 15–32.
- Hodges K.V. Geochronology and thermochronology in orogenic systems // Treatise on Geochemistry. Oxford, Elsevier, 2004. V. 3. P. 263–292.
- Kolb J., Sindern S., Kisters A.F.M. et al. Timing of Uralian orogenic gold mineralization at Kochkar in the evolution of the East Uralian granite-gneiss terrane // Mineral. Dep. 2005. V. 40. P. 473–491.
- Kisters A.F.M., Meyer F.M., Znamensky S.E. et al. Structural controls of lode-gold mineralization by mafic dykes in late-Paleozoic granitoids of the Kochkar district, Southern Urals, Russia // Mineral. Dep. 2000. V. 35. P. 157–168.
- Sazonov V.N., van Herk A.H., de Boorder H. Spatial and temporal distribution of gold deposits in the Urals // Econ. Geol. 2001. V. 96. P. 685–703.
- Vikent'eva O.V., Bortnikov N.S. The large Svetlinsk Au-Te deposit, South Urals: telluride mineralization for genetic reconstructions // Proc. 13th Biennial SGA Meeting, Nancy, France. 2015. P. 851–854.
- Vikent'eva O., Prokofiev V., Borovikov A. et al. Contrasting fluids in the Svetlinsk gold-telluride hydrothermal system, South Urals // Minerals. 2020. V. 10. Paper 37. P. 1–26.
- Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 30–63.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ DATING OF HYDROTHERMAL PROCESSES IN LARGE GOLD DEPOSITS OF THE KOCHKAR ANTICLINORIUM (SOUTH URALS, RUSSIA)

M. E. Pritchins^a, A. Yu. Kisin^a, O. V. Vikent'eva^b, D. A. Ozornin^a,
A. V. Travin^c, I. V. Vikentyev^b

^a*Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Academic Vonsovsky str., 15, Yekaterinburg, 620016 Russia*

^b*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences, Staromonetny per., 35, Moscow, 119017 Russia*

^c*Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Academic Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

The age restrictions for productive mineral associations of the two largest gold deposits of the Southern Urals — Svetlinsk and Kochkar', which are located in the East-Uralian megazone, are discussed. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method was performed for the first time for potassium-containing hydrothermal minerals (micas and amphiboles) from the ore veins and ore-host alteration, as well as marbles. The age estimates obtained are in the range of 290–276 Ma; the weighted average value for the Svetlinsk deposit is 284 ± 2 Ma, for the Kochkar' field 276 ± 2 Ma. It is assumed that the studied mineral assemblages of the Svetlinsk and Kochkar' deposits were formed in the beginning of the post-collision stage corresponding to the tectonic relaxation regime. Age of hydrothermal mineral formation in the gold fields of the Kochkar anticlinorium are consistent with the time of post-tectonic plutonic activity, which was expressed in the Middle–Southern Urals in large-scale granitization (~ 300 million years ago). The ore-bearing alteration of a femic profile (of the same age for two deposits), which are most likely basificates, are near-synchronous to the granitization.

Keywords: Svetlinsk and Kochkar' gold deposits, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, collision, Kochkar anticlinorium, South Urals.