



Научная статья
УДК 553.072

Геолого-структурная позиция Светлинского месторождения золота (Южный Урал)

А.Ю.КИСИН, М.Е.ПРИТЧИН, Д.А.ОЗОРНИН✉

Институт геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Как цитировать эту статью: Кисин А.Ю., Притчин М.Е., Озорнин Д.А. Геолого-структурная позиция Светлинского месторождения золота (Южный Урал) // Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 369-376. DOI: 10.31897/PMI.2022.46

Аннотация. Приводятся результаты изучения геолого-структурной позиции крупного Светлинского месторождения золота в Кочкарском антиклинории (Южный Урал), локализованного в зоне позднепалеозойского (D_3) глубинного надвига западного падения. Исследования подтверждают и уточняют представления о его многофазности и полихронности. Надвиг вызвал изгибающие моменты в его крыльях и опускание коры лежачего бока, возникновение мелководного морского бассейна с быстрым накоплением терригенно-карбонатных осадков (C_{IV}), образованием многочисленных оползневых структур. Разогрев пород в ядре антиклинория сопровождался гранитизацией и куполообразованием. В непосредственной близости от надвига сформировался небольшой Светлинский купол, создавший термобарическое градиентное поле (C_2). В зону динамического влияния купола попал и прилегающий участок надвига, осложненный серией субвертикальных взбросов субмеридионального простирания и многочисленных крутопадающих субпараллельных трещин растяжения широтного простирания, синхронно заполненных жильным кварцем, сопровождаемых гидротермально-метасоматическими преобразованиями пород. Формирование собственно месторождения золота пришлось на этап постколлизивной релаксации (от P_1 до, вероятно, ранней юры). На связь золотого оруденения со Светлинским куполом указывает наличие самородного золота в неогеновых ложковых россыпях горного хрусталя на площади купола и в мраморе Светлинского месторождения, в ассоциации с флюоритом, F-флогопитом, Ст-мусковитом, розовым топазом, горным хрусталем, самородной серой.

Ключевые слова: золото; месторождение; коллизия; структурная геология; надвиг; гранитогнейсовые купола; Южный Урал

Благодарность. Работа выполнена по государственному заданию ИГТ УрО РАН (№ АААА-А18-118052590028-9 госрегистрации).

Поступила: 07.04.2022

Принята: 15.06.2022

Онлайн: 26.07.2022

Опубликована: 26.07.2022

Введение. Светлинское месторождение золота расположено в 100 км к югу от Челябинска и 25 км к юго-западу от Пласта и в настоящее время является наиболее крупным на Южном Урале. Открыто в 70-х годах прошлого века, с 1992 г. обрабатывается открытым способом. В 2021 г. глубина карьера составила около 240 м. Ежегодно на месторождении добывается 4-4,5 т золота; оставшиеся запасы золота до глубины 600 м оцениваются в 75 т [1-3], а его общие запасы с учетом уже извлеченных составляют около 130-135 т. Светлинское месторождение золота отличается обилием различных теллуридов (Fe, Ni, Pb, Sb, Bi, Ag и Au) [4]. Au-Te месторождения включают следующие типы: эпitherмальные, порфировые, орогенные или связанные с магматической интрузией. Примерами крупных месторождений Au-Te можно назвать Золотую Милю, Австралия [5], Криппл-Крик и Золотой солнечный свет, США [6, 7], Император, Фиджи [8, 9], Акупан, Филиппины [10] и Сакарим, Румыния [11]. Светлинское месторождение исследователями рассматривалось как мезотермальное низкоградиентное вкрапленно-жильного типа [12], полигенное и полихронное, образованное флюидами из разных источников [12-16] и в связи с гранитным магматизмом [12, 13, 17]. Некоторые исследователи основную роль в формировании месторождения отводят процессам аргиллизации, которую связывают с Mz-Kz тектоно-магматической активизацией [18].

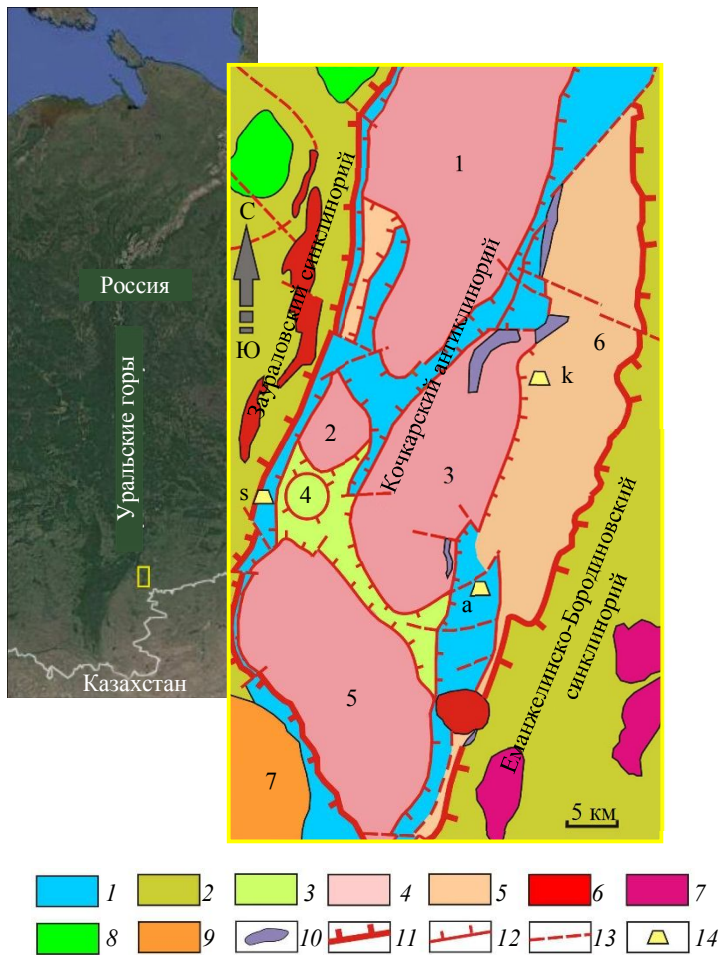


Рис. 1. Географическое положение (а) и схематическая геологическая карта площади (б) (Государственная геологическая карта СССР домезозойских образований, Среднеуральская серия, масштаб 1:200 000, 1981 г.)

1 – мраморы, мраморизованные известняки (C_1v); 2 – вулканогенно-осадочная толща (S_2-D_2); 3 – кристаллические сланцы, иногда с кианитом, силлиманитом, ставролитом ($S_1l_3?$); 4 – гнейсы, амфиболиты, граниты двуслодные (C_3-P_1); 5 – плагиограниты, гранодиориты (D_3-C_1); 6 – граниты (C_1); 7 – гранодиориты (C_1); 8 – габбро (S_1); 9 – сиениты, граносиениты, щелочные граниты ($C_{1,2}$); 10 – ультрабазиты серпентинизированные ($S_1?$); 11 – надвиги; 12 – границы купольных структур (Pz_3); 13 – тектонические нарушения; 14 – месторождения золота (s – Светлинское; а – Андреевское; к – Кочкарское); купола: 1 – Варламовский; 2 – Еремкинский; 3 – Борисовский; 4 – Светлинский; 5 – Санарский; интрузии: 6 – Пластовский; 7 – Степнинский

гранодиоритового плутона, пегматитовых и кварцевых жил в его апикальной части; на удалении от плутона формируются золото-шеелит-сульфидно-кварцевые жилы, сопровождаемые березит-лиственитовыми метасоматитами (C_1v-s);

- формирование золототеллуридной мантийной минерализации (C_2m-P_1);
- супергенная стадия с образованием коры выветривания и крупных золотых россыпей (M_Z-K_Z).

Считается, что месторождение контролируется пересечением субмеридионального Светлинского надвига и Санарского глубинного разлома [13, 24]. Основной упор сделан на надвиг как рудоподводящую и рудовмещающую структуру. Данный надвиг протягивается вдоль всего западного борта Кочкарского антиклинория (около 140 км), что делает его перспективным на поиски новых месторождений золота.

Альтернативная точка зрения высказана А.Ю.Кисиным и В.А.Коротеевым [25], объясняет минерагению Кочкарского антиклинория, включая золото, с позиции модели блоковой складчатости. Согласно этой модели, Кочкарский антиклинорий является блоком положительного изгиба

Светлинское месторождение золота приурочено к тектонической границе Заураловского синклиория на западе и Кочкарского антиклинория на востоке (рис.1). Восточное крыло синклиория имеет ширину 10-22 км с падением слоистости пород на запад под углами 15-60° [19, 20]. Протяженность антиклинория в субмеридиональном направлении достигает 140 км при ширине до 27 км. Границей между этими двумя структурами служит надвиг западного падения, заложенный в позднем девоне [21]. Считается, что вулканогенно-осадочные толщи девон-силурийского возраста, слагающие синклиорий, надвинуты на фаунистически охарактеризованные раннекаменноугольные терригенно-карбонатные породы краевой части антиклинория.

Существующие представления о геологическом строении и генезисе месторождения сложились на анализе результатов геологоразведочных работ 1970-1985 гг. и в соответствии с научными представлениями того времени. Наиболее детальное и полное их изложение дается В.Н.Сазоновым и др. [13, 22] и уточнено в статьях [4, 23]. Согласно этим исследователям, месторождение полигенное и полихронное, сформированное в пять этапов:

- накопление терригенных и вулканогенно-кластических пород с повышенным кларком Au (D_3f-C_1v);
- низкоградиентный зеленокаменный метаморфизм с рассеянным перераспределением сульфидов (C_1t);
- метаморфизм в условиях амфиболитовой фации, связанный с коллизией, и формирование синорогенного тоналит-



коры, возникшим в результате позднепалеозойской коллизии. В процессе деформаций, метаморфизма, метасоматизма формируются гранитогнейсовые купола, золото накапливается в породах меж- и околокупольных структур. В таком случае зона надвига прямого отношения к размещению месторождений золота не имеет.

Ежегодный мониторинг Светлинского карьера авторами статьи с 2009 г. и изучение геологии месторождения методами структурной геологии и кинематического анализа позволили собрать новые фактические материалы и уточнить данную геолого-генетическую модель.

Результаты исследований. На самых верхних горизонтах восточного борта карьера выявлены оползневые структуры в темных битуминозных мраморизованных известняках, содержащих фауну криноидей, одиночных кораллов, наutilusов и других органических остатков, характерных для S_1v . Сохранились даже газоводные карманы – щелевидные полости на границах грязевых потоков (рис.2, а). Иногда встречаются мелкие линзы кварцито-песчаников (рис.2, б), что указывает на поступление в мелководный морской бассейн терригенного материала. В других случаях оползневые структуры наблюдаются в появлении линз светлого, причудливо деформированного мраморизованного известняка на фоне темного. Угол падения потоков достигает $60-70^\circ$ в западных румбах. С глубиной степень метаморфизма известняков резко возрастает, и уже через 20 м они представлены мрамором, но с сохранением рисунка оползневых структур. Пока такие структуры в мраморе прослежены до глубины около 100 м.

Контакт карбонатных пород с вулканогенно-осадочной толщей неровный как по простиранию, так и по падению. Иногда тела мрамора деформируют слои вулканогенно-осадочных пород с образованием антиклинальных складок поперечного изгиба. Такие складки наблюдались на верхних горизонтах карьера. Контакты резкие, обычно субвертикальные, $\pm 10-20^\circ$. Вулканогенно-осадочные толщи в контакте сильно изменены гидротермально-метасоматическими процессами и аргиллизированы. Достоверно здесь диагностируются только талькиты, тела их многочисленны, но мощность редко достигает 0,5 м. Породы сильно рассланцованы. Мелкие трещины скалывания и подвороты указывают на подъем восточного блока, сложенного мрамором.

В западной части карьера вскрыты терригенно-вулканогенные полосчатые породы, падающие на запад под углом $50-60^\circ$. Полосчатость минеральная, кристаллизационная и, вероятно, отражает кливаж разлома надвига), а не седиментационную слоистость. Часто наблюдаются маломощные тела талькитов, залегающие либо согласно с наблюдаемой полосчатостью пород, либо в виде крутопадающих секущих тел мощностью до нескольких метров. Тела серпентинитов встречаются реже талькитов, мощность тел достигает 30 м. Падение крутое на запад, секущее полосчатость. В контакте с серпентинитами иногда наблюдаются талькиты и крупнозернистые актинолитовые породы [13].

Рудные тела на месторождении представлены зонами гидротермально-метасоматической переработки вулканогенно-осадочной породы вблизи контакта с терригенно-карбонатной толщей. Основная рудоносная зона, выделенная по результатам опробования, расположена в 50-80 м к западу от контакта мрамора с вулканитами. Простирание зоны субмеридиональное, протяженность 80-120 м при ширине около 10 м (в раздувах до 20-25 м), падение западное под углом $70-80^\circ$ (на верхних горизонтах падение было пологое и даже менялось на восточное). На месторождении известно еще несколько рудных зон меньшего масштаба. Границы зон неотчетливые. Минеральный состав золотоносных метасоматитов подробно описан в источниках [1-4, 13, 17]. В осевой части основной рудной зоны обычно наблюдаются вторичные кварциты, сопровождаемые плагиоклаз-кварц-биотитовыми метасоматитами с сульфидной минерализацией. Породы местами рассланцованы и деформированы. Трещины скалывания, подвороты,

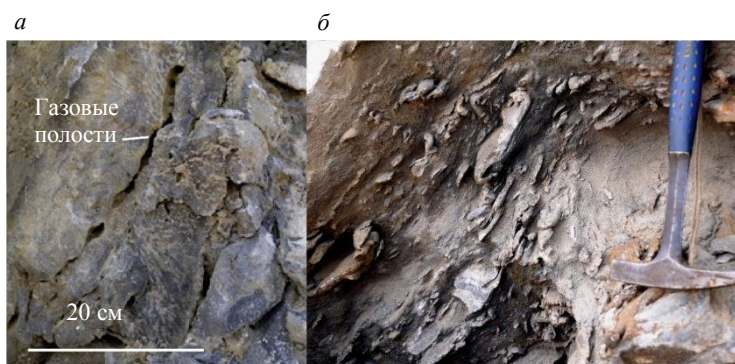


Рис.2. Оползневые структуры в мраморизованных известняках с щелевидными полостями (а) и линзочками кварцито-песчаника (б) (известняк подвергся карстованию)



ступеньки и валы, трещины растяжения указывают на подъем восточного бока (рис.3). Источник давления располагался на глубине, северо-восточнее (линейность в виде ступенек и валов падает на юг под углом 15-30°).

На месторождении распространены кварцевые жилы. По структурным особенностям залегания в рудной зоне и за ее пределами выделено три типа жил [26, 27]:

- субмеридиональные крутопадающие (азимут простирания 270-280°, угол падения 70-80°) на запад;
- субширотные, падающие на север (азимут простирания 270-280°, угол падения около 70°, (самые многочисленны);
- субмеридиональные, падающие на запад под углом около 30° (самые мелкие и редкие) (рис.4).

Жилы первого типа обычно сближенные, располагаются с интервалом 5-20 см, мощностью до 10 см, редко более. Жилы секут тела вторичных кварцитов по простиранию, контакты неотчетливые. Кварц сильно катаклазирован. Ориентировка трещин скалывания в кварце и вмещающих породах указывает на подъем восточного бока.

Вторая система представлена множеством субширотно ориентированных субпараллельных кварцевых жил линзовидной формы, секущих рудную зону. Азимут простирания 270-280°, угол падения около 70° на север. Средняя мощность жил 10-15 см, расстояние между жилами от 15-20 см до 1 м (рис.4), редко более. Протяженность жил по вертикали и по горизонтали не установлена, кроме мелких тел кулисообразного залегания. Наибольшее их количество наблюдается в пределах рудного тела, но и за его пределами они также распространены. По отчетливо выраженной линзовидной форме жил предполагается, что кварц здесь выполнял трещины скалывания с растяжением, связанные, вероятно, с малоамплитудным взбросом северного борта. Субширотные жилы кварца секут субмеридиональные жилы рудной зоны и вторичные кварциты, но и сами подвергались деформациям. Кварц крупнозернистый, молочно-белый. В зальбандах обычна биотитизация пород и сульфидная минерализация.



Рис.3. Структурный рисунок тектонической зоны указывает на выдвигание восточного борта вверх. Вид на юг. Светлинский карьер, 2020 г.

Третью систему образуют мелкие линзы кварца субмеридионального простирания, падающие на запад под углом 35-45°. Они появляются лишь на отдельных участках рудной зоны. Мощность их всего 1-2 см, а протяженность достигает 1 м. Форма отчетливо линзовидная (рис.4), что позволяет отнести их к трещинам растяжения. Взаимоотношения с субширотными жилами не ясны. По внешним признакам кварц данных жил не отличается от кварца субширотных жил.

Третью систему образуют мелкие линзы кварца субмеридионального простирания, падающие на запад под углом 35-45°. Они появляются лишь на отдельных участках рудной зоны. Мощность их всего 1-2 см, а протяженность достигает 1 м. Форма отчетливо линзовидная (рис.4), что позволяет отнести их к трещинам растяжения. Взаимоотношения с субширотными жилами не ясны. По внешним признакам кварц данных жил не отличается от кварца субширотных жил.

Обсуждение. Субмеридиональный разлом (зона надвига), вскрытый карьером, разделяет две крупные структуры: Заураловский и Кочкарский антиклинории (см. рис.1, б). Согласно геологическому разрезу, построенному по результатам разведочного колонкового бурения, силур-девонские отложения надвинуты на раннекаменноугольные отложения. Предполагалось, что к пересечению надвига глубинным разломом северо-западного простирания и приурочено месторождение [13, 24]. Разлома северо-западного простирания в карьере авторами статьи не обнаружено. Зона надвига в карьере подтверждается многочисленными



Рис.4. Типы кварцевых жил в Светлинском карьере
1 – субмеридиональная зона вторичных кварцитов и сближенных кварцевых жил (в плоскости изображения); 2 – субширотные жилы кварца; 3 – субмеридиональные мелкие жилы западного падения

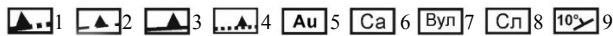


Рис. 6. Дешифрирование космоснимка окрестностей Светлинского месторождения золота

1 – Светлинский надвиг; 2 – тектоническая граница терригенно-карбонатных пород с кристаллическими сланцами; 3 – границы купольных структур; 4 – граница межкупольной депрессии, вмещающая поле пегматитов; 5 – Светлинское месторождение золота; 6 – терригенно-карбонатная толща; 7 – кристаллические сланцы со ставролитом и амфиболиты; 8 – вулканогенно-осадочная толща; 9 – элементы залегания сланцеватости

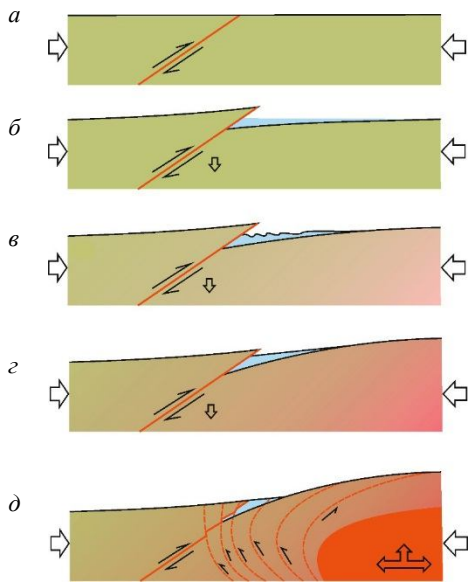


Рис. 7. Схема геологического развития площади, прилегающей к Светлинскому надвигу: *a* – начало коллизии и заложение надвига D₃; *б* – опускание лежачего бока надвига и появление мелководного морского бассейна D₃-C_{1v}; *в* – формирование блока положительного изгиба и образование оползневых структур C₁; *г* – разогрев пород в ядре антиклинория, региональный метаморфизм C; *д* – подъем разогретого пластичного материала, формирование куполов и зонального метаморфизма, преобразования зоны надвига (образование флюидоподводящих каналов) C₂

в обрамлении всех гранитогнейсовых куполов Кочкарского антиклинория в мраморах встречаются рубины, красная шпинель, розовый топаз, флюорит, турмалин, флогопит, хромсодержащий мусковит (фуксит), хромпаргасит. В Андреевском карьере, расположенном на восточном крыле Борисовского купола, в мраморе встречаются агрегаты золота до 10 мм в поперечнике [31]. Отметим также сходство биотитов «табашек» Кочкарского месторождения золота (северо-восточное обрамление Борисовского купола) с биотитами рудного тела Светлинского месторождения [32].

Таким образом, геологические факты указывают на генетическую связь Светлинского месторождения золота с одноименным куполом. Однако некоторые исследователи связывают данное месторождение рудного золота с Санарским массивом [33], хотя структурный контроль с ним не установлен.

По результатам исследований можно сделать некоторые выводы в отношении формирования месторождения. В результате начавшейся уральской коллизии в позднем девоне сформировалась система глубинных надвигов противоположного падения с изгибающими моментами и деформацией коры по модели блоковой складчатости [25]. Таким надвигом западного падения был и Светлинский надвиг (рис. 7, *a*). Опускание его лежачего бока сопровождалось возникновением мелководного морского бассейна (рис. 7, *б*), быстро заполнявшегося терригенно-карбонатными осадками (D₃-C_{1v}). Прогрессирующее опускание блока, изменение наклона дна бассейна и, возможно, землетрясения сопровождалось образованием многочисленных оползневых структур, приводящих к увеличению мощности осадков (рис. 7, *в*). Разогрев пород в ядре растущего антиклинория в условиях стресса вызывал региональный метаморфизм, перемещение флюида и разогревых пластичных масс вверх, куполообразование (рис. 7, *г*) и гранитизацию с выносом Ca, Mg, Fe, Si и ряда других химических элементов, включая Au [28, 34, 35]. Так, по нашим представлениям, появились Санарский, Борисовский, Еремкинский гранитогнейсовые купола, ставшие центрами зонального метаморфизма амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. В непосредственной близости от надвига сформировался небольшой Светлинский купол, создавший термобарическое градиентное поле (C₂). В зону динамического влияния купола попал и прилегающий



участок Светлинского надвига. В результате этого надвиг испытал деформации и осложнился серией субвертикальных взбросов субмеридионального простирания, контролирующих вторичные кварциты и сопровождающие их биотитовые метасоматиты (рис.7, д); одновременно возникали многочисленные крутопадающие субпараллельные трещины растяжения широтного простирания с синтетектоническим заполнением жильным кварцем. Исходя из суммарной мощности кварцевых жил второй системы, субмеридиональное растяжение пород наблюдаемого борта карьера местами составляло 15-20 %. Растущий Светлинский купол поднимал и отдельные крупные блоки мрамора, которые деформировали амфиболовые и биотитовые метасоматиты (см. рис.5). К концу карбона уральская коллизия завершилась [36, 37], и надвиг потерял активность.

На коллизионном этапе золото могло быть мобилизовано при гранитизации и отложиться в зоне базификации (в обрамлении гранитогнейсовых куполов). Это подтверждается широким распространением россыпного золота на меж- и околокупольных участках в Кочкарском антиклинории. Снятие стрессовых напряжений при переходе от коллизионного этапа к постколлизионной релаксации привело к падению всестороннего давления и началу пневматолито-гидротермальной стадии. В апикальной части Светлинского купола и на его склонах формировалось месторождение горного хрусталя. В результате гидротермально-метасоматических процессов, включая аргиллизацию, золото могло испытать переотложение с образованием промышленных концентраций. Постколлизионный этап завершился, вероятно, в ранней юре, с началом пенепленизации территории.

Выводы. Формирование Светлинского месторождения золота началось в позднем девоне, когда на коллизионном этапе произошло заложение надвига западного падения, породившего изгибающие моменты, опускание блока коры в его лежачем боку с образованием мелководного морского бассейна, быстро заполняющегося терригенно-карбонатными осадками. В зоне надвига наблюдаются метаморфизм в условиях низов зеленосланцевой фации за счет фрикционного тепла, кливаж разлома, перекристаллизация, формирование кварц-биотит-серицитовых сланцев. Фокусировка изгибающими моментами тектонической энергии горизонтального сжатия привела к формированию антиклинория, разогреву пород в его ядре с последующим выжиманием вверх и образованием куполов. Процесс сопровождался метаморфизмом и гранитизацией. Надвиг оказался в зоне динамического влияния растущего Светлинского купола и испытал дополнительные деформации, а породы зоны надвига подверглись гидротермально-метасоматическим преобразованиям. Предполагается, что гранитизация обусловила накопление золота в метаморфическом обрамлении купола, а последующие гидротермальные процессы привели к его перераспределению и формированию месторождения. На постколлизионном этапе надвиг потерял активность, и часть золота и теллура могли привноситься по зоне надвига из нижней коры и верхней мантии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергер Р.В., Федосеев В.В., Сараскин А.В. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы АО «ЮГК» на Южном Урале // Горный журнал. 2017. № 9. С. 6-11. DOI: 10.17580/gzh.2017.09.01
2. Федосеев В.В., Гаджиева Л.А. Опыт и результаты переоценки золоторудных месторождений Челябинской области для открытой разработки и выщелачивания путем понижения бортового содержания // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 328-339. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-328-339
3. Федосеев В.В., Рябов Ю.И., Гаджиева Л.А. Переоценка золоторудных месторождений Челябинской области – основа развития минерально-сырьевой базы АО «ЮГК» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 4. С. 547-560.
4. Vikent'eva O., Prokofiev V., Borovikov A. et al. Contrasting Fluids in the Svetlinsk Gold-Telluride Hydrothermal System, South Urals // Minerals. 2020. Vol. 10. № 37. DOI: 10.3390/min10010037
5. Shackleton J.M., Spry P.G., Bateman R. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia // The Canadian Mineralogist. 2003. Vol. 41. P. 1503-1524.
6. Kelley K.D., Romberger S.B., Beaty D.W. et al. Geochemical and geochronological constraints on the genesis of Au-Te Deposits at Cripple Creek, Colorado // Economic Geology. 1998. Vol. 93. P. 981-1012. DOI: 10.2113/gsecongeo.93.7.981
7. Spry P.G., Foster F., Truckle J.S., Chadwick T.H. The mineralogy of the Golden Sunlight gold-silver telluride deposit, Whitehall, Montana, U.S.A. // Mineralogy and Petrology. 1997. Vol. 59. P. 143-164. DOI:10.1007/BF01161857
8. Ahmad M.N., Solomon M.V., Walshe J.L. Mineralogical and geochemical studies of the Emperor gold telluride deposit, Fiji // Economic Geology. 1987. Vol. 82. P. 345-370. DOI: 10.2113/GSECONGEO.82.2.345
9. Pals D., Spry P. Telluride mineralogy of the low-sulfidation epithermal Emperor gold deposit, Vatukoula, Fiji // Mineralogy and Petrology. 2003. Vol. 79. P. 285-307. DOI: 10.1007/S00710-003-0013-5
10. Cooke D.R., McPhail D. Epithermal Au-Ag-Te mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Numerical simulations of mineral deposition // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 109-131. DOI: 10.2113/GSECONGEO.96.1.109



11. Ciobanu C.L., Cook N.J., Capraru N. et al. Mineral assemblages from the vein salband at Sacarimb, Golden Quadrilateral, Romania: I. Sulphides and sulphosalts // Mineralogy and Petrology. 2005. Vol. 43. P. 47-55.
12. Bortnikov N.S., Murzin V.V., Sazonov V.N., et al. The Svetlinsk gold-telluride deposit, Urals, Russia: Mineral paragenesis, fluid inclusions and stable isotope studies // In Mineral Deposits: Processes to Processing, Proceedings of the Fifth Biennial SGA Meeting and the Tenth Quadrennial JAGOD Symposium, 22-25 August 1999, London, UK. Rotterdam, The Netherlands: Balkema Publishers, 1999. Vol. 1. P. 21-24.
13. Сазонов В.Н., Попов Б.А., Григорьев А.Н. и др. Корово-мангитное оруденение в саллических блоках эвгеосинклинали. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 113 с.
14. Bortnikov N.S. Geochemistry and origin of the ore-forming fluids in hydrothermal-magmatic systems in tectonically active zones // Geology of Ore Deposits. 2006. Vol. 48. P. 1-22. DOI: 10.1134/S1075701506010016
15. Сначёв В.И., Рыкус М.В. Геология и история формирования Светлинскогозолото-сульфидного месторождения (Восточно-Уральское поднятие) // Нефтегазовое дело. 2013. Т. 11. № 2. С. 10-16.
16. Тевелев А.В., Кошелева И.А. Геологическое строение и история развития Южного Урала (Восточно-Уральское поднятие и Зауралье). М.: Изд-во Московского государственного университета, 2002. 124 с.
17. Vikent'eva O.V., Bortnikov N.S. The large Svetlinsk Au-Te deposit, South Urals: Telluride mineralization for genetic reconstructions // Proceedings of the 13th SGA Biennial Meeting, 24-27 August 2015, Nancy, France. 2015. Vol. 2. P. 851-854.
18. Грязнов О.Н., Баранников А.Г., Савельева К.П. Нетрадиционные типы золото-аргиллизитового оруденения в мезозойских структурах Урала // Известия Уральского государственного горного университета. 2007. Вып. 22. С. 41-53.
19. Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. I. Геологическое описание. Книга 2. М.: Недра, 1969. 304 с.
20. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание 2-е. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-XIII (Пласт). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2018. 205 с.
21. Кейльман Г.А., Болтыров В.Б., Бурьян Ю.И., Горожанкин В.Т. К вопросу о структурной эволюции Кочкарского антиклинория (Ю. Урал) // Геология метаморфических комплексов Урала: труды Свердловского Ордена трудового красного знамени горного института им. В.В.Вахрушева. 1973. Вып. 91. С. 38-45.
22. Sazonov, V.N., Herk van A.H., Boorder de H. Spatial and Temporal Distribution of Gold Deposits in the Urals // Economic Geology. 2001. Vol. 96. P. 685-703. DOI: 10.2113/96.4.685
23. Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals // 12th Biennial SGA Meeting, 12-15 August 2013, Uppsala, Sweden. P. 1508-1511.
24. Огородников В.Н., Сазонов В.Н., Поленов Ю.А. Минерагения шовных зон Урала. Ч. 1. Кочкарский рудный район (Южный Урал). Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 2004. 216 с.
25. Кисин А.Ю., Коротеев В.А. Блоковая складчатость и рудогенез. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии им. А.Н.Заварицкого УрОРАН, 2017. 346 с.
26. Бурмистров А.А. Основные палеотектонические этапы формирования структуры Светлинского золоторудного месторождения (Южный Урал) // Сборник тезисов докладов. Ломоносовские чтения. Секция геологии. М.: Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, 2021. С. 4-7.
27. Кисин А.Ю., Притчин М.Е. Разрывная тектоника на Светлинском месторождении золота (Южный Урал) и ее рудоконтролирующая роль // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. Т. 3. № 28. С. 34-42. DOI: 10.17072/psu.geol.28.34
28. Кисин А.Ю., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. и др. Роль Светлинской гранито-гнейсовой купольной структуры в образовании кварцево-жильных месторождений (Южный Урал) // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. Вып. 4 (56). С. 7-19. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-4-53-63
29. Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Томилина А.В., Притчин М.Е. Рубин-сапфир-шпинелевая минерализация в мраморах Среднего и Южного Урала: геология, минералогия, генезис // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 4. С. 385-402. DOI: 10.7868/S0016777016040031
30. Кисин А.Ю., Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Томилина А.В. Первая находка благородной шпинели на Светлинском месторождении горного хрусталя (Южный Урал) // Известия Уральского государственного горного университета. 2015. Вып. 3 (39). С. 21-27.
31. Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Притчин М.Е. Золото в мраморах Светлинского карьера (Южный Урал) // Труды Института геологии и геохимии им. акад. А.Н.Заварицкого. 2017. № 164. С. 223-226.
32. Сазонов В.Н., Мурзин В.В. Кочкарские табашки и Светлинские метасоматиты фемического профиля – генетические родственники (Южный Урал) // Труды Института геологии и геохимии им. акад. А.Н.Заварицкого. 1995. № 142. С. 97-98.
33. Kisters A.F.M., Meyer F.M., Seravkin I.B. et al. The geological setting of lode-gold deposits in the central Southern Urals: A review // Geologische Rundschau. 1999. Vol. 87. P. 603-616. DOI: 10.1007/s005310050234
34. Летников Ф.А. Рудогенерирующая сущность процессов гранитизации и металлогения гранито-гнейсовых куполов // Металлогения раннего докембрия СССР. Л.: Наука, 1984. С. 57-65.
35. Белявцев Я.Н., Буряк В.А., Кулиш Е.А. и др. Метаморфогенное рудообразование в докембрии. Закономерности размещения и поисковые критерии метаморфогенных месторождений. Киев: Наук. думка, 1986. 188 с.
36. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 30-63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032
37. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 4-29.

Авторы: А.Ю.Кисин, д-р. геол.-минерал. наук, заведующий лабораторией, <https://orcid.org/0000-0002-4020-3182> (Институт геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия), М.Е.Притчин, инженер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0002-4544-6781> (Институт геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия), Д.А.Озорнин, инженер-исследователь, tr.ozornin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8254-8162> (Институт геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.