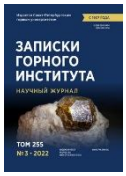
ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Journal of Mining Institute

Сайт журнала: pmi.spmi.ru



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_1v), 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 постколлизионной 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, Cr-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 ИГГ 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. отрабатывается 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: эпитермальные, 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].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 369-376
DOI: 10.31897/PMI.2022.46
© А.Ю.Кисин, М.Е.Притчин, Д.А.Озорнин, 2022

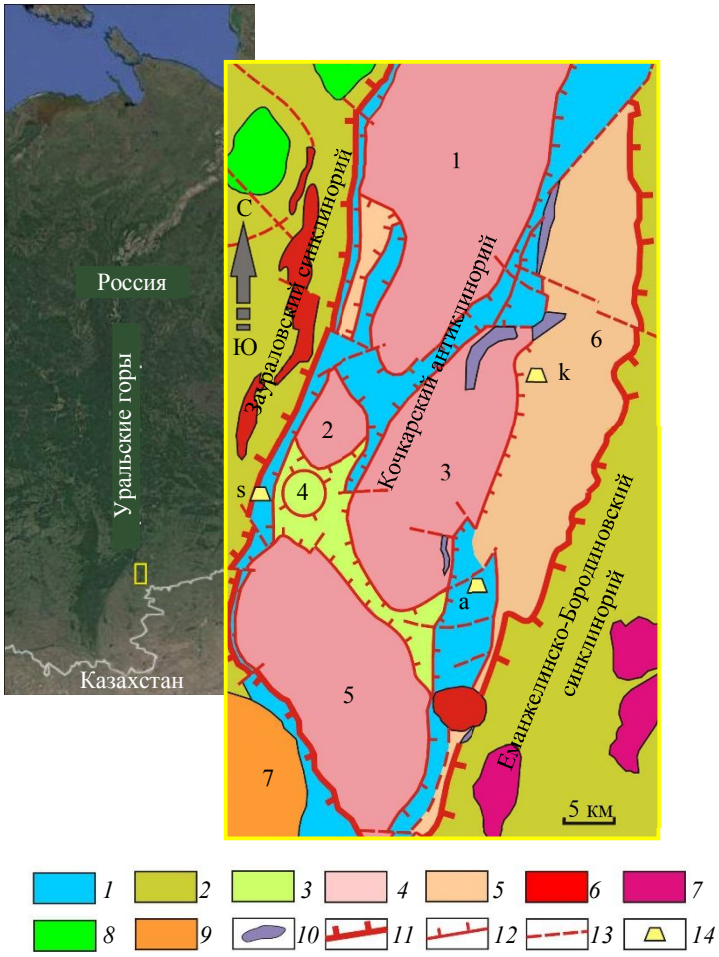


Рис.1. Географическое положение (*а*) и схематическая геологическая карта площади (*б*) (Государственная геологическая карта СССР домезозойских образований, Среднеуральская серия, масштаб 1:200 000, 1981 г.)

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 двуслюдяные (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; a – Андреевское; k – Кочкарское); купола: 1 – Варламовский; 2 – Еремкинский; 3 – Борисовский; 4 – Светлинский; 5 – Санарский; интрузии: 6 – Пластовский; 7 – Степнинский

Светлинское месторождение золота приурочено к тектонической границе Зауралловского синклинория на западе и Кочкарского антиклинория на востоке (рис.1). Восточное крыло синклинория 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 синклинорий, 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-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

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2022.46

Записки Горного института. 2022. Т.255. С. 369-376
© А.Ю.Кисин, М.Е.Притчин, Д.А.Озорнин, 2022

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, наутилусов и других органических остатков, характерных для C_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° 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, ±10-20°. 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°. 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° (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,

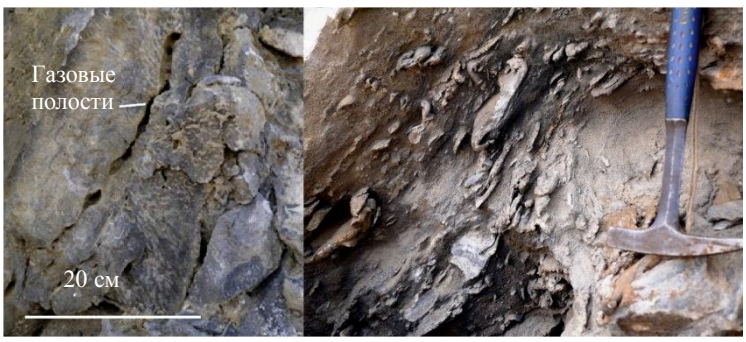


Рис.2. Оползневые структуры в мраморизованных известняках с щелевидными полостями (*а*) и линзочками кварцито-песчаника (*б*) (известняк подвергся карстованию)

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 369-376 DOI: 10.31897/PMI.2022.46
© А.Ю.Кисин, М.Е.Притчин, Д.А.Озорнин, 2022

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 многочисленные);
- 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.

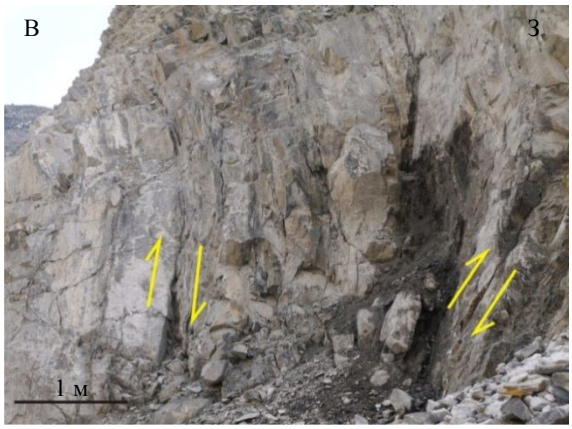


Рис.3. Структурный рисунок тектонической зоны указывает на выдвижение восточного борта вверх. Вид на юг. Светлинский карьер, 2020 г.



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

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: Зауральский 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

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.31897/PMI.2022.46

Записки Горного института. 2022. Т.255. С. 369-376
© А.Ю.Кисин, М.Е.Притчин, Д.А.Озорнин, 2022

телами серпентинитов и талькитов, распространенными непосредственно к западу от мраморов. Падение полосчатости пород в западном борту карьера 50-60° на запад, что, вероятно, соответствует кливажу разлома (надвига). Но вблизи мраморов полосчатость тонкая, а падение субвертикальное, что нельзя объяснить надвигом. Трещины скалывания и подвороты указывают на выдвижение мрамора вверх.

Рудное тело также имеет очень крутое падение на запад 70-80°, что уже не соответствует зоне надвига. Наблюдается тенденция увеличения углов падения рудной зоны с увеличением глубины карьера. На верхних горизонтах месторождения залегание тела было пологое и даже имело восточное падение, что при геологоразведочных работах объяснялось просадкой при развитии Mz-Kz карста и кор выветривания. По результатам исследований в карьере построен новый разрез по линии 13 (рис.5). На рис.6 показаны результаты дешифрирования космоснимков ближайшего окружения месторождения, которые поясняют наш подход к построению разреза. Согласно результатам дешифрирования, в двух километрах к северо-востоку от месторождения расположена апикальная часть Светлинского купола, контролирующая месторождение горного хрусталя [24, 27, 28], протягивающегося на запад до границы мраморов. Юго-восточное крыло купола крутое (угол падения сланцеватости 50-60°), а западное и юго-западное – пологие (угол падения сланцеватости 10-20°, вблизи мраморов 40-45°). Уровень метаморфизма пород в куполе достигал эпидот-амфиболитовой или низов амфиболитовой фации по распространению волокнистого силлиманита). По биотит-гранатовому геотермобарометру температура метаморфизма составляла 580-630 °С при давлении до 3,2 кбар [24]. Ложковые неогеновые россыпи горного хрусталя на куполе и его западном склоне золотоносные [24]. Карстовые отложения восточного контакта мраморов отработаны на золото. В протолочках мраморов Светлинского карьера в установлено рудное золото гидравлической крупности в ассоциации с мусковитом, F-флогопитом, Cr-паргаситом, флюоритом, розовым топазом, горным хрусталем, самородной серой, пирротином, пиритом, сфалеритом. Ближе к Светлинскому куполу, в восточной части тела мрамора, появляется красный корунд (рубин) [29, 30], что указывает на более высокие PT-условия метаморфизма, чем на участке, вскрытом карьером. Примечательно, что

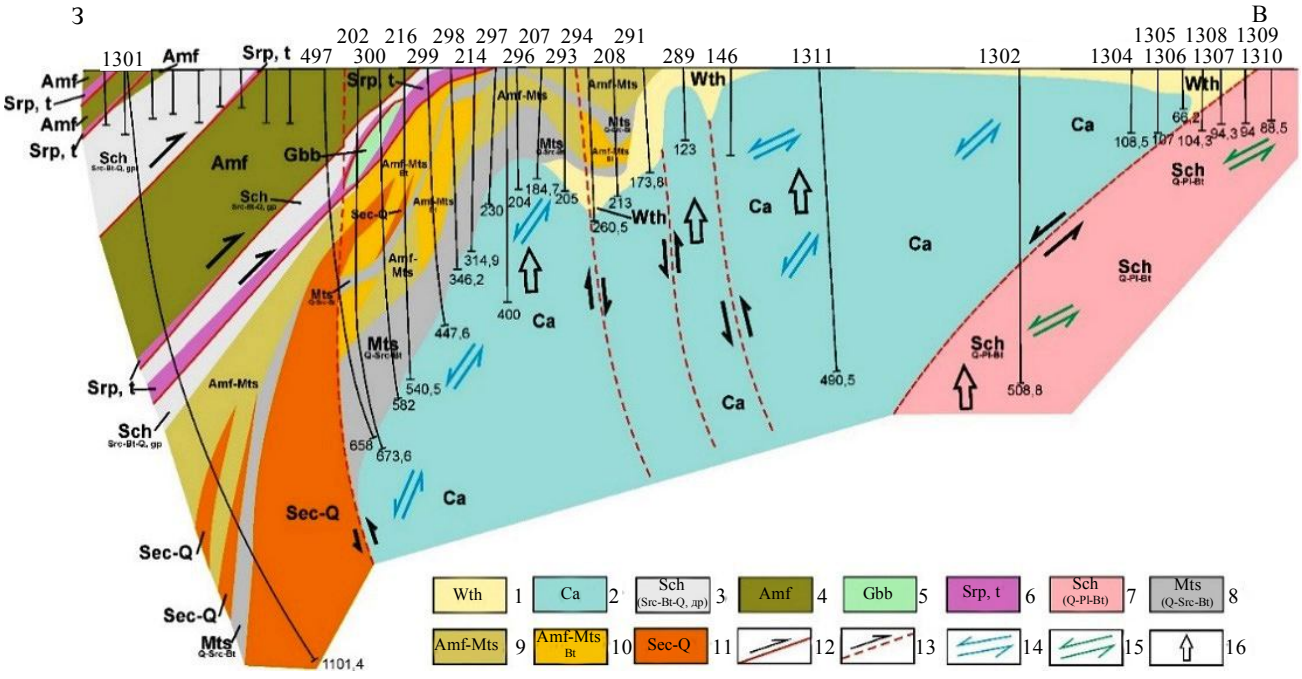


Рис.5. Схематический геологический разрез по линии 13 скважин колонкового бурения с учетом структурных исследований в Светлинском карьере

1 – карстовые отложения и бесструктурные коры выветривания; 2 – мрамор и мраморизованные известняки (C_1v); 3 – серицит-биотит-кварцевые и углистые сланцы (S_1-D_2); 4 – амфиболиты аповулканитовые (S_1-D_2); 5 – габбро метаморфизованное (с наложенной амфиболитизацией, эпидотизацией и хлоритизацией); 6 – талькиты, серпентиниты; 7 – кварц-плагиоклаз-биотитовые сланцы с альмандином и ставролитом; 8 – кварц-серицит-биотитовые метасоматические породы милонитизированные; 9 – амфиболиты метасоматические; 10 – амфиболиты метасоматические биотитизированные; 11 – вторичные кварциты; 12 – надвиг; 13 – тектонические нарушения, связанные с купольной структурой; 14 – кливаж в мраморе и направление сдвига; 15 – сланцеватость пород и направление сдвига; 16 – направление движения блоков пород

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2022. Т. 255. С. 369-376
DOI: 10.31897/PMI.2022.46
© А.Ю.Кисин, М.Е.Притчин, Д.А.Озорнин, 2022



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

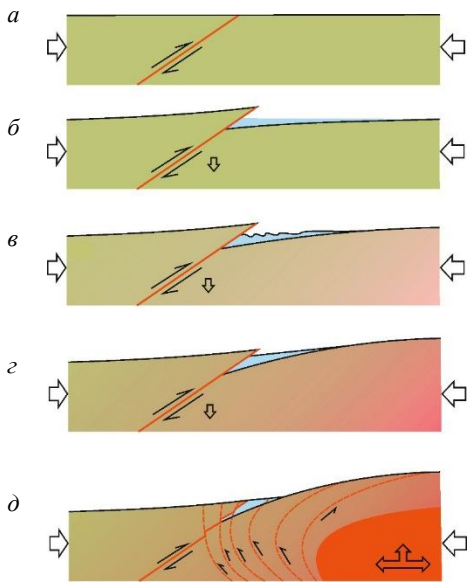


Рис.7. Схема геологического развития площади, прилегающей к Светлинскому надвигу: *а* – начало коллизии и заложение надвига D_3; *б* – опускание лежачего бока надвига и появление мелководного морского бассейна D_3-C_1; *в* – формирование блока положительного изгиба и образование оползневых структур C_1; *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) C_2

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, *а*). Опускание его лежачего бока сопровождалось возникновением мелководного морского бассейна (рис.7, *б*), быстро заполнявшегося терригенно-карбонатными осадками (D_3-C_1v). Прогрессирующее опускание блока, изменение наклона дна бассейна и, возможно, землетрясения сопровождались 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 разогретых 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 (C_2). В зону динамического влияния купола попал и прилегающий

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

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 синтектоническим 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. Постколизионный 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

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

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 Proceessing, 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-мантийное оруденение в салических 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 гранитогнейсовой 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. Рудогененрирующая 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, mr.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.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0