

МИНЕРАГЕНИЯ

УДК [550.4:553.411](571.5)

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИИ, ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕЗИС УЛАХАН-СИССКОГО, КУЛАРСКОГО И ХАРАУЛАХСКОГО ЗОЛОТОРУДНЫХ УЗЛОВ ВЕРХОЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

И.Я. Некрасов, Г.Г. Лихойдов, Л.П. Плюснина, Т.В. Кузьмина

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

Рассмотрены особенности золоторудной минерализации в углеродсодержащих осадочных толщах северо-западной части Верхоянской складчатой области. С целью оценить влияние метаморфизма на перераспределение углерода и золота в процессе генезиса месторождений в диапазоне 20–500°C под общим давлением 1 кбар изучена хемосорбция Au на углеродистом веществе (УВ). Установлено, что сорбционная емкость ароматизированного УВ растет параллельно температуре, а накопление Au в черносланцевых толщах определяют металлоуглеродные связи типа Au – С. Сделан вывод о сингенетично-эпигенетическом характере описанных месторождений, что позволяет отнести их формирование к осадочно-флюидно-метаморфогенному типу.

**Ключевые слова:** золото, оруденение, черные сланцы, битумоиды, разложение органики, Верхоянский хребет.

В последнее десятилетие резко возрос интерес геологов к углеродсодержащим комплексам, вмещающим благороднометалльную минерализацию. В этом плане пока еще слабо изученной остается северо-западная часть Верхоянской складчатой области, примыкающая к Сибирскому кратону. В структурном отношении Хараулахский, Улахан-Сисский и Куларский рудные узлы входят в Верхоянский складчато-надвиговый пояс Верхояно-Колымской орогенной области (рис. 1). Улахан-Сисский узел шириной 10–15 км расположен на левом побережье р. Яны и протягивается в субмеридиональном направлении на 100 км. Он занимает центр Улахан-Сисского горст-антиклинария, западная часть которого сложена тарбаганнахской свитой нижней перми мощностью 1900–2200 м. Свита представлена переслаиванием углисто-глинистых и алевролит-глинистых сланцев с двумя пачками полимиктовых песчаников. Выше согласно залегает туогучанская свита алевролит-глинистых сланцев верхнего отдела перми мощностью 750–900 м. Наиболее крупные рудопроявления тяготеют к верхним горизонтам тарбаганнахской свиты [19]. Триас представлен индским, оленекским и анизийским отделами. Индский и анизийский сложены углисто-глинистыми сланцами, оленекский – мелкозернистыми песчаниками. Разрез перекрыт мощной кайнозойской корой выветривания, формирование которой началось в эоцене, продолжилось в раннем и среднем олигоцене, миоцене (омо-

лойская свита) и закончилось в раннем плиоцене. Наиболее интенсивно кора выветривания развивалась по зонам дробления и представлена ныне каолинит-гидрослюдистым минеральным типом. Ее общая мощность в палеодолинах ручьев Улахан-Онкучах, Мархай-Юрэгэ, Иэкийэс, на правой террасе рек Бургуата и Улахан-Кюгулюра достигает 45–50 м. Содержание россыпного золота в коре выветривания достигает: в классе до 0,001 мм – 1–5 г/т и 0,01–0,1 мм – до 100 мг/т.

В своде Улахан-Сисской субмеридиональной горст-антиклиналии установлена положительная гравитационная аномалия, предположительно фиксирующая на глубине 1–2 км купол нескрытой интрузии гранитоидного состава. Параллельно аномалии в том же направлении прослежена зона пирротинизации с густой сетью кварцевых прожилков. Юг Улахан-Сисской структуры прорван Солурским штоком биотитовых гранитов, имеющим в плане форму овала длиной 670 и шириной 630 м, длинная ось которого ориентирована на север. Шток пересекается пятью дайками длиной от 2,5 до 3 м, две из которых сложены лампрофиром, а три – диоритовым порфиритом. Вокруг гранитов сформировался ореол контактово-метасоматических биотитовых роговиков мощностью 350–400 м с тончайшими кварцевыми и кварцево-сульфидными прожилками. Возраст золото-кварцевого оруденения догранитный [8].

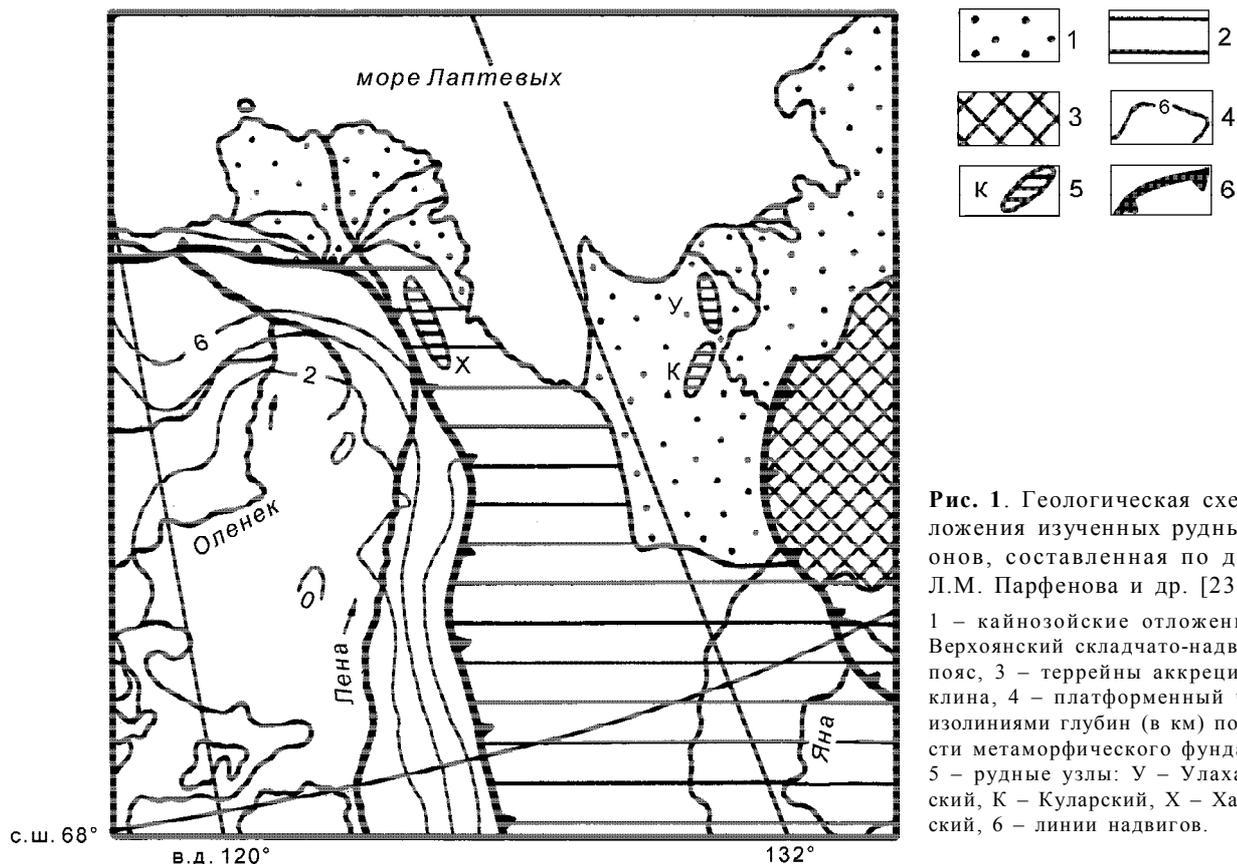


Рис. 1. Геологическая схема положения изученных рудных районов, составленная по данным Л.М. Парфенова и др. [23].

1 – кайнозойские отложения, 2 – Верхоянский складчато-надвиговый пояс, 3 – террейны аккреционного клина, 4 – платформенный чехол с изолиниями глубин (в км) поверхности метаморфического фундамента; 5 – рудные узлы: У – Улахан-Сисский, К – Куларский, Х – Хараулахский, 6 – линии надвигов.

Геология и минеральный состав Куларского золоторудного узла детально описаны в работах [1, 10, 12]. В рудах золото-кварцевых месторождений зафиксирована следующая последовательность формирования минеральных ассоциаций: арсенопирит-пирит-кварцевая → золото-полиметаллическая → кальцитовая. На золото-серебряных месторождениях этот ряд приобретает вид: арсенопирит-пирит-кварцевая → сульфосолюно-полиметаллическая → каолинит-кальцитовая. К центру рудного поля тяготеют золото-серебряные месторождения Кюсентай, Мастах и Альфа, последнее из которых заслуживает особого внимания. Оно размещается в зоне дробленых графит-углеродистых сланцев, слабо сцементированных битуминозным цементом, и протягивается примерно на 3 км, при мощности 7–15 м. Месторождение приурочено к триасовому горизонту углеродистых сланцев, содержащих от 30 до 80 мг/т золота, и является стратиформным [15]. Диагенез и последующий метаморфизм перераспределили золото и углерод отложений. Обильный графитизированный материал сланцев содержит до 2,3–4,8 г/т золота. Эпизодически в углеродистых сланцах фиксируются штокверковые зоны дробления с сериями кварцевых жил мощностью до 2,7 м, удаленных друг от друга на 3–20 м. По сути, подобные участки представляют со-

бой рудные столбы, где содержание золота и серебра достигает 25–30 г/т и 3 кг/т, соответственно. Участки наиболее продуктивного золото-серебряного оруденения обогащены углеродистым веществом (УВ). Концентрация углерода в подобных зонах дробления составляет 1,5–3,5, в отдельных случаях – до 10 вес.%. Нерудные компоненты жил – кварц и кальцит с обломками графит-углеродистых сланцев составляют 60–65% их объема, остальное приходится на долю сульфидов и сульфосолей. Количество золота, связанного с углеродистым и битуминозным веществом, составляет, по нашим данным, около 5 г/т. Присутствие в подобной обстановке темно-серого кварца с обильными включениями тонкокристаллического арсенопирита и графитизированного УВ служит поисковым признаком тонкодисперсного золота. Минералы серебра и позднего золота (кюстелит, айтенбогардит, петровскит) отложились на низкотемпературной стадии гидротермального процесса в количестве до 130–200 г/т.

Золото-серебряное месторождение Мастах расположено к югу от месторождения Альфа на восточном фланге Джуотукского рудного узла. Вмещающие его породы представлены известковистыми и углистыми алевролитами с повышенным содержанием углерода [12]. В 13 км к юго-западу от месторождения обнаже-

ны граниты Кэрэхского массива, с которыми, по-видимому, связан метаморфизм вмещающих пород в РТ-условиях фации зеленых сланцев. Основная рудовмещающая структура – Мастахский региональный сдвиг северо-восточного простирания. Проявления золоторудной минерализации контролируются Куйгинской системой сбросо-сдвигов северо-западного простирания. Зона минерализации приурочена к сложной системе кварцевых жил, пересекающих милонитизированные, графитизированные и пиритизированные сланцы. Золото-серебряное оруденение приурочено к гидротермалитам лежащего бока тектонической зоны. Золото здесь низкопробное, серебристое с примесью мышьяка, сурьмы и ртути. Отличительная особенность месторождения Мастах – наложенный рудогенез, вызванный внедрением дайкового комплекса риолит-трахидацитового состава в позднем мелу – палеогене [12]. Все это обусловило полигенный и полихронный генезис месторождения. Южнее, по мере удаления от очага метаморфизма, зона дробления затухает и содержание золота в рудных телах заметно снижается.

Количество жил и минерализованных зон дробления на месторождениях резко возрастает вблизи центра Улахан-Сисского золоторудного узла. Здесь появляются рудные участки с концентрацией золота в десятки г/т, соответствующие по запасам месторождениям средней величины. Некоторые из них уже сейчас рентабельны. Пять месторождений – Кыллахское, Лево-Бургуатское, Право-Бургуатское, Эстакадное и Эмисское отнесены к группе легко осваиваемых. Наиболее крупное и разрабатываемое – Кыллахское – приурочено к северо-восточному нарушению, ориентированному по простиранию углисто-битуминозных сланцев. Кварцевые жилы с золотом развиты здесь в зонах межпластовых срывов. Рудные столбы тяготеют к местам пересечения жил с зонами крутопадающих нарушений. Длина первой жилы достигает 1100 м, второй и третьей – 870 и 780 м, соответственно. Мощность первой жилы колеблется от 3,8 до 4,1 м, второй и третьей составляет 2,5–2,7 м. Все они прослежены бурением на глубину 340 м, при этом с глубиной мощность жил возрастает до 4,6 м. Строение жил полосчатое, что предполагает участие коллоидных растворов в формировании подобных рудных тел. Не исключено также внедрение в систему трещин кремнекислотного раствора-расплава, цементирующего обломки дробленых песчаников и углисто-битуминозных сланцев, доля которых составляет от 5 до 25% объема жилы. На месторождении Кыллах, помимо трех жил и двух зон дробления со средним содержанием золота 27 г/т и около 12 г/т, соответственно, слабая минерализация затронула также зону смятия длиной более 2 км и шириной до 20 м. Куларский рудный узел распола-

гается к югу от Улахан-Сисского и объединяет пять месторождений золота в 5–7 км друг от друга. В цокольной террасе прииска Кулар обнаружена широтная зона дробления, которую на расстоянии 260 м сопровождает жила мощностью до 2,7 м с содержанием золота от 50 до 240 г/т. Менее протяженные жилы, но с более высоким содержанием золота обнаружены также на других месторождениях. В частности, на Право-Бургуатском – три коротких (240, 180 и 85 м) маломощных рудных тела содержат золото в количестве 43, 46 и 35 г/т, соответственно. На Эстакадном и Эмисском рудных полях встречено полтора десятка жил и зон дробления, которые детально не изучались. Опробование шести жил Эстакадного месторождения позволило установить в них золото в количестве от 5 до 18 г/т. Значительная часть этих жил и зон дробления переходит в мощные (5–8 м) штокверковые тела с пониженным содержанием таких компонентов, как Au, Pb, Zn и др. Среди песчаников и углисто-глинистых сланцев Эмисского рудного поля развиты зоны смятия, насыщенные маломощными прожилками кварца с богатой вкрапленностью пирита, халькопирита, галенита, сфалерита и других минералов. Мощность их, включая обломки ксенолитов с каемками сульфидов и золота, не превышает 1,5 м.

В долине реки Онкучах и по ручью Улахан-Онкучах на протяжении 1200 м вскрыта мощная крутопадающая зона дробления меридионального простирания, включающая 4 жилы на расстоянии 5–7 м друг от друга. В 12 м от зоны дробления вскрыта бурением и прослежена горными выработками жила антимонита с высоким содержанием золота (табл. 1). Совокупность этой и четырех других сульфидно-кварцевых жил позволяет выделить самостоятельный рудный Улахан-Онкучахский узел. Материал четырех меридиональных сульфидно-кварцевых жил включает от 15 до 25 объем.% сланцев в виде обломков сечением 5–35 см. Местами вокруг последних фиксируются узкие каемки пирита, халькопирита, галенита, иногда золота. Собственно жильный материал представлен кварцем двух генераций: темным, насыщенным пиритом, и прозрачным – хрусталевидным. Одна из сульфидно-кварцевых жил мощностью 3–3,5 м, с многочисленными ксенолитами и сульфидами по зальбандам прослежена бурением на 450 м по простиранию. Три другие, примерно одинаковой мощности (1,5–1,7 м), протягиваются вдоль зоны по всей её длине. Все жилы крутопадающие (70–75°), вдоль антимонитовой жилы прослежен сброс. Палеодолина, где расположен рудный узел, выполнена каолиновой корой выветривания мощностью 20–30 м с россыпным золотом и аутигенным фосфатом – куларитом ( $\text{LaPO}_4$ ), содержание которого достигает 4 кг/м<sup>3</sup>. В россыпях Улахан-Сисского района этот

Таблица 1. Содержание золота (г/т) в минералах разных золоторудных полей.

Месторождение*	Минерал	Мин.	Макс.	Среднее	N
Урусалах	пирит	0,3	30	9	24
Альфа	пирит	0,3	12	6	17
Кыллах	пирит	0,2	9	7	37
Хараулах	пирит	0,06	25	17	11
Кыллах	арсенопирит	3	87	33	24
Урусаллах	арсенопирит	28	257	135	76
Альфа	арсенопирит	8	42	21	12
Онкучан	антимонит	578	649	624	5
Правый Бургат	халькопирит	64	74	69	6
Кыллах	галенит	7	114	74	10
Хараулах	битумы	50	52	51	2
Хараулах	иллит	0,003	0,007	0,005	3

Примечание: \* - пробы сульфидов отбирались из кварцевых прожилков в черных сланцах на месторождении Альфа; из углеродсодержащих сульфидизированных алевролитов на рудопроявлении Хараулах; из кварцевых прожилков, секущих измененные углеродистые алевролиты, в остальных случаях; N - число проб.

Спектрохимический анализ выполнен в Институте геологии ЯФ РАН, аналитик В. С. Сукнев.

минерал – спутник золота [18] образует мелкие овальные зерна в сростках с карбонатом до 0,3 см. Самая богатая россыпь куларита прослежена в зоне Улахан-Онкучанского разлома и содержит до 5–7 г/м<sup>3</sup> золота.

Улахан-Сисскому рудному полю в целом свойственна тенденция укрупнения золотых зерен от ранних генераций к поздним. При этом наиболее ранние генерации золота ассоциируют с криптозернистым арсенопиритом. Укрупнение выделений золота коррелируется с таковым зерен кварца, арсенопирита, антимонита, сфалерита, блеклых руд, галенита и киновари. Параллельно выделения золота меняют пластинчатый облик на лепешковидный, приобретая, наконец, ромбододекаэдрический габитус. В руде Онкучанских жил эмульсионно-вкрапленное золото цементируют антимонит, тонкозернистый арсенопирит, ртутистое золото с антимонитом и киноварью. Пробность золота в Улахан-Сисском узле постепенно снижается в направлении от ранних стадий формирования залежей к более поздним, что наиболее свойственно Кючюскому месторождению. Здесь пробность золота в ассоциации с мелким (2–3 мм) арсенопиритом составляет 920–940, понижаясь до 780 в присутствии более крупных его зерен. На заключительной стадии гидротермального процесса вместе с галенитом и карбонатом отлагается золото 720–800 пробы.

По восточному обрамлению Сибирской платформы, на северо-западе Верхоянской складчатой области, от посёлка Хамныр на реке Омолой до моря Лаптевых простирается Хараулахский рудно-россыпной золотоносный узел. Рудный участок Дьянды представлен зоной интенсивной тектонической проработки с серией кварцевых жил и прожилков. В направлении главной Хараулахской горст-антиклинали кроме него на удалении 0,2–0,7 км друг от друга располагаются еще 5 аналогичных зон смятия и раз-

вальцевания. Все они локализованы в графитовых и углисто-глинистых сланцах пермского возраста. В пределах наиболее изученного участка Дьянды обнажается зона шириной 100 и длиной до 700 м, включающая сильно перетертые кварцевые жилы. Всего в зоне смятия можно говорить о 6 рудных телах, расположенных с промежутками 2,5–3,5 м друг от друга, при мощности 1–1,7 м, которые мы называем ловушками. Одно из них, мощностью 1,7 м, прослежено на 120 м. Содержание Au в названной серии тел по данным сплошного опробования менялось от 3 до 134 г/т, составляя в среднем из 124 проб – 12 г/т. На Au опробована также зона шириной около 100 м прокварцованных битуминозных глинистых сланцев и овоидных фосфоритов, вскрытая у обрывов ручья Дьянды. Всего здесь отобрано 160 проб, 87 из которых содержали Au. Из числа последних в 64 концентрации Au менялась от 2 до 8, составляя в остальных 0,5–1 г/т. Эти линии сплошного опробования позволяют считать зону в ручье Дьянды перспективной на мелкое до дисперсного золота. Подобные зоны окварцованных милонитов известны практически на всем расстоянии до поселка Няйда на побережье моря Лаптевых.

Содержание Au в минералах пород из золоторудных полей рассматриваемых районов сведено в табл. 1. В Хараулахских углисто-глинистых битуминозных сланцах обычно присутствует иллит, и некоторая часть дисперсного золота может быть связана с ним. Таким образом, несмотря на то, что многие образцы, взятые в ходе сплошного опробования, видимого золота не обнаружили, связь его с углстыми и глинистыми составляющими позволяет считать милонитизированные углисто-глинистые сланцы в целом перспективными на золото.

Названные месторождения и проявления золота иллюстрируют приводимые ниже общие признаки комплексных месторождений благородных металлов

в углеродсодержащих терригенных толщах, рассмотренные работой [11]:

- приуроченность оруденения к определенным стратиграфическим толщам и горизонтам углеродсодержащих пород;
- локализация оруденения в горстовых купольных структурах, осложненных системами разрывных нарушений;
- проявление гранитоидного магматизма в сопровождении даек повышенной основности диоритового и лампрофирового рядов;
- зеленосланцевый и дозеленосланцевый метаморфизм дислоцированных терригенных толщ;
- формирование зон гидротермального изменения с повышенной золотоносностью.

При оценке генезиса подобных месторождений роль источника углерода и его участие в концентрировании благородных металлов на этапах седиментации, диагенеза и метаморфизма вызывают особый интерес [3, 26, 27 и др.]. Сегодня способность органического УВ сорбировать золото в этих условиях уже не вызывает сомнения у большинства исследователей. Однако мнения о влиянии метаморфизма на сорбционную активность УВ противоречивы. В.Г. Петров [20] на примере золотоносных докембрийских толщ Енисейского кряжа показал, что степень накопления золота в терригенных образованиях связана с литологическим типом седиментогенеза и возрастает в направлении от глубоководных фаций к прибрежным. Внутри каждой из них количество золота, органическая, глинистая составляющие и содержание осадочно-диагенетических сульфидов увеличиваются параллельно. Хемосорбция в процессе осадконакопления сама по себе не создает промышленных концентраций. Последние инициируются более поздним перераспределением УВ и металлов в ходе динамотермального метаморфизма. По мнению В. А. Буряка [3, 4], влияние метаморфизма на сорбцию золота УВ неоднозначно. Он полагает, что присутствие УВ способствует локализации аллохтонных рудных тел, являясь поставщиком металлов, но считает, что с усилением степени метаморфизма сорбционная емкость УВ в отношении металлов уменьшается. А. А. Сидоров и И. Н. Томсон [27], напротив, полагают роль эндогенного источника углерода и золота ведущей.

Углеродистые золотоносные толщи в целом характеризуют неравномерное распределение золота. Локализация промышленных концентраций наблюдается в пределах термокупольных структур. Формирование последних характеризуют наибольшие градиенты температуры, интенсивности метаморфических и метасоматических процессов, которые ремобилизуют и перераспределяют золото. Всё это

обуславливает полигенный и полихронный характер золоторудной минерализации [2, 13].

Для выяснения характера связи золотоносности с метаморфизмом УВ мы экспериментально изучили хемосорбцию золота на УВ в диапазоне 20–500°C под общим давлением 1 кбар. В качестве модельного УВ были выбраны асфальтены (Ас) состава (мас.%): С – 75,13; O<sub>2</sub> – 18,10; H<sub>2</sub> – 6,54 и асфальтогеновые кислоты (Ак): С – 71,58; O<sub>2</sub> – 19,98; H<sub>2</sub> – 6,87. Эти разности преобладают в битумоидах, фракционированных из углей, составляя 75-80 мас.%, и характеризуются максимальной сорбционной емкостью [28]. Предварительный анализ исходных Ас и Ак не обнаружил в их составе Au. Опыты выполнены методом, описанным нами ранее [16, 17, 22]. В продуктах опытов УВ предварительно фракционировали в спирто-бензоле на растворимую фракцию (РФ) и нерастворимый остаток (НО) – кероген. Содержание золота в обеих фракциях определяли атомно-абсорбционным анализом с точностью 20 отн.%, результаты сведены в табл. 2.

С помощью ИК-спектроскопии в обеих фракциях УВ изучено влияние температуры на изменение их структурного состояния в ходе опытов. С увеличением температуры растут степень ароматизации исходных алифатических УВ, их дегидрогенизация и интенсивность науглероживания керогена. Температурную деструкцию УВ сопровождает вынос значительной части газообразных углеводородов, органических эфиров и кислот, формирующих в итоге гидротермальный мобилизат, в который при 500°C уходит до 90 вес.% исходных Ас и Ак (рис. 2). Потери Ак при термолизе выше, чем Ас, что связано с большей степенью окисленности первых. Это объясняет процесс осветления рудоносных метасоматитов, который описан на многих месторождениях золота в черных сланцах [9, 21]. В итоге нарушается прямая корреляция между концентрациями золота и угле-

**Таблица 2. Концентрация золота (г/т) в растворимой фракции и нерастворимом остатке после опытов.**

Т, °С	Тип УВ	РФ	НО	τ
20	Ак	0,847	-	816
20	Ас	0,541	-	816
200	Ак	8,89	32,11	624
300	Ак	28,56	906,20	336
400	Ак	11,87	1000,76	240
400	Ас	11,83	709,2	240
500	Ак	25,2	3743	168

Примечание: τ - длительность опыта в час. РФ - растворимая фракция, НО - нерастворимый остаток, Ак - асфальтогеновые кислоты, Ас - асфальтены. Анализ выполнен атомно-абсорбционным методом на приборе "Hitachi", аналитик Кузьмина Т. В. (ДВГИ ДВО РАН).

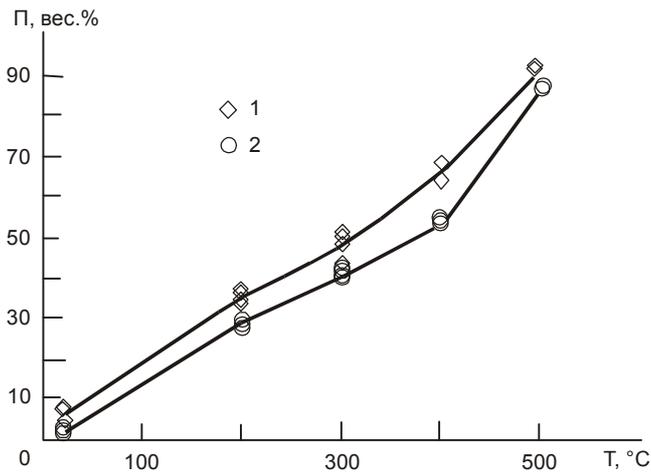


Рис. 2. Потери веса битумоидов в зависимости от температуры ( $P_{\text{общ}} = 1$  кбар).

1 — асфальтеновые кислоты; 2 — асфальтены.

рода в породах [26]. Анализ табл. 2 свидетельствует, что сорбционная емкость углеводородов меняется в зависимости от их структурного состояния. Так, концентрация сорбированного золота в растворимой фракции УВ практически не зависит от температуры. Это обстоятельство связано с тем, что фракция представлена, главным образом, насыщенными углеводородами низкого молекулярного веса. В керогене, сорбционная емкость которого значительно выше (табл. 2), концентрация золота возрастает при нагревании от 200 до 500 °С на два порядка, что сопровождается увеличением степени ароматизации и конденсации УВ. В опытах при 400 °С кероген еще сохраняет до 10% структурных алифатических групп, тогда как при 500 °С он сложен уже графитом низкой степени упорядоченности, и на его ИК-спектрах полосы поглощения углерод-кислород-водородных связей отсутствуют. Тем не менее, сорбционная емкость керогена остается высокой в отношении золота — до  $n \cdot 10^{-2}$  моль Au на 1 кг УВ. ИК-спектры органических фракций позволили определить характер комплексообразования УВ с золотом. Ранее Г.М. Варшал и др. [5, 6] показали, что хемосорбция Au на УВ вызвана его комплексообразованием с функциональными кислородсодержащими группами CO и COOH. По нашим данным, этот тип связи преобладает лишь в случае РФ. В керогене ведущими являются металлоуглеродные связи, легко реализующиеся в местах парных соединений C=C. Эти реакции присоединения имеют экзотермический характер, и поэтому их продукты наиболее устойчивы к термолизу [25]. В отношении карбонильных и функциональных карбоксильных групп ранее было показано, что увеличение срока хранения РФ на порядок уменьшает в ней концентрацию

благородных металлов вследствие разрушения таких комплексов [22]. Слабая устойчивость этих групп при нагревании и в ходе кислотной обработки была отмечена в [6]. Более высокая степень устойчивости металлоуглеродных связей в конденсированных ненасыщенных углеводородах обусловлена, по-видимому, сближенностью ароматических слоев [22]. Таким образом, золото, сорбированное на керогене, представляет наиболее устойчивую его долю, которая в значительной мере определяет накопление благородных металлов в углеродистых толщах. Рассмотренное выше содержание Au в керогене намного превосходит известные средние для рудных углеродистых метасоматитов концентрации золота, что связано с гораздо более низким содержанием УВ в составе последних. Пересчет полученных в опытах концентраций Au на его содержание в УВ конкретных природных объектов дает весьма реалистичные значения. Так, содержание битумоидов в черных сланцах Енисейского кряжа составляет 0,01–0,001% при концентрации золота в них от сотен граммов до нескольких кг на тонну [20]. Наблюдения на месторождениях Улахан-Сисского и Куларского рудных узлов, где максимум концентрации Au отмечается в наиболее метаморфизованных графитизированных сланцах, соответствуют полученным нами экспериментальным результатам.

Рассмотренные особенности фракционирования УВ в ходе гидротермальных преобразований объясняют вовлечение органического углерода в метаморфизирующий флюид. Присутствие УВ генерирует восстановительную среду, а смешение эндогенных гидротермальных рудоносных растворов с олеофильными компонентами способствует иммобилизации металлов. Таким образом, УВ в ходе своей эволюции служит для металлов предрудным концентратом, транспортирующим агентом и осадителем из растворов. Известно, что УВ органического происхождения всегда имеет примесь серы [30] и в процессе его термолиза вместе с углеродом выгорает и сера, что нередко фиксирует повышенное содержание  $SO_3$  в черных сланцах [21]. Воздействие метаморфизирующих флюидов на углеродсодержащие толщи приводит к их сульфидизации, разрушению золотоорганических комплексов и осаждению золота на сульфиды. Присутствие золотоносных сульфидов характеризуют все известные черные сланцы, в том числе и углеродистые рудные метасоматиты, описанные выше. Таким образом, подтверждается представление В. А. Буряка [4] о том, что процесс формирования полигенной золотосульфидной минерализации включает в себя накопление углеродсодержащих осадков, последующий их диагенез, катагенез и метаморфизм. Наши данные по сорбции золота на Ас и Ак из ультраразбавленных водных растворов при

20 °С (табл. 2) подтверждают возможность сингенетического накопления Au на дне бассейнов в ходе длительной седиментации. Содержание золота в морской воде варьирует в широких пределах – от 0,001 до 0,5 мг/т [14]. В то же время, осадки многих внутренних морей обогащены золотом, что, частично, можно связать с высокой сорбционной активностью органического вещества. Эпигенетическую минерализацию рудных полей, связанную с сорбцией золота из гидротермальных растворов на УВ и сульфиды, отличает значительное колебание содержаний золота вплоть до появления ураганных значений в зонах циркуляции растворов при формировании рудных столбов, как, например, на месторождениях Альфа и Кыллах. Процессы мобилизации и перераспределения золота в углеродсодержащих толщах в условиях многостадийного рудообразования подтверждаются соотношением концентраций золота во вмещающих породах и рудных метасоматитах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные особенности геологического строения и геохимии золотых месторождений Верхоянской складчатой области позволяют считать их образование полигенным. Наиболее близким аналогом формирования подобных типов месторождений является «сингенетично-эпигенетический» в понимании В. Г. Гарьковца [7]. Эти месторождения принадлежат к стратиформным образованиям и связаны с определенными горизонтами углеродистых сланцев осадочного морского бассейна, в нашем случае – пермо-триасового возраста. Подобные «донорные» формации [24] получили свое название благодаря тому, что их седиментация проходит на фоне повышенной (более  $n \cdot 10^{-6} \%$ ) в отношении кларка концентрации золота в условиях сингенетичного накопления и углерода, и благородных металлов. Диа- и катагенез подобных толщ в дальнейшем приводят к появлению повышенных концентраций Au. Прогревание таких углеродсодержащих формирований сопровождается деструкцией УВ и мобилизацией во флюид растворимых низкомолекулярных битумоидов и углеродистых газов. Рассмотренные выше особенности разложения асфальтенов иллюстрируют значительные потери массы УВ при нагревании и генерацию олеофильного рудоносного мобилизата. При этом последний может выносить часть золота в виде золото-карбонильных и золото-карбоксылных комплексов. В то же время, значительное количество золота, образующее с ароматическими углеводородами более прочные металлоуглеродные связи (Au-C), будет концентрироваться в углеродистом керогене и сульфидах материнских пород. Аллохтонный мобилизат выполняет прожилки и формирует цемент графитизированных брекчий, развитых по рудоносным

метасоматитам в зонах разломов в виде так называемых «графитовых тектонитов» [9, 15]. Источником золота и, возможно, других полезных компонентов служат донорные формации, из которых они мобилизуются путем экстракции. Флюидно-магматические процессы перераспределяют золото, формируя всю гамму осадочно-флюидно-метаморфических полигенных и полихронных типов месторождений [29]. Рассмотренный механизм наиболее полно, по нашему мнению, описывает сложные условия генезиса месторождений северо-запада Верхоянской складчатой области, которой свойственно наложение поздних стадий гидротермальной минерализации. При этом возможен дополнительный привнос эндогенными флюидами углерода и золота, который, однако, не может существенно повлиять на золотое оруденение в черносланцевых комплексах.

Авторы благодарят главного научного сотрудника АмурКНИИ, доктора геолого-минералогических наук Леонида Владимировича Эйриша за конструктивные замечания и советы, позволившие улучшить текст сообщения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амузинский В. А., Анисимова Г. С., Баландин В. А. Минералогия и геохимия золота Куларского района. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1988. 136 с.
2. Бакулин Ю. И. Месторождения тонкодисперсного золота невадийского типа – тип регенирированных первично-осадочных месторождений // Тихоокеан. геология. 1998. Т.17, № 6. С. 126–128.
3. Буряк В. А. Формирование золотого оруденения в углеродистых толщах // Изв. АН СССР. 1987. № 12. С. 94–105.
4. Буряк В. А. Проблема генезиса черносланцевых толщ и развитого в них золотого, платиноидного и прочих видов оруденения // Тихоокеан. геология. 2000. Т.19, № 1. С. 118–129.
5. Варшал Г. Б., Велюханова Т. К., Баранова Н. М. Взаимодействие золота с гумусовыми веществами природных вод, почв и пород // Геохимия. 1990. № 3. С. 316–322.
6. Варшал Г. М., Велюханова Т. К., Корочанцев А. В. и др. О связи сорбционной емкости углеродистого вещества по отношению к благородным металлам с его структурой // Геохимия. 1995. № 8. С. 1191–1199.
7. Гарьковец В. Г. О выделении Кызыл-Кумского типа сингенетично-эпигенетических месторождений // Докл. АН СССР. 1973. Т. 108, № 1. С. 163–165.
8. Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых поясов Северо-Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 1998. 210 с.
9. Ермолаев Н. Н., Созинов Н. А., Чиненов В. А. и др. Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев // Геохимия. 1995. № 4. С. 524–534.
10. Ивенсен Ю. П., Амузинский В. А., Невойса Г. Г. Строение, история развития магматизма и металлогении

- северной части Верхоянской складчатой зоны. Новосибирск: Наука, 1975. 320 с.
11. Коробейников А. Ф., Митрофанов Г. Л., Колпакова Н. А. и др. Платиноносность золоторудных месторождений и перспективы выявления промышленных типов золото-платиновых объектов в Сибири // Платина России. М.: АОЗТ Геоинформмарк, 1999. Т. 3. С. 260–274.
  12. Крашенинин В. Ф. О формационной принадлежности объектов золото-серебряного оруденения Джутукского рудного узла Куларского поднятия // Колыма. 1994. №1. С.8–9.
  13. Нарсеев В. А. О генезисе золото-сульфамидного оруденения в черносланцевых толщах // Руды и металлы. 1998. № 5. С. 70–75.
  14. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М.: Наука, 1991. 302 с.
  15. Некрасов И. Я. Особенности золото-серебряного месторождения Альфа в хребте Улахан-Сис // Докл. РАН. 1997. Т. 353, № 1. С. 97–99.
  16. Некрасов И. Я., Ефимова Н. Ф. Экспериментальное изучение золото-углеродистой системы в гидротермальных условиях // Докл. РАН. 1991. Т. 318, № 3. С. 724–726.
  17. Некрасов И. Я., Ефимова Н. Ф., Кузьмина Т. В. Экспериментальное изучение условий нахождения золота в углеродистом веществе // Докл. РАН. 1995. Т.340, №1. С. 95–97.
  18. Некрасова Р. А., Некрасов И. Я. Куларит – аутигенная разновидность монацита // Докл. РАН СССР. 1983. Т. 268, № 3. С. 688–692.
  19. Оксман В. С. Структурные исследования в Куларском хребте // Геология и рудоносность Якутии. Якутск: ЯГУ. С. 3–11.
  20. Петров В. Г. Золото в опорных разрезах верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформ. Новосибирск: Наука, 1976. 213 с.
  21. Плюснина Л. П., Головин В. Е. Фациальный анализ метаморфитов рудного поля Мурунтау // Минерал. журн. 1990. Т. 12, № 3. С. 46–58.
  22. Плюснина Л. П., Кузьмина Т. В. Экспериментальное изучение концентрирования платины битумоидами при 200–400 °С, 1 кбар // Геохимия. 1999. № 5. С. 506–515.
  23. Парфенов Л. М., Ветлужских Г. Н., Гамянин Г. Н. И др. Металлогеническое районирование территории Республики Саха // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 2. С. 18–40.
  24. Савчук Ю. С., Миркамалов Г. А., Ванесян Г. М. Магмо и рудогенерирующая роль субдукции // Минералогические флюиды (материалы международного симпозиума). Ташкент, 1998. С. 98–99.
  25. Сайкс Р. Механизмы реакций в органической химии. М.: Химия, 1991. 445 с.
  26. Сидоров А. А., Волков А. В. К проблеме роли углеродистого вещества в рудообразовании (Майское золоторудное месторождение, Центральная Чукотка) // Докл. РАН. 1999. Т. 362, № 2. С. 241–243.
  27. Сидоров А. А., Томсон И. Н. Условия образования сульфидизированных черносланцевых толщ и их металлогеническое значение // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 1. С. 37–49.
  28. Фридман И. Д., Файзуллина Е. Н., Ключева Н. Р. и др. Исследование взаимосвязи природы сорбционных свойств углеродсодержащих золотых руд и химические структуры углеродистых веществ // Журн. прикл. химии. 1982. Т. 55, № 1. С. 7–12.
  29. Чернышов Н. М., Коробкина Т. Л. Новый тип благороднометального оруденения Воронежской провинции // Платина России. М.: АОЗТ Геоинформмарк, 1995. Т. 2. С. 55–68.
  30. Юдович Э.А. Геохимические функции черных сланцев в эпигенетическом рудообразовании. Сыктывкар, 1991. 75 с.

Поступила в редакцию 3 мая 2000 г.

Рекомендована к печати Л.В. Эйришем

*I.Ya. Nekrasov, G.G. Likhoidov, L.P. Plusnina, T.V. Kuzmina*

### **Peculiarities of geology, geochemistry and genesis of Ulakhan-Sissky, Kular and Kharaulakh gold major zones, Verkhoyansk orogenic area**

Gold mineralization within carbon-bearing complexes of the northwestern part of the Verkhoyansk orogenic area are considered. To evaluate a temperature effect on redistribution of Au and C within enclosing rocks, chemical sorption of Au on organic matter (OM) was experimentally studied at 20–500 °C, 1 kb. It was ascertained that sorption capacity of OM increases with growing temperature and more stable Au-C complexation may be an effective mechanism of Au accumulation in the black shales. Syngenetic-epigenetic character of the gold deposits in the C-bearing rocks was proposed with assignment of those to sedimentary-fluid-metamorphogenetic type.