

А. В. Драгомирецкий, канд. геол.-мин. наук, доцент
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, Одесса-82, 65082, Украина

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИПЕРГЕННЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ СИСТЕМ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЗОЛОТА В ДОКЕМБРИИ (НА ПРИМЕРЕ УКРАИНСКОГО ШИТА)

Представлены результаты анализа и оценки геолого-генетических моделей гипергенных (выветривания и седиментогенеза) золоторудных систем докембрия на основе характеристик происхождения, генезиса и парагенезиса, а также особенностей поведения золота в этих условиях. Такие системы ответственны за формирование промежуточных коллекторов золота, которые рассматриваются как одни из важнейших источников докембрийского золота, переотложенного на более поздних этапах. Результаты палеорекострукции некоторых метаморфогенных золотосодержащих разрезов Украинского щита с использованием минералогических и петрохимических методов показали, что их первичный состав обусловлен специфическими геохимическими условиями раннего докембрия.

Ключевые слова: происхождение, генезис, парагенезис, выветривание, седиментогенез, палеорекострукция, докембрий.

Введение

В мировой практике литологический контроль концентраций золота приобретает все большее значение. Общеизвестна его роль в образовании россыпных месторождений, в том числе докембрийских конгломератов. В последние годы установлена и находит все большее подтверждение важная роль хемогенных и биохемогенных процессов в образовании золота [1]. Во всяком случае, можно считать определяющим значение органики в фанерозойских черносланцевых толщах, а также в некоторых докембрийских образованиях [2, 3]. Принципиальное значение имеют факты хемогенной концентрации золота в современных илистых отложениях (побережье Камчатки, северо-западный шельф Черного моря, побережье штата Орегон и другие) [4, 5].

Анализ данных по УЩ показывает определенную ассоциированность концентраций золота с древними конгломератами, углерод- и железосодержащими метаморфогенными толщами. Однако расшифровка генетической природы такой связи весьма затруднительна и в большинстве случаев отсутствует. С одной стороны, некоторые исследователи акцентируют внимание на метатерригенном характере золотоносных комплексов, но нельзя отрицать и возможную хемогенную их природу, связанную с проявлением специфических процессов слабой химической дифференциации вещества

земной коры в раннем докембрии. Этот вопрос требует специального рассмотрения и обсуждения, поскольку он во многом определяет эффективность поисков и разведки золоторудных коренных месторождений. В этой связи тема статьи *актуальна*.

Цель работы — дать характеристику и проанализировать геолого-генетические модели гипергенных золоторудных систем докембрия как возможных промежуточных коллекторов при последующем формировании золоторудных объектов Украинского щита. Для достижения этой цели были решены следующие *основные задачи*: а) определить общие условия формирования золотоносных пород; б) разработать модель выветривания как фактор рудообразования; в) разработать палеолитологические построения для определения местоположений золотоносных руд. Из содержания этих задач следует, что данная статья имеет важное *практическое значение*. Обоснование моделей выветривания и палеолитологической, использование и совершенствование при этом геологических положений рудообразования позволяет утверждать *теоретическое значение* статьи.

Фактический материал и методы исследований

Анализ геолого-генетических моделей базируется на большом фактическом материале (опубликованном и фондовом), в том числе и авторском, полученном при изучении отдельных докембрийских структур и золоторудных объектов Украинского щита. В качестве основных методов исследований автором широко использованы петрохимические и минералогические (генерационный анализ циркона) методы, позволяющие детально охарактеризовать первичный вещественный состав докембрийских золото-содержащих толщ с генетических позиций.

Общие положения

Известно, что крупнейшие месторождения золота на планете генетически связаны с метавулканогенно-осадочными толщами докембрийского возраста. Однако условия их формирования принципиально отличны от современных. Раннеархейский механизм накопления осадков характеризовался весьма специфическими условиями слабой гравитационной и химической дифференциации [6, 7]. Для них была характерна существенно восстановительная водородная атмосфера, где железо, марганец, золото и другие элементы энергично мигрировали в виде комплексных соединений типа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$. Сульфидная сера не окислялась. Обнаружение аутигенного пирита и органических веществ в цементе золотоносных конгломератов Витватерсранда указывает на значительные концентрации сернистых соединений и органики (типа серобактерий) и вероятность хемогенной природы части золота [8, 9]. Факты подтверждают, что значительную часть газовой фазы раннедокембрийской атмосферы составляли азот и углерод, мигрировавшие в восстановительных условиях при температу-

рах 370–150°C [10, 11]. В этих условиях при наличии примесей железа, мышьяка, цинка резко возрастала летучесть азота и золота, что вызывало неизбежное образование высокоподвижных цианидных комплексов типа $Au[HCN]$ и накопление золота в благоприятной среде специфических хемогенных или биохемогенных толщ [12]. Подтверждением этого являются результаты исследований, проведенных специалистами Дальневосточного геологического института РАН в 2000–2004 гг. [13], где на представительном геологическом материале с помощью сканирующего электронного микроскопа подтверждается наличие высокозолотоносных микробактериальных углеродистых матов, подстилающих золотосодержащие конгломераты бассейна Витватерсранд. При этом отложение золота являлось результатом взаимодействия органики и растворенного золота иловых вод путем репликации по биологической матрице.

Доля хемогенных пород в раннем докембрии была весьма значительна и составляла, по различным оценкам, не менее 25 %. Среди них железистые кварциты и джеспилиты, образовавшиеся в результате коагуляции растворов железа, составляли около 5 %. Хемогенные модели их формирования достаточно хорошо разработаны и обоснованы исследователями [8]. Остальные метакхемогенные осадки представлены кальцифирами, кварцитами, некоторыми амфиболитами и гнейсами. Позднее, с развитием процессов седиментации, появились осадки низкой степени дифференциации — метаграувакки. Механизм образования архейских хемогенных пород (кроме железистых кварцитов) практически не изучен и, возможно, связан со специфическим химическим выветриванием («растворением, разложением») первичного ультрабазит-базитового и/или иного субстрата в условиях первичной маловодной атмосферы. Этот механизм образования хемогенных осадков, как специфических продуктов переработки первичного субстрата протокоры, не противоречит механизмам, предложенным ранее [8, 14–16]. Некоторые авторы [17] считают, что концентрация золота в магнетитах железистых полосчатых роговиков и магнетит-амфиболовых роговиков с пирротинном (от следов до 10 мг/т) связана с совместным осаждением золота и железа из морской воды. Такие хемогенные осадки послужили той благоприятной средой, в которой происходило накопление тиоцианатов, растворов металлов и их восстановление. Таким образом, процессы раннедокембрийского выветривания и седиментогенеза играли важную роль в миграции и концентрации золота.

Анализ и обсуждение результатов

Изучение любой геологической, а особенно — геолого-генетической задачи сводится к решению так называемых обратных задач, т. е. таких задач, где известен результат, а пути его достижения неизвестны. В этих случаях при решении необходимо вводить последовательно, и в определенном иерархическом порядке, граничные условия, позволяющие часть свойств или признаков определенного уровня компетенции сделать детерминированными, или, как принято в геологии, типоморфными.

Очевидно, что наиболее общим, но вместе с тем и граничным, условием будет путь поступления энергии для геологического процесса, и таких путей существует только два: а) экзогенный и б) эндогенный. Реализация через работу этих энергий и приводит к формированию геологических объектов, которые и являются, с одной стороны, предметом нашего изучения, а с другой стороны, являются единственными свидетелями и фиксаторами геологических процессов. Вместе с тем эти потоки энергии позволяют функционировать неравновесным системам, которые с позиций термодинамики принято относить к открытым. Характер таких систем по степени их развития и направленности обычно оценивают величиной энтропии и величиной производства энтропии [18]. Причем если энтропия системы характеризует степень ее упорядоченности, то производство энтропии показывает направление развития системы к порядку или беспорядку.

Именно эти граничные условия и могут быть положены в начало систематики золоторудных объектов, целью которой является классификация их на геолого-генетических принципах. Таким образом, наиболее крупным таксоном классификации предлагается считать экзогенный и эндогенный комплексы, характеризующие основную энергетическую составляющую — внешнюю и внутреннюю, каждая из которых определяется своими ведущими энергетическими параметрами. Вторым таксоном выступают серии: гипергенная, седиментогенная, магматогенная и метаморфогенная. Серия подразумевает происхождение объекта как результат главного геологического процесса, развивающегося в этой части литосферы и приведшего к формированию золотого оруденения. Очевидно, что к таким происхождением можно отнести: 1) гипергенное и 2) седиментогенное, как следствие процессов, происходящих за счет внешней энергии; 3) магматогенное и 4) метаморфогенное, как следствие процессов, происходящих за счет внутренней энергии Земли.

В каждой паре происхождений один член характеризуется увеличением производства энтропии, т. е. усложнением системы за счет притока энергии, а второй — уменьшением этого показателя, т. е. упорядочением системы. Таким образом, в каждой паре присутствует прогрессивный и регрессивный члены.

С термодинамических позиций прогрессивный член каждой пары характеризуется повышением температуры и давления, а регрессивный — снижением этих параметров. Так, в эндогенной паре прогрессивными очевидно являются метаморфические объекты, а регрессивными — ультраметаморфические или магматические объекты. В экзогенной паре связь между термодинамическими параметрами не столь очевидна. Однако если вернуться к понятию производства энтропии и величине работы, реализованной в результате расхода энергии, то очевидно, что прогрессивным процессом будет процесс разрушения пород, т. е. выветривание (в нашем случае этот процесс удобнее называть гипергенезом), а регрессивным — процесс седиментогенеза и последующих процессов литификации пород.

Модель выветривания. Экзогенные условия раннего докембрия характеризовались специфическими процессами химической дифференциации,

обусловленными как эволюцией атмосферы, так и изменением характера процессов выветривания при выходе на поверхность более легких гранитизированных пород, а также существенно базитового субстрата.

Характеристика происхождения. На основании многочисленных исследований можно с определенной степенью достоверности утверждать, что наиболее вероятными условиями выветривания раннего архея были:

а) наличие метастабильной существенно базитовой оболочки (повсеместное обнаружение метаграувакков основного состава в метаморфогенных разрезах);

б) высокая концентрация CO_2 , первоначальная низкая концентрация O_2 , постепенное увеличение объема H_2O , приведшее к возникновению высокоагрессивной кислотной гидросферы. Пары диоксида углерода, азота, водорода и воды обеспечивали условия, при которых происходило химическое выветривание первичных базальтов.

Состав атмосферы. По мнению исследователей, главной химической реакцией газовых компонентов раннеархейской атмосферы, вызвавшей разложение базальтов, был процесс $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. Благодаря этому процессу концентрация CO_2 и H_2 постепенно уменьшалась при росте содержания CO . Позднее, в результате понижения температуры, стала возможной реакция $\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$ (графит) с образованием графитовых пород, а также образований типа «цианобактериальных матов» [13]. Эти процессы катализировались первичными базальтами литосферы, которые претерпевали существенные физико-химические превращения. Факты подтверждают, что значительная часть газовой фазы раннедокембрийской атмосферы составляли азот и углерод, мигрировавшие в восстановительных условиях при повышенных температурах. В условиях существования водородной атмосферы с высоким количеством CO_2 и водяного пара с примесью CO , CH_4 , NH_3 , H_2S , железо, марганец, золото и другие элементы энергично мигрировали в виде комплексных соединений типа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$.

Последними работами на Балтийском щите [19] установлено, что в раннем докембрии формировалась двухкомпонентная кора выветривания — верхняя, существенно глинистая, обогащенная калием, и нижняя — существенно кальциевая, при этом концентрация главных катионов незначительно превышала 10 мг/дм^3 при высокой концентрации катионов железа. Это указывает на более высокий окислительно-восстановительный потенциал докембрийских условий выветривания с благоприятными условиями для миграции золота.

Характеристика генезиса (группы). Механизм формирования пород действовал в условиях разряженной азотной раннедокембрийской атмосферы с низким парциальным давлением кислорода и повышенной кислотности ($\text{pH} < 5$). Происходило длительное и глубокое изменение ультрабазит-базитов. При этом формировалась зрелая кора выветривания сокращенного профиля, представленная зоной, близкой к зоне конечного гидролиза. Растворы щелочей, взаимодействуя с продуктами ультрабазит-базитового состава, образовывали нерастворимый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и посте-

пенно, при высоком парциальном давлении CO_2 , переводили кремнезем в коллоидный раствор.

Следует отметить определенную ритмичность корообразования в докембрии, выраженную в чередовании изверженных ультрабазит-базитов и продуктов их выветривания, преобразованных соответственно в амфиболиты, актинолититы и пироксениты, с прослоями магнетитовых, магнетит-пироксеновых и глиноземистых кварцитов. Мощность этих прослоев отражает длительность и глубину формирования исходных кор выветривания.

Поведение золота. Отсутствие кислорода в раннедокембрийской атмосфере существенно замедляло процессы химического выветривания пород основного состава, по различным оценкам составлявших до 60 % объема литосферы. В резко восстановительной обстановке золото и некоторые другие рудные компоненты накапливались в коре выветривания ультрабазит-базитовых пород.

В этих условиях резко возрастала летучесть азота и золота, что вызывало неизбежное образование высокоподвижных цианидных комплексов типа $\text{Au}[\text{HCN}]$. При высвобождении углерода, вплоть до формирования графитсодержащих пород, углерод освобождался из цианидных комплексов, приводя к коагуляции самородного золота, что могло бы способствовать формированию инфильтрационных гипергенных рудных тел. Это подтверждается наличием часто встречающегося парагенезиса графита с золотом в графитсодержащих гнейсах, сформированных на основе выветрелых базитов.

Характеристика парагенезиса (класса). Первоначальным парагенезисом (дометаморфическим) в этом случае будет самородное золото+графит+сидерит+магнетит+родохрозит с изоморфными переходами сидерит — родохрозит и коллоидами кремнезема. Степень изменения метаморфизмом такого парагенезиса зависит от фаций метаморфизма, как и способность части карбонатов, особенно железистых, сохраняться.

Таким образом, инфильтрационные гипергенные процессы приводили к формированию двухслойных первичных кор выветривания, верхний слой которых представлял собой граувакку, а нижний слой — химически обводненную существенно карбонатную толщу сидерофильных минералов. В верхней части этой толщи формировался узкий парагенезис самородного золота с графитом.

Седиментационная модель. Учитывая то, что глубины первичных океанических бассейнов были невелики, то и комплексы первичных осадков формировались в основном в прибрежной их части. Это обусловило накопление значительных количеств грубозернистых осадков с низкой степенью дифференциации.

Характеристика происхождения. В раннем протерозое (и/или в конце позднего архея) при увеличении количества свободного кислорода и значительного усилении процессов механической и химической дифференциации вещества и, в частности, процессов седиментации, появились мелководные осадки низкой степени дифференциации — гравелиты, аркозы, конгломераты и другие. Эти образования представляли собой слабо сорти-

рованные существенно гравелитовые продукты разрушения ультрабазит-базитов, хомогенных железисто-кремнистых образований и углеродистых пород архея. Они формировались в мелководных прибрежных условиях довольно узких морских бассейнов повышенной температуры и высокой химической активности водорода.

Характеристика генезиса. Температуры протоморей, вероятнее всего, колебались в пределах от 40 до 80°C, при этом активными компонентами были водородные соединения, в первую очередь, кислоты. В седиментогенный придонный слой поступали обломки базитовых пород, претерпевшие корообразование, и аутигенные минералы. Такая обстановка по крайней мере до начала протерозоя допускала преимущественное распространение сульфидных компонентов серы (H_2SO_3 , H_2SO_4), что подтверждает изучение включений в минералах.

В этих условиях также происходило бактериальное восстановление серы вплоть до H_2S , что способствовало формированию метастабильных сульфидных комплексов золота, возможно с железом типа грейгита, либо в форме гидросульфидных или тиоауратных комплексов типа $Au(HS)_2$. При этом основные компоненты базитов (Ca, Mg) выносились, а железо и марганец перераспределялись и накапливались.

Поведение золота. В этих осадках золото, а с появлением углекислоты — и уран, энергично мигрировало и накапливалось в нижнепротерозойских проторифтовых структурах. Обогащение толщ ураном и золотом происходило не только в результате осадочной дифференциации, но и при смешении рудоносных растворов с морскими водами. По мнению исследователей [20], накопление урана и золота прерывалось ростом щелочности морских вод вследствие сноса в них щелочных элементов из вышедших на поверхность и подвергшихся разрушению массивов гранитизированных пород и разрушения щелочных верхних горизонтов кор выветривания. Другим фактором, способствующим увеличению миграционной способности урана и золота и их рассеянию, являлся рост в атмосфере содержания кислорода.

Возможность терригенного и хомогенного образования золота неоднократно обсуждалась в литературе в связи с вопросом о поведении золота океанической воды в процессах осадконакопления. Анализ особенностей геохимии золота позволяет выделить наиболее подвижные формы золота — тонкодисперсную и растворенную в виде цианидов и сульфидов. При этом растворенные комплексы золота коагулировали. Коагуляция связана с повышением щелочности, увеличением роли натрия и калия в рудогенезе.

Характеристика парагенезиса. Формирующееся аутигенное золото парагенетически может быть связано с минералами группы глауконита и сульфидами железа (начиная от грейгита до пирита). Терригенное золото формировалось в прибрежно-морских россыпях и на уровне микробальной сорбции. В случае формирования прибрежно-морских россыпей образовывались не парагенетические ассоциации, а ассоциации минералов, объединенных гидравлической крупностью. При этом нужно иметь в виду,

что золотины малого размера имеют гидравлическую крупность, соответствующую крупным обломкам других минералов, а следовательно, формирование и накопление таких прибрежных россыпей было возможно в толщах крупнообломочных гравелитовых образований.

Общие вопросы разработки палеолитологических построений. Для расшифровки генезиса мощных монотонных метаморфогенных толщ (гнейсов, кристаллосланцев, кварцитов, амфиболитов и др.), в том числе и золотосодержащих, образовавшихся в результате процессов раннедокембрийской дифференциации вещества, необходимо применение специальных методов палеорекострукции. Одним из таких методов является генерационный анализ акцессорного циркона, разработанный в Одесском университете [21, 22]. Он предполагает детальное онтогеническое изучение и количественное определение реликтовых, синпетрогенных и наложенных генетических типов акцессорного циркона как «сквозного» минерала, устойчивого в широком диапазоне геологических условий и обстановок.

Для палеорекострукции метаморфических толщ используются реликтовые генетические типы циркона. Они образуются до формирования главных ассоциаций порообразующих минералов, и по своим онтогеническим особенностям делятся на кластогенные и магматогенные. Это уцелевшие остатки исходного материала магматических, осадочных и метаморфических пород. Особенности морфологии и внутреннего строения реликтовых кластогенных цирконов и их использования при палеорекострукциях золотосодержащих разрезов детально рассмотрены нами ранее [23]. Здесь необходимо отметить, что реликтовый кластогенный циркон изменяет свой облик в зависимости от характера дезинтеграции и дифференциации первичных вулканогенно-осадочных толщ.

В метамагматических породах никогда не фиксируются кластогенные цирконы. Одновременное присутствие в породе магматогенных и кластогенных цирконов свидетельствует о ее метатерригенном генезисе в условиях слабой осадочной дифференциации. К такому типу пород относятся метаграувакки, образовавшиеся в раннем докембрии по грубозернистым осадкам в специфических условиях слабой дифференциации. Генезис их далеко неясен и связан, возможно, с химическим растворением и переотложением первичного ультрабазит-базитового субстрата.

Изучение реликтовых цирконов гранат-биотитовых и биотитовых гнейсов из различных районов УЩ показывает, что они в основном образовались за счет осадочных пород высокой и средней степени сортированности типа пелитов и алевроитов, реже мелкозернистых песков. В отдельных случаях количество кластогенных цирконов уменьшается за счет магматических, что свидетельствует об увеличении неоднородности осадочного материала и приближении их к грубозернистым образованиям типа гравелитов или конгломератов.

При палеорекострукции кварцитов выделяются три группы пород: метатерригенные, метахемогенные и метасоматические. Субстратом метатерригенных кварцитов служили различные песчаные и песчано-глинистые образования. В последнем случае в зависимости от степени метаморфизма

состав акцессорных минералов характеризуется большим разнообразием. В них появляются гранат, силлиманит, ильменит, полевые шпаты, корунд, ставролит, эпидот, рутил и другие минералы. К метаксеногенным и метасоматическим породам относятся большинство железосодержащих кварцитов, в которых реликтовый циркон отсутствует. Их минеральный состав более однообразен. Достаточно сложным представляется состав кальцифиров. Среди них выделяются метаксеногенные (кальцифиры темрюкской свиты в Приазовье и некоторые кальцифиры Побужья) и метасоматические типы (отдельные кальцифиры в Побужье, образовавшиеся за счет габброидов).

Палеолитологические реконструкции, выполненные с помощью генерационного анализа циркона, позволяют восстановить строение исходных разрезов метаосадочных толщ, т. е. выполнить реконструкцию отдельных элементов геологических структур. Нами были выполнены такие реконструкции для отдельных частей темрюкской и осипенковской свит в Приазовье, а также отдельных разрезов бугской серии в Побужье. При этом отмечено, что железистые кварциты приурочены в основном к хемогенным железисто-кремнистым разрезам. Причем, как правило, в основании их располагаются толщи магматогенных пород основного состава. В то же время разнообразные кварциты из метатерригенных комплексов относятся к метапесчаникам и не содержат оруденения.

Палеолитологические реконструкции разрезов метавулканогенно-осадочных толщ отдельных районов УЩ. Ниже на примере разрезов хачевато-завальевской свиты бугской серии AR_3 в Побужском районе и чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии PR_1 в Кировоградском районе приведены результаты палеорекострукции метавулканогенно-осадочных толщ. При восстановлении разреза золотосодержащих метаморфических пород хачевато-завальевской свиты на участке Восточно-Капустянского золоторудного проявления в Побужском районе был использован предложенный метод палеорекострукции по реликтовому циркону. В состав свиты входят мрамора и кальцифиры, иногда с магнетитом, пироксен-магнетитовые кварциты, железные руды, скарноиды, графит-биотитовые и пироксен-биотитовые гнейсы, основные кристаллосланцы и амфиболиты. Тонкодисперсная золоторудная минерализация приурочена к железистым кварцитам и контактам их с тонкими прослоями амфиболитов. В разрезе выделяются (сверху вниз, рис. 1): а) надрудная толща ортоамфиболитов и хемогенных кальцифиров мощностью до 100 м; б) продуктивная толща железистых кварцитов с прослоями амфиболитов мощностью до 50 м; в) подрудная толща актинолититовых амфиболитов с прослоями безрудных кварцитов мощностью до 110 м.

Анализ железистых кварцитов и амфиболитов показал отсутствие в разрезе продуктивной толщи реликтовых типов циркона, что позволило отнести эти породы к осадкам хемогенного генезиса. Маломощные прослои гранитоидов, встречающиеся в разрезе, имеют метатерригенный генезис. Некоторые амфиболиты подрудной толщи образовались за счет грубозернистых осадков типа граувакков.

Колонка	Состав	Название толщи	Мощность
     	Переслаивание амфиболитов и кальцифиров	Надрудная	100 м
   	Переслаивание амфиболитов и железистых кварцитов	Продуктивная	50 м
     	Переслаивание актинолититов, амфиболитов и безрудных кварцитов	Подрудная	110 м
    	Амфиболиты и кристаллосланцы с редкими прослоями железистых кварцитов	Базальная	

Рис. 1. Схематический разрез Восточно-Капустянского проявления

Анализ литологических колонок пород других разрезов хщевато-завальевской свиты в пределах рассматриваемой области также свидетельствует об их метаксеногенном генезисе. Супракристалльные породы кошаро-александровской свиты и отдельных разрезов нерасчлененной днестровско-бугской серии имеют существенно метатерригенный генезис. На рис. 2 показаны результаты палеореконструкции разреза метаморфических и ультраметаморфических пород по реликтовому циркону на участке Савранского рудопроявления в Побужском районе.

Основные золотосодержащие разрезы в Кировоградском рудном районе (Клинцовское и Юрьевское рудные поля) приурочены к породам ингуло-ингулецкой серии палеопротерозоя, где преобладают биотитовые плагиогнейсы и кристаллосланцы. Генерационный анализ циркона подтвердил их генезис за счет пелит-алевритового субстрата, а также за счет грубозернистых осадков типа граувакков.

Для подтверждения этих выводов и оценки первичного химического состава метаморфогенных рудовмещающих толщ Побужского и Кировоградского рудных районов были выполнены петрохимические пересчеты. Они показали, что состав метаморфических пород хщевато-завальевской свиты отвечает полю глиноземисто-магнезиально-железисто-кремнистых пород, что соответствует породам хемогенного генезиса. Состав метаморфических пород чечелевской свиты ингуло-ингулецкой серии отвечает

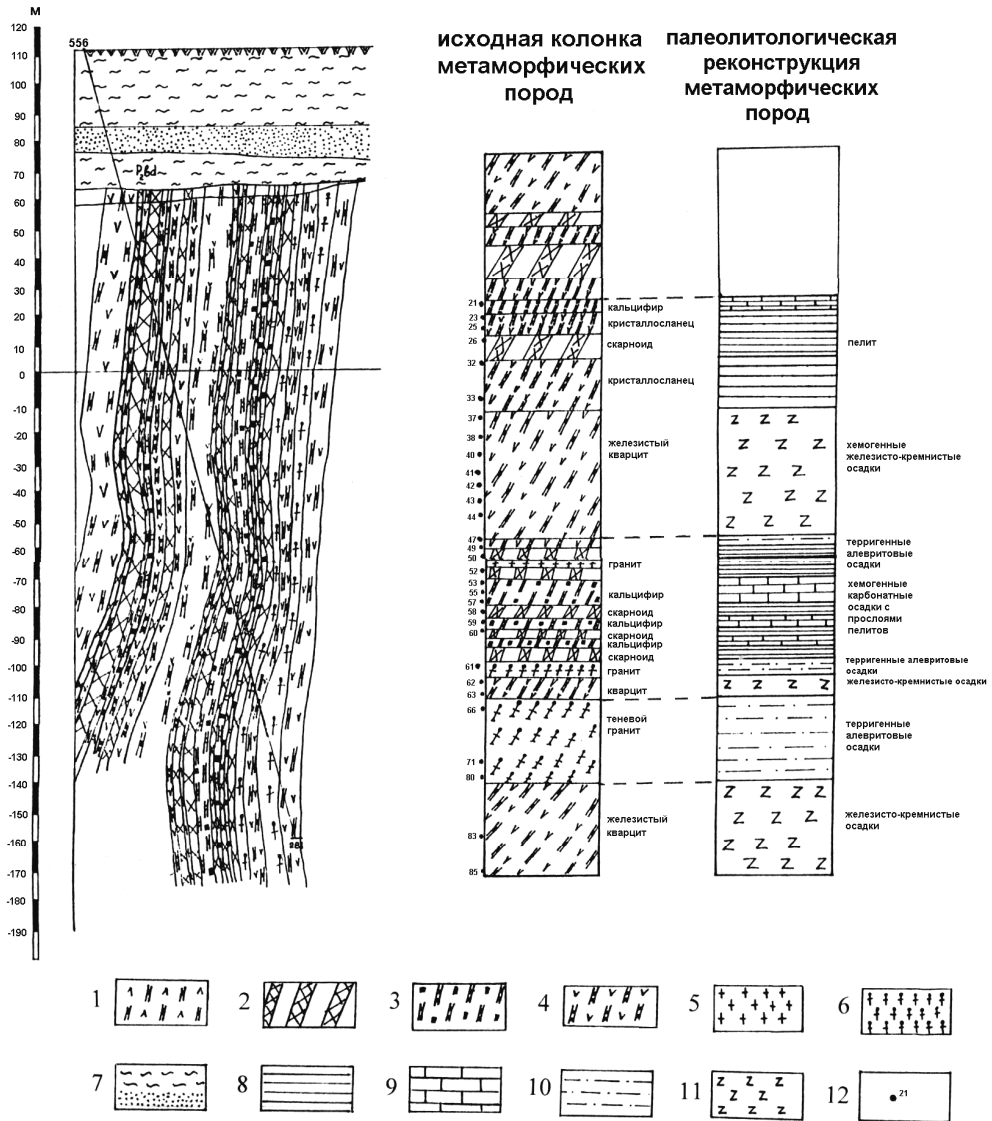


Рис. 2. Реконструкция палеолитологического состава метаморфических пород Савранского участка (по аксессуарному циркону) (скв. 556):

1 — кварцит магнетит-пироксеновый; 2 — скарн диопсид-магнетитовый; 3 — кальцифир диопсид-магнетитовый; 4 — кристаллосланец магнетит-кварц-пироксеновый; 5 — пегматитовый гранит; 6 — теневые гранат-биотитовые гиперстеновые граниты; 7 — породы осадочного чехла; 8 — пелитовые осадки; 9 — хемогенные железисто-магнезиально-карбонатные осадки; 10 — терригенные алевритовые осадки; 11 — хемогенные железисто-силикатные осадки; 12 — номера проб, из которых выполнен генерационный анализ аксессуарного циркона

изохимическим группам железисто-магнезиально-алюмосиликатных и щелочноземельно-алюмосиликатных пород орторяда, а также группе щелочноземельно-глиноземистых основных пород орторяда. Это вполне соответствует полю пород кластогенного (первично осадочного) генезиса, образовавшихся за счет базитов в условиях слабой химической дифференциации.

Выводы

Таким образом, выполненные исследования позволили сформулировать следующие основные выводы.

1. Ретроспективный анализ и оценка раннедокембрийских условий формирования кор выветривания, в том числе и с использованием петрохимических и минералогических методов, показали, что специфические атмосферные геохимические условия (низкая концентрация O_2 , высокое содержание CO_2 и водорода) могли способствовать концентрации золотосодержащих комплексов в приповерхностном слое коры выветривания (типа граувакков) и коагуляции золота с образованием инфильтрационных гипергенных рудных тел (в нижнем существенно глинистом сапролитовом слое коры выветривания). Это подтверждается наличием часто встречающегося парагенезиса графита с золотом в графитсодержащих гнейсах, сформированных на основе выветрелых базитов.

2. Условия раннедокембрийской седиментации до начала протерозоя допускали преимущественное распространение сульфидных компонентов серы (H_2SO_3 , H_2SO_4) с поступлением в водоем обломков базитовых пород и формированием аутигенных минералов типа глауконита и сульфидов. В этих условиях также происходило бактериальное восстановление серы, вплоть до H_2S . Этот процесс способствовал формированию метастабильных сульфидных комплексов золота, в том числе в формах гидросульфидных или тиауратных комплексов типа $Au(HS)_2^-$. Данные условия приводили к накоплению железа и марганца, а Ca, Na, K и Mg интенсивно мигрировали в водной среде. При этом растворенные комплексы золота коагулировали, что было вызвано повышением щелочности, и выпадали в осадок.

3. Терригенное золото формировалось в прибрежно-морских россыпях и на уровне микробиальной сорбции. Образование и накопление прибрежных россыпей было возможно в толщах крупнообломочных гравелитовых образований.

Литература

1. Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. — Москва: Наука, 1991. — 302 с.
2. Никешин Ю. В., Емельянов С. И. Комплексные золотосодержащие месторождения (к вопросу типизации и роли в развитии минерально-сырьевой базы) // Геол. методы поисков, разведки и оценки м-ний тверд. полезн. ископаемых: Обзор. — Москва: Геоинформмарк, 1993. — 49 с.
3. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Геохимия и рудогенез золота в черных сланцах. — Сыктывкар: Геонаука, 1990. — 61 с.

4. Лебедь Н. И., Резник В. П., Мудров И. А. и др. О новом типе россыпной золотоносности на шельфе Черного моря // Геол. журнал. — 1994. — № 3. — С. 121–126.
5. Лепкий С. Д., Колесникова А. А. Золотоносность стратифицированной карбонатно-углеродистой формации Черного моря // Тр. 1-го Всесоюз. совещ. «Условия образования и закономерности размещения стратиформных месторождений цветных, редких и благородных металлов». — Фрунзе, 1985. — С. 328–330.
6. Ходюш Л. Я. К вопросу о происхождении железистых кварцитов докембрия // Геология и рудоносность юга Украины. — Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1968. — С. 81–86.
7. Холланд Х. Д. Океаны: возможный источник железа в железорудных формациях // Докембрийские железорудные формации мира. — Москва: Мир, 1975. — С. 343–349.
8. Горьковец В. Я. Условия образования позднерхейских железистых кварцитов (Карельский регион) // Геол. журнал. — 1990. — № 6. — С. 67–73.
9. Скаржинський В. І. Про геологічні передумови розшуків золоторудних родовищ на Українському щиті // Геол. журнал. — 1974. — Вип. 4. — С. 77–84.
10. Григорян С. В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений: Препринт. — Москва, 1974. — 215 с.
11. Салоп Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии. — Л.: Недра, 1982. — 343 с.
12. Коваль В. Б. Общие принципы моделей формирования золоторудных месторождений в докембрии Украинского щита // Труды II Межвед. совещ. «Критерии поисков и перспективы промышленной золотоносности Украины»: Том I. — Киев — Одесса: ИГМР НАН Украины, 1993. — С. 4–14.
13. Школьник Э. Л., Жегалло Е. А., Герасименко Л. М., Шувалова Ю. В. Углеродистые породы и золото в них бассейна Витватерсранд, ЮАР, — исследование с помощью электронного микроскопа. — Москва: Эслан, 2005. — 120 с.
14. Белевцев Я. Н., Мельник Ю. П. Аккумуляционно-биогеохимическая модель образования докембрийских железорудных формаций // Минеральные месторождения: Доклады сов. геологов / Международ. геологич. конгресс, XXV сессия. — Москва: Наука, 1976. — С. 67–78.
15. Горьковец В. Я., Раевская М. Б. Архейская кора выветривания в районах железорудных месторождений // Геология рудных месторождений. — 1986. — Том 28. — № 2. — С.101–109.
16. Додатко А. Д. Новые данные о метаморфизованных корах выветривания раннего протерозоя Криворожско-Кременчугской зоны Украинского щита // Геологич. журнал. — 1984. — Т. 44. — № 5. — С. 8–13.
17. Горлицкий Б. А. Распределение малых элементов и проблемы металлогении осадочно-вулканогенных формаций докембрия Украинского щита. — Киев: Наукова думка, 1970. — 163 с.
18. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 160 с.
19. Алфимова Н. А. Раннедокембрийские коры выветривания Карелии. Геологическое строение, химический состав и условия формирования: Рукопись: Автореферат дисс. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.01 / Институт геологии и геохронологии докембрия РАН. — СПб, 2007. — 23 с.
20. Белевцев Я. Н., Коваль В. Б., Бакаржиев А. Х. и др. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. — Киев: Наукова думка, 1995. — 396 с.
21. И. В. Носырев, Робул В. М., Есипчук К. Е., Орса В. И. Генерационный анализ акцессорного циркона / Под ред. В. В. Ляховича. — Москва: Наука, 1989. — 203 с.
22. Носырев И. В. Методические рекомендации по количественно-генетической интерпретации результатов изучения акцессорных минералов: Препринт. — Киев: Мингео УССР, 1987. — 81 с.
23. Драгомирецкий А. В. Литологические особенности золотосодержащих отложений докембрия (на примере Украинского щита) // Литология и полезн. ископаемые. — 2004. — № 2. — С. 173–184.

О. В. Драгомирецький

Кафедра інженерної геології і гідрогеології,
Одеський нац. університет імені І. І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧНІ МОДЕЛІ ГІПЕРГЕННИХ ЗОЛОТОРУДНИХ СИСТЕМ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ ПРОМІЖНИХ КОЛЕКТОРІВ ЗОЛОТА В ДОКЕМБРІЇ (НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)

Резюме

Наведені результати аналізу та оцінки геолого-генетичних моделей гіпергенних (вивітрювання і седиментогенезу) золоторудних систем на підставі характеристик походження, генезису і парагенезису, а також особливостей поведінки золота в цих умовах. Такі системи відповідальні за формування проміжних колекторів золота, які можуть розглядатись як одні з найважливіших джерел докембрійського золота, перевідкладеного на більш пізніших етапах. Результати палеорекострукції деяких метаморфогенних золотовміщуючих розрізів Українського щита з використанням мінералогічних і петрохімічних методів показали, що їх первинний склад обумовлений специфічними геохімічними умовами раннього докембрію.

Ключові слова: походження, генезис, парагенезис, вивітрювання, седиментогенез, реконструкція, моделі золоторудних систем, докембрій, Український щит.

O. V. Dragomyretsky

Dept. Engineering Geology and Hydrogeology,
Mechnikov National University of Odessa,
Dvoryanskaya St., 2, Odessa-82, 65082, Ukraine

GEOLOGIC-GENETIC MODELS OF HYPERGENE GOLD-ORE SYSTEMS AS THE BASIS OF THE FORMATION OF INTERMEDIATE COLLECTORS OF GOLD IN PRECAMBRIAN (ON THE EXAMPLE OF UKRAINIAN SHIELD)

Summary

The paper contains the results of analysis and evaluation of geologic-genetic models of hypergene (weathering and sedimentation) gold-ore systems of the Precambrian on the basis of characteristics of origin, genesis and paragenesis, as well as the behavior of gold in these conditions. Such systems are responsible for the formation of intermediate collectors of gold, which are regarded as one of the most important sources of Precambrian gold redeposited at a later stage. Results paleoreconstruction some metamorphic gold-sections of the Ukrainian shield using mineralogical and petrochemical methods showed that their primary composition is caused by specific geochemical conditions of the Early Precambrian.

Key words: origin, genesis, paragenesis, weathering, sedimentogenesis, paleoreconstruction, models of gold systems, Precambrian, Ukrainian Shield.