

# Типы концентрации золота стадиальных процессов литогенеза осадочных бассейнов

**А.В. Коробицын**

Пермский государственный университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: [poisk@psu.ru](mailto:poisk@psu.ru)

На основании разработанной автором стадиально-литогенетической модели минерации осадочного бассейна, представляющего структурно-вещественный комплекс тектоно-седиментационного цикла, и геохимии золота в породах и формациях, выделяются типы, подтипы и виды его концентрации. Они образуются при стадиальных процессах различных по составу осадков-пород прогрессивного (седиментогенезе, диагенезе и катагенезе), инверсионного (метагенезе) и регрессивного (дислокациогенезе и гипергенезе) этапов литогенеза. Предлагаемая системная модель позволяет комплексно определять золотометаллогеническую специализацию формаций осадочных бассейнов платформенных и складчатых областей с целью выявления литолого-геохимических критериев, повышающих эффективность прогноза и поисков россыпных и рудных месторождений золота.

## Введение

В настоящее время резко сокращаются запасы россыпного золота. Высока энергоемкость и сложна технология разработки его коренных месторождений и извлечения свободного золота из упорных руд. В связи с этим становится крайне актуальной задача выявления нетрадиционных типов его россыпей и руд как в освоенных районах, так и известных рудно-россыпных объектов на новых, слабо изученных площадях с использованием современных достижений в учении о стадиально-минерогеническом анализе осадочных бассейнов и геохимии золота.

Золото в природе, по выражению В.И. Вернадского, «всюдно». Его кларк (%) в морской воде составляет  $n \times 10^{-10}$  [8], в горных породах –  $n \times 10^{-7}$  [7], в россыпях и рудах –  $n \times 10^{-4}$ . Оно находится в них и в виде самородков. Эти дискретные концентрации золота, отличающиеся на 3 и охватывающие 12 порядков, связаны с различными формами его нахождения – ионной, изоморфной, хемотропной, органогенной, самородной и др.

В связи с этим следует напомнить о почти

забытых уникальных опытах отечественных геологов первой половины XIX в. В 1836 г. знаменитый геолог и металлург П.П. Аносов, расквартовал 160 т миасских золотоносных песков (Урал), промыл часть из них на бутаре и полученное золото принял за 1. После этого галечный отвал раздробил и повторно промыл, получив столько же золота. Применив амальгамацию и пропустив через бутару тот же материал, получил золота в 7 раз больше, чем при простой промывке золота. Затем после обжига песков в доменной печи золота было извлечено больше в 28, в медеплавильной – в 84, а после плавки их в тиглях с углем и флюсом – в 95 раз. Наконец, после обработки песков царской водкой «было получено золота в 131 раз больше по сравнению с той частью, которая подвергалась простой промывке» [43, с.365]. Эти результаты свидетельствуют о том, что подавляющая часть золота в песках находится в мелкозернистой и связанной формах. Поэтому при промывке их на бутаре извлекается только 0,76% свободного золота.

Не менее важные результаты о золотоносности пиритизированных углеродистых глинистых сланцев протерозоя Енисейского кряжа были получены в 1844 г. Э. Гофманом [11]. Он

тщательно промыл куски таких сланцев, обжег их в русской печи, истолок в чистой железной ступке, просеял и из 12 фунтов «муки» после промывки ее в чистом вашгерде получил 2.5 доли золота (111 мг или 22.58 мг/т) в виде мельчайших зерен и пластинок. Аналогичные опыты он провел еще на двух приисках, где содержания его оказались в 2 раза ниже. На основании этих результатов Э. Гофман пришел к выводу, что пиритизированные сланцы являются коренными источниками россыпей приисков. Интересно, что «купец Игнатий Рязанов, усмотрев эту выгоду, испросил позволения устроить на своем прииске Успенском толчею для образования этим способом золотоносных песков» [11, с.413].

В этом же районе в конце XIX в. в бассейне р. Енашино разрабатывалось шесть связанных с толщей доломитов верхнего рифея высокозолотоносных карстовых россыпей («ям») с большими мощностями песков. Например, «из Гавриловой ямы за 2 месяца 1884 г. было получено 10 тонн драгметалла, причем работы были остановлены из-за высоких водопритоков» [41, с. 302].

В наше время Ю.И. Тверитинов [39] изучил формы нахождения золота во вмещающих породах и жильном кварце Ленского золотоносного района. Эксперимент заключался в определении золота атомно-абсорбционным анализом в выборках из типовых пород и кварца. Анализы проводились в условиях после: а) обработки проб царской водкой, б) разложения проб в плавиковой кислоте и повторной обработки царской водкой, в) плавления углеродистого остатка. В пробах углеродистых сланцев (11 шт.) в первом случае в среднем определено (мг/т) – 1, во втором – 5.3, в третьем – 31; песчаников (18) – 0.5, 4.5 и 4.7, известняков (6) – 1.3, 1.1 и 0.5, а кварца (16) – 1.8, 9.6 и 0 золота соответственно способам обработки. Полученные результаты свидетельствуют, что золото в породах концентрируется органическим веществом сланцев, песчаников, известняков, а также их обломочными компонентами и жильным кварцем.

Наконец, необходимо особо отметить открытие во второй половине минувшего века уникальных золото-пиритовых месторождений среди углеродистых сульфидизированных

алевропелитовых сланцев в штате Невада США (Карлинский тип) [40] и в Байкало-Патомском нагорье (Сухоложский тип) [4], а также ураганных концентраций золота (первые кг/т), платиноидов и других металлов в слоях (мощностью от первых единиц до 30 см) углеродистых медистых сланцев Цехштейна Польши [46], сланцах нижнего кембрия Южного Китая и нижнего протерозоя месторождения Витватерсранд ЮАР [12].

Таким образом, краткий обзор экспериментальных исследований геологов прошлого, недавних открытий нетрадиционных типов золоторудных месторождений и ураганных концентраций золота и сопутствующих металлов в углеродистых сланцах показывают, что его коренные и россыпные месторождения образуются не только за счет эндогенных магматогенно-гидротермальных и экзогенных россыпеобразующих процессов, а также при седиментогенезе и эпигенезе углеродистых алевропелитовых, карбонатных, а также пирокласических пород и формаций осадочных бассейнов.

На основании разработанной автором стадийно-минерагенической модели минерации осадочных бассейнов [20,24], особенностей геохимии золота в стадийных процессах осадочных и вулканогенно-осадочных пород [17–19, 22, 28] и гидротермалитов [21,26,27] с учетом аналогичных результатов других исследователей [5, 10–14, 30–46] ниже рассматриваются стадийные типы, подтипы и виды его концентраций, определяющие золотометаллогеническую специализацию пород и формаций. Установленные системные литолого-геохимические критерии позволят повысить эффективность и качество прогнозных, поисковых и оценочных работ на золото и сопутствующие ему компоненты [22,23,29].

## 1. Типы концентрации золота прогрессивного этапа литогенеза

Данный этап охватывает седиментогенную, диагенную и катагенную стадии литогенеза и соответствующие им типы (с подтипами и видами) концентрации золота. Для него характерны постепенное и непрерывное погружение бассейна осадконакопления с увеличением Р/Т параметров среды, уменьшение емкостных и

фильтрационных свойств пород за счет уплотнения и растворения неустойчивых в таких условиях компонентов, формирование химического состава поровых флюидов и образование новых минералов и структур пород, а также различных полезных ископаемых.

### 1.1. Седиментогенный тип

Этот тип концентрации золота и других тяжелых и устойчивых минералов связан с гранулометрической и плотностной дифференциацией терригенных осадков в динамически активных водной и воздушной средах, происходит в аллювиальных, прибрежно-морских и аэраль-ных условиях побережий и при процессах органической и эксгальационной седиментации в акваториях. В связи с различной относительной скоростью выпадения в осадок и формами нахождения золота в данном типе выделяются ранний и поздний подтипы с их видами концентрации золота.

#### 1.1.1 Ранний подтип

Подтип общеизвестен из практики золотодобычи аллювиальных и прибрежно-морских россыпей в условиях гумидного и перигляциального климата. Он детально исследован Ю.А. Билибиным [3], Н.А. Шиловым [43] и другими геологами. Подтип связан с терригенным аллювиальным и прибрежно-морским осадконакоплением при эрозии и денудации областей питания, содержащих золоторудные поля и промежуточные коллекторы золота. В этом подтипе выделяются два вида концентрации – кластогенный и петрогенный.

*Кластогенный вид* концентрации преобладает при формировании россыпей золота. В меньших масштабах он происходит в терригенных осадках различной гранулометрии и генезиса. Например, повышенные содержания золота, превышающие 10 мг/т, преобладают в крупно- и среднезернистых песчаниках, а содержания менее этой величины – в мелкозернистых и алевритистых разностях. Проявляется он и в фациальных типах песчаников: максимальная частота встречаемости золота в интервале содержаний 5 – 10 мг/т выявлена для аллювиальных и прибрежно-морских песчаников, то-

гда как в мелководно-морских она смещается на интервал 1 – 5 мг/т [18]. Более сложно распределено золото по фракциям проанализированных проб песчаника и алевролита. Его максимальные концентрации определены в тяжелых фракциях этих пород и составили 51 и 72 мг/т соответственно. Но при низком содержании этих фракций (0.05 и 0.03%) в песчанике находится 0.49% , а в алевролите только 0.24% золота. В крупной и тонкой глинистых фракциях цемента песчаника содержания золота в 3 и 5 раз выше, чем в аналогичных фракциях алевролита при близком количестве цемента в данных породах (5.8 и 4.3%). Эти различия связаны с минеральным составом цементов: в песчанике он хлоритовый с примесью гидрослюда (содержит около 20% золота), а в алевролите – гидрослюдистый с примесью хлорита (содержит его только 2%). Однако подавляющее количество золота находится в кварце и полевых шпатах песчаной (80.5%) и алевритовой (97.8%) фракций [28].

*Петрогенный вид* концентрации золота обусловлен тем, что в магматических породах кларки золота (мг/т) закономерно увеличиваются от гранитов (2.6) к гранодиоритам (3.4), диоритам (4.1), долеритам (5) и ультрабазитам (7) в прямой корреляционной связи с содержаниями железа и обратной – кислорода [5]. Эта же закономерность проявляется и в среднем содержании золота (мг/т) в породообразующих минералах – оно минимально в кварце (1.7), почти в два раза выше в полевых шпатах (3.3) и максимальное в железомagneзиальных силикатах (4–16) [44]. В нижнетриасовых вулканогенно-осадочных породах Верхоянья среднее содержание золота (мг/т) составляет в базальтах 6.7, туфоаргиллитах 7.3, туфоалевролитах 4.8, а в туфопесчаниках 3.6 [14]. Различны средние содержания золота в песчаниках верхнего палеозоя Верхоянья, отличающихся по минеральному составу обломочных компонентов – 50% проб граувакково-аркозовых и полевошпатово-граувакковых песчаников содержат золота более 10 мг/т, а большинство (71.4%) аркозово-кварцевых их петротипов – менее 10 мг/т. При этом в полимиктовой группе песчаников устанавливается прямая корреляционная связь между содержаниями золота и обломков эффузивов в Орулгане (+0.60, n=11) и Западном Верхоянье

(+0.36, n=17) [18].

### 1.1.2. Поздний подтип

Данный подтип концентрации золота отличается относительно более длительными органическим и эксгальационным процессами осадконакопления в акваториях и соответственно связанными с ними формами нахождения золота, определяющими виды его концентрации.

*Органогенный вид* концентрации золота обусловлен тем, что растения и некоторые организмы содержат его в повышенных количествах в золотоносных районах. Это свойство растений используется при биогеохимических поисках месторождений золота. В зернах кукурузы, например, были обнаружены мелкие золотины пластинчатой и дендровидной формы. Выявлены также микроорганизмы типа грибковой плесени, поглощающие золото из растворов [34]. Высокие содержания золота (в среднем 45.2 мг/т при максимуме 150) установлены в ракушечниках моллюсков Черного моря [2]. А его ураганные концентрации (от 2 до 9 кг/т) известны в месторождении Витватерсранд (ЮАР) в маломощном протерозойском углеродистом слое, состоящем из остатков примитивных водорослей, мхов и лишайников.

*Эксгальационный вид* концентрации золота характерен для термальных минерализованных вод областей активного вулканизма. На Камчатке такие воды кроме ряда рудных элементов содержат 0.015 мг/л растворенного золота. Довольно высокие его концентрации (до 0.47 г/т) и серебра (52.9 г/т) обнаружены в осадках термальных (56 – 36° С) рассолов рифтогенных впадин Красного моря [34]. Промышленные содержания золота (21 г/т) и серебра (500 г/т) установлены также в осадках кратера подводного вулкана на глубине 2.2 км в 75 милях к востоку от побережья Папуа – Новая Гвинея (Известия. 1990. №285).

Таким образом, седиментогенный тип концентрации золота имеет важное теоретическое и практическое значение. В раннюю подстадию седиментогенеза формируются аллювиальные и прибрежно-морские крупные и уникальные его россыпные месторождения, а в позднюю – образуются органические и эксгальационные виды его концентрации, определяющие золотометал-

логеническую специализацию соответствующих формаций.

## 1.2. Диагенный тип концентрации золота

В диагенезе при погружении осадков ниже поверхности их накопления в водной и воздушной средах в условиях полузакрытой системы происходит их уплотнение, обезвоживание, цементация и образование конкреций. В связи с преобладающими физико-химическими условиями среды в диагенезе выделяются ранняя и поздняя подстадии и соответствующие им подтипы концентрации золота.

### 1.2.1. Ранний подтип

Данный подтип концентрации золота образуется в окислительно-восстановительной среде. В терригенных осадках, обогащенных органическим веществом, вначале идет его окисление и растворение легко реагирующих компонентов, а позднее – в восстановительных условиях – их осаждение в виде глауконита, лептохлоритов, карбонатов, вивианита. В россыпях на золотинах и других затравках происходит образование высокопробных регенерационных оболочек аутигенного золота [13]. В связи с этим в раннюю подстадию диагенеза выделяется *хемогенный вид* концентрации золота. Генезис таких оболочек происходит даже в условиях криолитозоны, что подтверждено экспериментами Р. А. Амосова [1]. Он исходил из того, что при глубоком сезонном промерзании россыпей на границах кристаллитов пресного льда и их контактах с минеральными зёрнами часть воды остается в жидком состоянии, и в этой остаточной жидкости концентрируются золото и другие элементы. В опытах по замораживанию растворов четыреххлористого комплекса золота и его осаждению им было установлено, что за 12 – 30 мин при температуре – 6° С осаждалось до 20% растворенного золота на различных затравках (золото, магнетит, кварц) в количествах, пропорциональных их величине. Недавно было выявлено также, что в техногенных отвалах на карбонатном барьере происходит массовое замещение золотом медной проволоки [31]. Повышенные концентрации золота (от 20 до 100 мг/т) были обнаружены и в пластах калий-

ных солей Верхнекамского месторождения [37].

### 1.2.2. Поздний подтип

Он связан с дальнейшими процессами уплотнения и литификации осадков с образованием различных по составу конкреций: сульфатных, карбонатных, фосфатных, сульфидных, кремнистых и др. Сульфидные и фосфатные конкреции обычно металлоносны и часто отличаются высокими содержаниями золота, на основании чего выделяется *конкреционный вид* концентрации золота с соответствующими разновидностями. Например, пиритовые конкреции из протерозойских отложений Ленского района в среднем содержат 66 мг/т золота [4]. Такие же конкреции из протерозойских известняков Енисейского кряжа содержат золота от 0.1 до 0.4 г/т, а их вмещающие породы – от 0.1 до 19 мг/т [33]. Пиритовые конкреции из аргиллитов верхнего палеозоя Верхоянья концентрируют 0.043 до 0.57 г/т золота [22]. В фосфоритовых конкрециях мезозоя Русской платформы его содержания достигают 0.15 г/т, а в фосфоритовой муке Егорьевского месторождения колеблются от 0.05 до 0.3 г/т при 30% свободного золота, извлекаемого амальгамацией [30]. Эти конкреции считаются промежуточными коллекторами россыпей проявлениями золота данной платформы [45].

Таким образом, ранний подтип концентрации золота в диагенезе проявляется в основном в регенерации золотин россыпей с повышением их пробы, а также в аутигенном отложении его на различных затравках в россыпях и техногенных отвалах. Поздний подтип отличается хемогенным осаждением золота в сульфидных и фосфатных конкрециях, которые могут являться одним из коренных источников его россыпей.

### 1.3. Катагенный тип концентрации золота

В результате дальнейшего погружения территории осадочного бассейна и повышения Р/Т параметров среды в зависимости от относительной величины последних выделяют раннюю и позднюю подстадии катагенеза и соответствующие им подтипы концентрации золота.

#### 1.3.1. Ранний подтип

Данный подтип концентрации золота и других элементов происходит за счет растворения под воздействием низких значений литостатического давления и температуры неустойчивых в таких условиях терригенных компонентов, представленных основными и средними плагиоклазами и пирокластами, а также темноцветными минералами. За счет этих процессов поровые флюиды обогащаются рудными элементами, в том числе и золотом. Например, по данным экспериментов Д.И. Горжевского, поровые хлоридные растворы выщелачивают из твердых фаз илов и глин и повышают концентрации Pb в 3 и 6, Zn – 2 и 6 и Cu – 1.3 и 3 раза при температурах 20° и 80° С соответственно [38]. Известно, что пластовые воды Русской плиты содержат в среднем 3,6 мг/т золота [22]. Эти данные свидетельствуют о реальной возможности формирования в таких условиях низкотермальных потенциально золотоносных рудогенерирующих поровых растворов за счет кларковых содержаний золота во вмещающих породах.

#### 1.3.2. Поздний подтип

Этот подтип концентрации золота связан с дальнейшим погружением породного бассейна и повышением значений Р/Т параметров среды. В результате с течением времени растворяются и более устойчивые силикатные и алюмосиликатные обломочные компоненты, возникают конформные, инкорпорационные и регенерационные структуры зернистых пород, сокращаются их емкостные свойства и формируются низкотермальные слабо металлоносные пластовые хлоридно-сульфатные и хлоридные воды, а из рассеянного в алевропелитовых породах органического вещества – нефтегазовые залежи в зернистых коллекторах [6]. По данным [42] выявлено, что в хлороформном и спиртобензольном битумах концентрация золота достигает сотен граммов на тонну. При этом содержание золота в горючих сланцах равно 50 мг/т, а в битуминозных доломитах – 15 мг/т, в которых  $C_{\text{орг}}$  составляет соответственно 18.72 и 0.92%.

Следовательно, ранний и поздний катагенетические подтипы представляют зачаточные

концентрации золота в термальных пластовых флюидах и определяют золотометаллогенический потенциал углеродсодержащих терригенных и карбонатных формаций.

## **2. Тип концентрации золота инверсионного этапа**

Инверсионный этап, являясь переходным от прогрессивного к регрессивному этапам, отвечает моменту инверсии знака тектонических движений в породном бассейне, совпадая с началом регионального перерыва в осадконакоплении. Он происходит при максимуме значений Р/Т параметров, характерных для осадочных пород и соответствует метабазису. Метабазис развит в складчатых областях, где предшествует региональному метаморфизму, а также в прогибах и впадинах платформ.

### **2.1. Метагенный тип концентрации золота**

Метабазису подвергаются катагенетически преобразованные осадочные породы, в которых появляются начальные ассоциации новых минералов, структур и текстур. С определенной долей условности в нем выделяются ранняя и поздняя подстадии и соответствующие им подтипы концентрации золота.

#### **2.1.1. Ранний подтип**

Этот подтип концентрации золота связан с процессами локальной метасоматической пиритизации углеродистых терригенных и карбонатных пород. Золотоносность метапиритов связана с осаждением в них золота из метабазисных гидротермальных флюидов.

#### **2.1.2. Поздний подтип**

Данный подтип концентрации золота формируется при увеличении стрессовых нагрузок с перекристаллизацией мелкозернистых обломочных и пелитовых компонентов с образованием лепидобластовых структур и сланцеватых текстур пород. В их углеродистых разностях образуется субпластовая метасоматическая пиритизация. При этом следует отметить, что средние содержания золота в терригенных по-

родах Верхоянья, преобразованных метабазисно, составляют 5.48 мг/т, а в условиях катабазиса – 7.62 мг/т [22]. Отмеченный дефицит содержания золота в измененных метабазисом породах свидетельствует о переходе его в метапириты. Так, по данным М. И. Силичева и Н. Г. Андриянова 1974 г., среднее содержание золота в таких пиритах Южного Верхоянья составляет 350 мг/т.

Таким образом, метабазисный тип концентрации золота связан с метасоматической пиритизацией углеродистых пород и формаций. Он является одним из коренных источников его россыпей [10].

## **3. Типы концентрации золота регрессивного этапа**

Регрессивный этап соответствует эпирогенезу осадочных бассейнов платформенных и орогенезу складчатых областей. Он отличается от предшествующих этапов постепенным общим и резким локальным снижением значений Р/Т параметров среды в связи с развитием соответствующих пластических и хрупких дислокаций пород и формаций и их денудацией в результате общего поднятия и тектонической активизации территории породного бассейна. Этап объединяет дислокациогенную и гипергенную стадии и соответствующие им типы, подтипы и виды концентрации золота.

### **3.1. Дислокациогенный тип концентрации золота**

Дислокациогенная стадия литогенеза обычно не рассматривалась при стадийном анализе осадочных бассейнов, являясь предметом изучения структурной геологии, а также характера околорудных изменений в учении о полезных ископаемых. В соответствии с преобладающими видами рудолокализирующих дислокаций пород и формаций в данном типе выделяются ранний и поздний подтипы и виды концентрации золота.

#### **3.1.1. Ранний подтип**

Данный подтип концентрации золота происходит при гибких дислокациях, различных по

составу и физическим свойствам пород, образующих формации ритмичного строения. В этом подтипе различаются стратиформные проявления и месторождения золота двух видов концентрации: малосульфидной золотокварцевой и золотосульфидной.

*Малосульфидный золотокварцевый* вид концентрации золота развит в терригенных формациях ритмичного строения, экранированных флюидоупорами. При их смятии в шарнирах складок возникают декомпрессионные полости, куда латерально мигрируют золотоносные гидротермы, образуя метаморфогенные, согласные простирацию пород полиэтажные седловидно-ленточные залежи малосульфидной золотокварцевой формации. Их классическим примером является месторождение Бендига в Австралии. Здесь в толще силурийских сланцев и песчаников, смятых в серии сжатых складок, в шарнирах антиклиналей на глубину до 350 м выявлено 24 горизонта субпластовых золоторудных тел мощностью в замках до 10 м и протяженностью до 3 км. Руды сложены золотоносным кварцем, содержащим убогую вкрапленность сульфидов Fe, Cu, Pb, As. Концентрация золота в рудах составляет 5–25 г/т [9].

Стратиформные месторождения малосульфидной золотокварцевой формации распространены в Южно-Верхоянском синклинории среди толщ верхнекарбонovo-нижнепермских аргиллитово-алевролитово-песчаниковых ритмопачек, залегающих на среднекарбонových углеродистых алевропелитовых сланцах и перекрытых нижнепермскими аргиллитами и алевролитами. В пределах Юрско-Бриндакитского меридионально ориентированного рудного узла стратиформное золотое оруденение приурочено к крупным синклиналям, крылья и пологие мульды которых осложняются флексурами и складками более высоких порядков [16]. Золоторудные тела локализуются на границе песчаников с аргиллитами, в плане имеют ленточную, а в сечении – седловидную и пластовую форму. Кварц крупнокристаллический складчатополосчатый метасоматический. Содержание сульфидов As, Fe, Zn, Pb в нем не превышает 1–2%. Золото находится в кварце в свободном состоянии, а также в виде примеси в арсенопирите. Его концентрации колеблются в широких пределах – от единиц до сотен граммов на тон-

ну. Эродированные антиклинали узла, вероятно, вмещали такие же золоторудные залежи, образовавшие богатые, с самородками, кайнозойские россыпи золота долины р. Аллах-Юнь и ее притоков.

*Золотосульфидный* вид концентрации распространен в углеродистых алевропелитовых формациях, экранированных флюидоупорами. Стратиформные золоторудные тела содержат вкрапленную сульфидизацию и имеют значительную мощность и протяженность, оконтуриваются опробованием. В штате Невада США открыто несколько крупных таких месторождений (Карлин, Голд Кворри, Дип Пост и др.). Руды в них представлены субпластовыми телами тонкопиритизированных углеродистых и известковистых палеозойских алевролитов, экранированных поверхностью надвига. Мощность рудных тел достигает сотен метров, протяженность – 3 км. Сверхтонкое золото в них концентрируется в фрамбоидальном и тонкокристаллическом пирите, составляющем 1–2% массы руды. Содержание золота в пирите достигает 200–300 г/т, а в рудах колеблется от 0.3 до 2–15 г/т [40].

В Ленском районе в пределах Бодайбинского синклинория крупное месторождение золота Сухой лог размещено среди протерозойских углеродистых сланцев. Мощность субпластовых рудных тел достигает сотен метров, протяженность до нескольких километров. Золото связано с метасоматическим пиритом и другими сульфидами. Его среднее содержание 1,9 г/т [4,5].

На северо-востоке Якутии в юго-западном крыле Инъяли-Дебинского синклинория регионально развита зона сульфидной минерализации мощностью 200–300 м. Она прослеживается на несколько сотен километров среди верхнетриасовых углеродистых алевропелитовых пород вблизи поверхности поддвига их под алевролитово-песчаниковую юрскую толщу. Пржилково-вкрапленная послойная сульфидизация представлена пиритом, пирротинном, пентландитом, галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, марказитом. В протоловках встречено золото в виде зерен желтого цвета неправильной формы размером до 0.5 мм. Содержание золота составляет 0.2–0.3 г/т, изредка достигает 2–4.5 г/т [15]. На юго-востоке синклинория эта

зона закартирована в долине и на правобережье р. Неры в виде 3 узких, согласных с простиранием складок пород, совпадающих с положительными магнитными аномалиями [35]. В пределах зоны по правобережным притокам и в долинах рек Адычи и Неры располагаются почти отработанные многочисленные небольшие и редкие крупные россыпи золота Адычанского и Верхне-Индигирского золотоносных районов. Высоки перспективы открытия здесь коренных золотосульфидных месторождений [26].

### 3.1.2. Поздний подтип

Данный подтип концентрации золота связан с проявлениями сейсмогенных разрывных дислокаций пород и формаций при тектономагматической активизации осадочных бассейнов и образуется в основном при контрастных процессах вертикальной декомпрессионной миграции гидротерм в разломы и зоны дробления. В данном подтипе выделяются такие же два, но секущие напластование вида концентрации золота – малосульфидный золотокварцевый и золотосульфидный.

*Малосульфидный золотокварцевый* вид концентрации представлен магматогенно-гидротермальными проявлениями и месторождениями золота, локализованными в секущих кварцевых жилах и штокверках среди хрупких осадочных и изверженных пород и формаций. Золото неравномерно распределено в кварце, а также в виде примеси в сульфидах. Оруденение данного вида широко распространено в районах проявлений кислого магматизма. Околорудные изменения вмещающих жилы пород интенсивны. Они обычно сопровождаются образованием отрицательных аномалий золота относительно его кларковых содержаний, что характерно для многих изученных [36] месторождений золота Сибири.

*Золотосульфидный* вид концентрации связан с эндогенными гидротермальными процессами в зонах дробления углеродистых алевропелитовых пород при активизации глубинных разломов. В этих зонах формируются мощные протяженные оконтуриваемые опробованием золотосульфидные рудные тела, иногда сопровождающиеся маломощными оперяющими золотоносными кварцевыми жилами и прожилками.

Например, крупное Нежданинское золоторудное месторождение в Южном Верхоянье размещено среди минерализованной зоны дробления и смятия углеродистых алевропелитовых пород нижней перми. Золотосульфидная минерализация в основном связана с кристаллическим пиритом (3–5%) и длиннопризматическим арсенопиритом (1–2%). Среднее содержание золота в пирите равно 50 г/т, арсенопирите – 200 г/т. Низкая золотоносность отмечается также в галенит-сфалеритовой и блеклорудно-сульфоантимонитовой ассоциациях. Содержание золота в рудных телах зоны колеблется от 3 до 10 г/т. Протяженность рудной зоны составляет первые километры, мощность – десятки метров. Оруденение прослежено на глубину более 1 км. В последнее время в рудах месторождения установлена платина. Ее среднее содержание в пиритах составляет 3.29, а в арсенопиритах – 3.64 г/т [10]. Важно отметить, что в таких месторождениях максимально проявлены гидротермальные изменения вмещающих пород вблизи рудных тел, рудной зоны и рудного поля, что четко отражается в формировании соответствующих геохимических ореолов концентрации, окаймленных ореолами мобилизации золота [21,27]. Поведение рудных, редких и щелочных элементов в пределах этих ореолов отражает закономерные тенденции в перераспределении их содержаний относительно фоновых и свидетельствует о значительных масштабах проявления гидротермальных процессов рудогенеза и трехэтапном формировании месторождения. Аналогичные ореолы золота зафиксированы [5] в пределах золоторудных полей месторождений Тенькинской рудно-россыпной зоны Центрально-Колымского района. Золотосульфидный тип концентрации проявился также при формировании золотосурьмяного (месторождения Сарылах, Сенточан) и золотомышьякового (месторождение Кючус) оруденения, локализованного в минерализованных зонах дробления углеродистых алевропелитовых толщ триаса Восточной Якутии.

Таким образом, дислокациогенный тип концентрации золота характерен для складчатых областей, а также активизированных блоков платформ и отличается от предшествующих типов образованием различных по морфологии и генезису гидротермальных золоторудных ме-



сторождений и проявлений. В раннюю подстадию дислокациогенеза формируются крупные стратиформные метаморфогенные золоторудные месторождения обоих видов концентрации. В позднюю подстадию максимальный масштаб оруденения реализуется в сейсмогенных зонах дробления в основном за счет эндогенно-гидротермального золотосульфидного вида концентрации. Минеральные виды рудных тел и их морфология парагенетически предопределяются вещественным составом и физическими свойствами пород, строением и мощностью формаций и типами преобладающих дислокаций.

### 3.2. Гипергенный тип концентрации золота

Завершающая регрессивный этап литогенеза осадочного бассейна гипергенная стадия осуществляется в наземных аэраль-аквальных условиях при процессах физического и химического выветривания пород и руд, сформировавшихся в предшествующие стадии. Эта стадия литогенеза детально исследована в учении о корях выветривания и их полезных ископаемых, поэтому рассматривается кратко. В зависимости от преобладающего вида выветривания в ней выделяются ранний и поздний подтипы концентрации золота.

#### 3.2.1. Ранний подтип

Данный подтип концентрации золота образуется при физическом выветривании руд, содержащих свободное золото, и его промежуточных коллекторов с образованием инситных элювиальных, а также делювиальных россыпей в гумидных, аридных и перигляциальных климатических условиях. На субгоризонтальной ровной поверхности денудации элювиальные концентрации золота в плане повторяют контуры коренных источников. При наклонной поверхности выветривания образуются делювиальные россыпи золота ближнего сноса.

#### 3.2.2. Поздний подтип

Этот подтип концентрации золота проявляется при преобладающих процессах химического выветривания вмещающих пород и руд и ак-

тивной роли биоса в гумидных климатических условиях. При выветривании золотосульфидных руд происходит формирование зон вторичного обогащения. Оно происходит различными путями – гравитационным перемещением, переносом золота в коллоидной форме, в виде галлоидных растворов, а также комплексных и золотоорганических соединений. Интенсивность золотоносности в таких зонах возрастает в несколько раз [32]. Например, в Олимпиадинском месторождении Енисейского края сульфидные руды окислены на глубину до 400 м и имеют коэффициент концентрации золота, равный 2.3 [41]. В меньшей степени обогащение золотом проявляется при выветривании рудных тел малосульфидной золотокварцевой формации. Но в областях криолитозоны при контрастных годовых температурах с амплитудой в 100°C и выше в золоторудных полях, локализованных среди сульфидизированных углеродистых сланцев, в летний период происходит площадное экзотермическое сернокислотное выщелачивание пород и руд. В результате этого образуются каолинитовые коры выветривания (так называемые «синюги») с маршаллитами по золотоносным кварцевым жилам – источникам кайнозойских россыпей золота Северо-Востока России и других аналогичных регионов [43].

Следовательно, в заключительную гипергенную стадию литогенеза образуются экзогенные дезинтегрированные месторождения золота в площадных и линейных корях выветривания. Эти концентрации являются также главными коренными источниками россыпей золота седиментогенной стадии следующего тектоно-седиментационного цикла.

Предложенная системная модель типов концентрации золота в стадийных процессах литогенеза осадочных бассейнов позволяет комплексно и эффективно решать задачи оценки перспектив золотоносности территорий различного геологического строения и показывает со всей очевидностью особую важность проведения литологических и геохимических исследований при прогнозе и поисках не только рудных и россыпных месторождений золота, но и других полезных ископаемых, локализованных в осадочных породах и формациях.

# Библиографический список

1. Амосов Р.А. Криогенная перекристаллизация как механизм накопления аутигенного золота в россыпях и корах выветривания / Р.А. Амосов // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий: тез. докл. XII Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторожд. кор выветривания. М., 2000. С. 18 – 20.
2. Аношин Г.Н. Золото в современных осадках северной части Атлантического океана / Г.Н. Аношин, Е.М. Емельянов, Г.А. Пережогин // Геохимия. 1969. №9.
3. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей / Ю.А. Билибин // М.: Изд-во АН СССР, 1955. 472 с.
4. Буряк В.А. Закономерности размещения и генезис золотого оруденения Байкало-Патомского нагорья: автореф. докт. дис. / В.А. Буряк. Иркутск, 1973. 45 с.
5. Буряк В.А. Особенности металлогении золота / В.А. Буряк // Геологические этюды. СВНЦ ДВО РАН. Магадан, 2003. С. 116 – 127.
6. Вассоевич Н.Б. Стадии литогенеза / Н.Б. Вассоевич // Справочник по литологии. М.: Наука, 1983. С. 85 – 96.
7. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия. 1962. № 7.
8. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана / А.П. Виноградов // М.: Наука. 1967. 216 с.
9. Вольфсон Ф.И. Главнейшие типы рудных месторождений / Ф.И. Вольфсон, А.В. Дружинин // М.: Недра, 1975. 392 с.
10. Гамянин Г.Н. Проблема платиноносности золоторудных месторождений черносланцевых толщ Верхояно-Колымской складчатой области / Г.Н. Гамянин, В.В. Алпатов, А.Ф. Коробейников // Наука и образование. Якутск, 2000. № 3. С. 11 – 15.
11. Гофман Э. О золотых промыслах Восточной Сибири / Э. Гофман // Горный журнал. СПб., 1844. Ч. 4, кн. 11, 12. С. 395 – 419.
12. Гурская Л.И. Прогнозирование новых типов платинотеталлических руд в черносланцевых комплексах осадочных бассейнов: метод. рекомендации / Л.И. Гурская, Э.И. Кутырев, Ю.С. Ляхницкий. ВСЕГЕИ. СПб, 1997. 111 с.
13. Ивенсен Ю.П. Опыт изучения морфологии и морфоструктуры золота / В.Ю. Ивенсен // Тр. треста «Золоторазведка» и НИГРИЗолото. М., 1938. Вып. 10. С. 96 – 133.
14. Ивенсен В.Ю. Вулканогенно-осадочный генезис раннетриасовых отложений верхоянского комплекса и влияние пирокластического материала на распределение кларковых содержаний золота / В.Ю. Ивенсен // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С. 294 – 307.
15. Калинин В.М. Гидротермальные изменения и золотоносность пород в зоне межформационного срыва между триасовыми и юрскими толщами в бассейне рек Адычи и Эльги / В.М. Калинин // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Якутск, 1963. Вып. XII. С. 93 – 106.
16. Кирусенко Т.С. О структурном контроле теле-термальных месторождений золота и полиметаллов в Южном Верхоянье на основе мобилистской концепции / Т.С. Кирусенко, А.И. Старников // Тектоника и полезные ископаемые Сибири. Якутск, 1981. С. 58 – 65.
17. Коробицын А.В. О типах концентрации золота в верхнепалеозойских породах верхоянского комплекса / А.В. Коробицын // Минералогия и геохимия золота. Владивосток, 1974. Ч. 2. С. 75 – 77.
18. Коробицын А.В. Особенности распределения кларковых содержаний золота в верхнепалеозойских породах верхоянского комплекса / А.В. Коробицын // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1975. С. 260 – 295.
19. Коробицын А.В. Металлоносность осадочных формаций докембрия Сете-Дабана / А.В. Коробицын // Геология и металлогения докембрия Дальнего Востока. Л.: Наука, 1981. С. 188 – 196.
20. Коробицын А.В. Литогенез и полезные ископаемые (на примере Якутии) / А.В. Коробицын // Докл. АН СССР, 1982. 266, №1. С. 425 – 427.
21. Коробицын А.В. Геохимические ореолы рудных полей в углеродистых алевропелитовых породах / А.В. Коробицын // Методы геологических исследований при поисках твердых полезных ископаемых Якутии. Якутск, 1983. С. 85 – 90.
22. Коробицын А.В. Литологические и геохимические аспекты прогноза месторождений золота (на примере Якутии): дис. д-ра г.-м. н. / А.В. Коробицын // Новосибирск, 1993. 60 с.
23. Коробицын А.В. Формационно-минерогенетический метод численной оценки перспектив золотоносности / А.В. Коробицын // Отечественная геология. 1994, №9. С. 28 – 31.
24. Коробицын А.В. Минерогения стадийных процессов литогенеза осадочных бассейнов /

- А.В. Коробицын // III Междунар. конференция «Новые идеи в науках о Земле»: избр. докл. М., 1998. С.111 – 118.
25. Коробицын А.В. Россыпеносность базальных слоев пермской системы Оленекского поднятия / А.В. Коробицын // Вопросы геологии и энергетики Якутии. Якутск, 2000. С. 81 – 87.
  26. Коробицын А.В. Перспективы открытия месторождений рудного золота среди сульфидизированных алевролитов верхнего триаса среднего течения реки Неры / А.В. Коробицын // Вестник госкомгеологии. Якутск, 2003. № 2(5). С. 46 – 47.
  27. Коробицын А.В. Распределение золота, щелочей и термолюминисценция во вмещающих породах Неждановского золоторудного месторождения / А.В. Коробицын, В.Ю. Ивенсен, А.С. Зайцев // Геология и полезные ископаемые юга Восточной Сибири. Иркутск, 1974. С. 339 – 344.
  28. Коробицын А.В. Геохимия золота в породах верхоянского комплекса / А.В. Коробицын, И.Г. Волкодав, В.Ю. Ивенсен // Вопросы минералогии и геохимии золотого оруденения Якутии. Якутск, 1980. С. 96 – 106.
  29. Коробицын А.В. Системная методология определения перспектив золотоносности осадочных бассейнов с целью оценки прогнозных ресурсов рудного и россыпного золота / А.В. Коробицын, С.В. Карелин // Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения: тез. докл. XIII Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Пермь, 2005. С. 115 – 116.
  30. Мельникова А.В. Золотосодержащие фосфориты центральной части Русской платформы – своеобразный промежуточный коллектор золота / А.В. Мельникова // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий: тез. докл. XII Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. М., 2000. С. 234
  31. Наумов В.А. О направленном формировании россыпных месторождений золота (постановка вопроса) / В.А. Наумов, О.Б. Наумова // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания: тез. докл. XI Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. М., 1997. С. 169.
  32. Нестеров Н.В. Вторичная зональность золоторудных месторождений Якутии / Н.В. Нестеров // Новосибирск: Наука, 1972. 171 с.
  33. Петров В.Г. Золото в опорных разрезах докембрия западной окраины Сибирской платформы / В.Г. Петров // Новосибирск: Наука, 1976. 213 с.
  34. Петровская Н.В. Самородное золото / Н.В. Петровская // М.: Наука, 1973. 348 с.
  35. Попов Л.Н. Геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000. Сер. Яно-Индигирская. Лист Q-55- XXXII-XXXIII / Л.Н. Попов // М., 1975. 106 с.
  36. Рослякова Н.В. Эндеогенные ореолы месторождений золота / Н.В. Рослякова, Н.А. Росляков // Новосибирск: Наука, 1975. 130 с.
  37. Сметанников А.Ф. Благородные металлы в солях Верхнекамского месторождения / А.Ф. Сметанников, А.С. Николаев, А.И. Кудряшов и др. // Изв. Вузов. Горный журнал. 2000. №3. С. 271 – 277.
  38. Старостин В.И. Геология полезных ископаемых / В.И. Старостин, П.А. Игнатов // М.: Академический проект, 2004. 512 с.
  39. Тверитинов Ю.Н. Формы нахождения золота в породах Ленского рудного района / Ю.Н. Тверитинов // Геология и полезные ископаемые юга Восточной Сибири. Иркутск, 1989. С. 61 – 62.
  40. Хаусен Д.М. Месторождение тонкодисперсного золота Карлин, штат Невада / Д.М. Хаусен, П.Ф. Керр // Рудные месторождения США. М.: Мир, 1973. Т.2. С.590 – 624.
  41. Цыкин Р.А. Полезные ископаемые палеокарста и кор выветривания Енисейского кряжа / Р.А. Цыкин, Е.В. Прокатель // Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения: тез. докл. XIII Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Пермь, 2005. С. 301 – 302.
  42. Шаламов И.В. Методические рекомендации по изучению золотоносности платформенных битуминозных формаций с целью выявления нетрадиционных типов золотого оруденения на стадии прогноза / И.В. Шаламов, М.В. Попова, Л.В. Савицкая // Новосибирск, 1991. 44 с.
  43. Шило Н.А. Учение о россыпях / Н.А. Шило // Владивосток: Дальнаука, 2002. 575с.
  44. Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях / Ю.Г. Щербаков // М.: Наука, 1967. 257 с
  45. Ясырев А.П. Желваковые фосфориты Русской платформы – промежуточный коллектор золота при россыпеобразовании / А.П. Ясырев // Докл. АН СССР. 1971. Т 199, №2. С. 452 – 455.
  46. Kucha H. Platinum group metals in Zechstein copper deposits Poland / H Kucha // Econ. Geol.

1982. Vol. 77, № 6. P. 1578 – 1591.

## **The gold concentration typs of stagial lithogenesis processes of sedimentary basins**

**A.V. Korobitsyn**

Perm state university, 614990, Perm, Bukirev st., 15, e-mail: [poisk@psu.ru](mailto:poisk@psu.ru)

The types, subtypes and forms of gold concentration developed by author on the basis stagial-lithogenesis minerageny model and gold geochemical in rocks and formations of the sedimentary basin, which represents the structural-compositional complex. They are product by the phase processes of different compositional sediments-rocks of the progressive (sedimentogenesis, diagenesis and catagenesis), inversive (metagenesis) and regressive (dislocatiogenesis and hypergenesis) stages. Representing system model allows to determine the combined goldmetalogenetic specialization formations of the platform and folding sedimentary basins, that increases quality and effciencie of prognosis and search the gold placer and ore deposits.

*Рецензент доктор геол.-мин. наук Б.С. Лунев*