

## СЕДИМЕНТОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ

УДК 553.41 (553.061.12/17)

### УСЛОВИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОНКОГО ЗОЛОТА В ПРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ (О СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ТИПА)

*Ф.Р. Лухт*

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

Обзор материалов по металлогении так называемого тонкого, или невидимого золота (ТЗ) позволяет уточнить происхождение месторождений невадийского, или карлинского типа (МКТ) в черносланцевых толщах (ЧСТ). Сходство последних и отложений современных приконтинентальных морских бассейнов дает возможность определить как конкретные условия осадкообразования, так и механизмы поступления, миграции и осаждения ТЗ, при которых возможна его концентрация в отложениях, сопоставимых с ЧСТ. Эта концентрация золота является первичной, седиментогенной в МКТ. Наложение последующих метаморфических процессов приводит к перераспределению первичных концентраций, возникновению трансформированных рудно-минеральных ассоциаций, создающих впечатление генетической разобщенности осадко- и рудообразования. Возможность первичной концентрации ТЗ обосновывается механизмами и объемами его поступления с суши вместе с терригенным материалом и аккумуляцией в осадках под влиянием органического вещества, в т.ч. микроорганизмов. Отмечается роль холодных водно-газовых источников углеводородов на морском дне типа современных сипово-вентинговых систем в формировании углеродного потенциала ЧСТ. Для последних характерны слепцифические карбонатные породы, которые сходны с образующимися такими источниками, а также рифогенными сообществами. В качестве актуалистических седиментационных моделей МКТ выделяется несколько областей дна в современных бассейнах, в которых возможно формирование гомологов ЧСТ и, соответственно, первичного концентрирования ТЗ.

**Ключевые слова:** черносланцевые толщи, невидимое золото, морские отложения, сипы.

#### ВВЕДЕНИЕ

Около трех десятилетий назад было предсказано [19] погашение основных запасов золота к концу XX столетия. Одной из причин, по которой этот прогноз не реализовался, было открытие месторождений нового, так называемого черносланцевого типа. Месторождения представлены осадочными породами, среди которых преобладают глинистые сланцы, аргиллиты и алевролиты, глинисто-карбонатные (доломиты, мергели и известняки), в меньшей мере – песчаники, реже – кремнистые и вулканогенно-вулканомиктовые разности. Черносланцевые толщи обычно обогащены органическим (углеродистым) веществом, с ними связаны сульфидные руды, образующие месторождения – свинцово-цинковые, медные, сурьмяно-мышьяковые с вольфрамом, платиновые (платиноидные) и золотые. Наибольшую известность получили последние как золоторудные (иногда – с платиноидами) невадийского или кар-

линского типа – в связи с открытием в штате Невада (на западе США) группы таких месторождений (Карлин и др.) [82, 84], как и подобных им в других регионах Мира, в том числе в странах СНГ [5, 14, 41, 50, 54, 69–72, 85]. Они отличаются значительными запасами, иногда при сравнительно невысоком среднем содержании тонкорассеянного и (или) химически связанного металла. Существует даже мнение [73] о том, что зоны сульфидизации в черносланцевых толщах следует рассматривать как неисчерпаемые комплексные месторождения цветных и особенно благородных металлов.

Вместе с тем, работы по металлогении золота до недавнего времени были основаны "... преимущественно на анализе только одной группы месторождений – магматогенно-гидротермальных, – игравших, но уже в прошлом, определяющую роль в объеме золоторудной добычи. Иные генетические типы месторождений, имеющие в настоящее время важное

значение в золотодобыче и уже получившие "права гражданства", такие как метаморфогенно-гидротермальные, гидротермально-осадочные и полигенные, обычно более бедные по содержанию золота, слабо учитываются либо вообще не учитываются" [15, с.7]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в изучении месторождений черносланцевого типа, все возрастающий к ним научный и практический интерес, о чем свидетельствуют многочисленные публикации, вопрос о генезисе первичной золотой (золото-платиноидной) минерализации в них до настоящего времени остается остро дискуссионным, на что обращает внимание В.А. Буряк [17], указывая на две противостоящие концепции. Одна из них связывает оруденение с поступлением эндогенных флюидов в складчатый или постскладчатый этапы, т.е. после осадконакопления. Согласно другой, выдвинутой, как отмечает В.А. Буряк, им одним из первых, "...формирование золотосульфидной минерализации происходило в процессе накопления углеродсодержащих осадков и их последующего диагенеза, эпигенеза и метаморфизма. При этом первичный привнос Au и сопутствующих рудосоставляющих элементов, в том числе платиноидов, осуществлялся в решающей мере глубинными эксгаляциями, флюидами и гидротермами в процессе седиментогенеза и осадконакопления. Последующие процессы катагенеза, диагенеза и метаморфизма приводили, во многих случаях, к концентрированию минерализации, имеющей в основной массе рассеянный прожилково-вкрапленный характер." (с. 122).

Первичное концентрирование золота осуществлялось в сингенетичных сульфидах [11], при этом его содержание в осадочно-диагенетических пиритах на порядок выше по сравнению с вмещающими породами [12]. В большинстве месторождений преобладают новообразованные эпигенетически-гидротермальные (метаморфогенно-гидротермальные) разности, возникшие как за счет местного переотложения этих сингенетичных сульфидов, так и в результате дополнительного привноса рудных компонентов из зон гранитизации и высокотемпературного метаморфизма [11, 16].

По сути, той же концепции придерживается А.Г. Жабин [30], считающий, что рудогенерирующие потенции черносланцевых месторождений обусловлены протеканием масштабных рудоподготовительных геохимических процессов, объединяемых им в две группы – А и Б. Процессы группы А – проходные внутри тела формации стандартных стадий литогенеза (сингенез, диагенез, метагенез), сопровождающихся мобилизацией внутривещной и внутриминеральной воды, ступенчатым концентрированием металлов, аутигенным минералообразованием и возникновением рудоносного флюида (или мобили-

зата [39]). Процессы группы Б выражаются в функциях черносланцевых формаций как мощных полистадийных, полифакторных физико-геохимических барьеров и коллекторов, способных концентрировать химические элементы не только из внутреннего источника, но и из любого внешнего. С указанных позиций – временного разделения групп А и Б – может быть объясним существенный разрыв во времени процессов формирования рудовмещающих толщ и их регионального метаморфизма, отмечаемый [43] на месторождении Сухой Лог.

Упомянутая концепция хорошо согласуется с главной особенностью протяженных поясов развития черносланцевых толщ [21, 37, 59] – их аномально-высокой фоновой металлоносностью. Известно, что любые трансрегиональные особенности осадочных толщ определяются условиями древнего бассейна, в котором они образовались, поэтому первичное (синседиментационное) обогащение донных осадков золотом и другими рудными компонентами [13] отражает рудно-седиментологические особенности этого бассейна. Учитывая, что все месторождения черносланцевых толщ приурочены к отложениям явно или предполагаемого морского происхождения, преимущественно карбонатно-терригенным, очень важно (как в теоретическом, так и в прикладном аспектах) выяснение основного вопроса – каким конкретным условиям осадочного процесса могла отвечать возможность синседиментационного концентрирования тонкого золота? С позиций первого аспекта – в качестве актуалистической модели формирования черносланцевых толщ в древних бассейнах, с позиций второго – как для разработки конкретной стратегии выявления и объективных критериев оценки месторождений карлинского типа, так и потенциальных рудопоисковых объектов на современном морском дне (последние пока не установлены и только предполагаются). Одновременно с основным нуждаются в уточнении некоторые другие вопросы, связанные с источниками и механизмами поступления первичного золота, его трансформацией на путях транзита, с отложением и перераспределением на дне бассейнов (на дометагенной стадии преобразования осадков и рудной массы).

Решение этих вопросов видится в определении актуалистической модели палеобассейна черносланцевого типа, т.е. реального современного бассейна, в котором доступны изучению процессы осадко- и рудообразования, однотипные происходившим при формировании черносланцевых месторождений на их седиментогенной стадии. Думается, что для построения такой модели могут быть использованы результаты исследований современного приконтинентального осадочного процесса [48] и связанного с ним рудогенеза, в сочетании с материалами публика-

ций по существующим месторождениям, способными уточнить факторы, контролирующие осадочный процесс геологического прошлого и обусловленные им рудные концентрации.

Автор далек от того, чтобы предлагаемую ниже подборку материалов полагать достаточной для окончательных выводов, но считает, что она может оказаться полезной при освещении проблемы рудоносности черносланцевых формаций. Еще при первом обобщении материалов по металлоносности шельфа восточных и северо-восточных морей России, в котором он участвовал (1980–1983 г.), в легенде прогнозно-минералогической карты было предусмотрено выделение в качестве перспективных объектов на тонкое золото тонкозернистых донных осадков с повышенным содержанием органического вещества (ОВ) – в качестве современного прототипа черносланцевых толщ. Эти, как и последующие целенаправленные работы на изучение наиболее благоприятных для аккумуляции тонкого золота условий осадкообразования и типов осадков остались незавершенными, однако некоторые их результаты использованы ниже при выделении моделей бассейнов разных типов. Здесь только отметим, что понятие "тонкое золото" (далее – без кавычек) в какой-то мере имеет определенный рудогенерирующий смысл, поскольку именно оно во многом определяет специфику месторождений черносланцевых толщ на начальном этапе их формирования.

По классификации Минцветмета СССР 1973 г., частицы золота, не превышающие (мм) 0,25 подразделяются на мелкое (-0,25+0,1), тонкое (-0,1+0,05), пылевидное (-0,05-0,01) и тонкодисперсное (-0,01) [55]. То, что ниже именуется тонким золотом, включает в основном размерные классы от 0,1 до 0,01. Оно же упоминается иногда как невидимое или нешлихуемое, особенно в тонкозернистых отложениях, содержащих повышенные (по сравнению с фоном) содержания золота, механически рассеянного или хемогенного происхождения, хотя закономерности концентрирования того и другого не одинаковы [62, 64].

#### **О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТОНКОГО ЗОЛОТА НА ДНЕ СОВРЕМЕННЫХ БАССЕЙНОВ**

При оценке перспектив освоения минерально-сырьевого потенциала Мирового океана упоминается о содержании золота (наряду с другими рудными элементами) в водной толще, донных осадках, конкрециях, корках, колчеданных рудах и фосфоритах, однако промышленных его концентраций, подобных тем, которые известны в месторождениях черносланцевого типа, все еще не обнаружено, несмотря на специально проводившиеся работы ( в частности, в Японском море). Более того, до сих пор еще до кон-

ца не ясны условия концентрирования тонкого золота в современных морских осадках. Приведенные в статье Н.В. Вилора [21] обзорные данные показывают, что распределение золота по площади дна и в водной толще морей и океанов очень неоднородно. На основе обобщений обширного материала [2, 23] можно констатировать, что оно встречается в трех типовых ситуациях.

К первой относятся золотоносные осадки шельфа, причем как мелко-тонкозернистые, так и наиболее грубозернистые. Примером первых являются отложения шельфа Аляски [92], в частности, бассейна Чирикова в северной части Берингова моря. Здесь в многочисленных колонках, вскрывающих алевроитовые и песчано-глинистые донные осадки отмечаются содержания тонкого золота до 0,01 г/т. Более половины всего золота в донных осадках Берингова моря относится к нешлихуемой размерности – "невидимому" золоту. Высокие содержания мелко- и тонкодисперсного золота в осадках зафиксированы в прибрежной зоне шельфа Восточно-Сибирского и Чукотского морей [2]. Известны содержания от 0,01–0,5 до 2–10 г/т мелко- и тонкодисперсного золота в верхнем слое донных осадков мощностью 1–4,5 м на участках площадью до 100 км<sup>2</sup> лагун и прибрежного шельфа Восточно-Сибирского, Чукотского, Берингова, Охотского морей вблизи устьев рек, дренирующих золоторудные поля на побережье [25, 51], при этом более 60–70% золота приурочено к тонкой фракции [2].

Золотоносные грубозернистые осадки шельфа тяготеют к береговой линии, как современной, так и древней, нередко сопровождая прибрежно-морские россыпепроявления других полезных компонентов, расположенные в приустьевой части береговой зоны. Так, известно тонкое золото в современных титаномагнетитовых, ильменитовых, рутил-циркон-монацитовых и иных россыпях у побережий Филиппин, Вьетнама, Кореи. Сравнительно недавно тонкое золото обнаружено в некоторых ильменит-титано-во-магнетитовых россыпях Камчатки и Курил, предполагается оно и в других регионах дальневосточных морей России. Подобное тонкодисперсное золото установлено и в ископаемых титан-циркониевых россыпях прибрежно-морского типа [18]. Известна приуроченность мелкого (0,1–0,2 мм) и тонкого (меньше 0,1 мм) золота к древним конгломератам [36], которые можно рассматривать в качестве отложений приустьевой области палеошельфа .

Во всех районах нивальной области, где процессы физического разрушения пород в областях сноса превалируют над химическим (биохимическим) их разложением, преобладает механически измельченное золото. Тем не менее, химическое выветривание, хоть и не столь интенсивно, как в южных

широтах, здесь также осуществляется, способствуя появлению ультратонкого золота хемогенной (био-хемогенной) природы. Повышенные концентрации его, например, в отложениях Анадырского залива связаны с глинистыми фракциями и гуминовыми кислотами [58]. Золото отмечается также в илах фиордов Северного залива Аляски [94], при этом преобладают частицы золота размером от 0,062 до 0,125 мкм. Проведенные в лабораторных условиях эксперименты по выяснению воздействия фазовых переходов воды на поведение растворенного золота в системе вода – горная порода показали, что криогенные процессы заметно влияют на процесс сорбции – десорбции золота водой в ее различных фазовых состояниях [60].

Второй тип ситуации, при которой происходит концентрация тонкого золота – более глубоководный. Его представляют осадки впадин-ловушек тонкозернистого материала вблизи континентальных окраин, как, например, впадин в Мексиканском заливе. Помимо терригенной составляющей, осадки также содержат значительное количество биогенного материала, сохраняющегося благодаря восстановительным условиям и способствующего аккумуляции тонкого золота [29]. К этому же типу можно отнести самородное золото в донных осадках Черного и Азовского морей, антарктического шельфа и других областей дна Мирового океана [34, 63], относящееся к мельчайшим гранулометрическим классам. Для Черного и Азовского морей отмечаются признаки нарастания и укрупнения золотин в илистом грунте. Известно, что эти грунты находятся в застойных, восстановительных условиях, сопровождающихся сероводородным заражением, особенно в Черном море.

Если первые два типа относятся к области приконтинентального осадкообразования, то третий тип концентраций тонкого золота связан с донными осадками и аутигенными минеральными новообразованиями пелагических областей океана, и, в первую очередь, приуроченными к зонам активной эксталяционно-гидротермальной деятельности, обычно сопровождающей рифтогенез [28]. Условия формирования таких концентраций выходят за рамки приконтинентального осадочного процесса, специфику которого составляют потоки осадочного и рудного вещества (в данном случае – золота), поступающего с суши. Таким образом, третий тип представляет собственно океанический рудогенез [3], а осадочные отложения этих бассейнов не сопоставимы с разрезами черносланцевых толщ. Роль речного стока для снабжения собственно океанических областей золотом ничтожно мала, основной источник его поступления – атмосферная пыль. Этим, вероятно, объясняются чрезвычайно низкие (0,1–3,7 ПК моль/л или

0,02–0,7 нг/л) концентрации растворенного золота, выявленные в поверхностных водах Северной Атлантики, соответствующие концентрациям в других районах океана [27]. Поэтому можно, наверное, допускать, что практически все золото, поступающее с суши с терригенным стоком (в т.ч. и в растворенном состоянии), территориально ограничено осаждением в приконтинентальных бассейнах. Именно они должны рассматриваться при выборе актуалистической модели формирования черносланцевых толщ.

#### О РУДОГЕННОЙ СПЕЦИФИКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Если обратиться к геологии месторождений черносланцевого типа, можно прийти к выводу, что тонкое золото концентрируется в отложениях преимущественно карбонатно-терригенных, алевроитопелитовых (глинистых), обогащенных органическим веществом, явно или предполагаемого морского происхождения. Некоторые признаки указывают на относительно застойный режим вод и, скорее всего, на сравнительно мелководные (не глубже, чем батипелагические [45]) условия осадкообразования. Концентрация золота в месторождениях черносланцевого типа происходила, вероятно, в результате различных процессов, которые достаточно условно можно разделить на первичные и вторичные, хотя критерии их разграничения не всегда отчетливы.

Первичные определяются условиями аккумуляции осадочного, преимущественно тонкозернистого, обогащенного органикой терригенного материала, характерного для приконтинентального осадкообразования. Последнее отличается от собственно океанического высокими темпами осаждения, с сингенетическим и диагенетическим его преобразованием. Вторичные, наложенные процессы являются метасоматическими по природе и обычно связываются с гидротермальным воздействием достаточно широкого температурного диапазона, несущего рудоносные флюиды. Более поздние и широко проявившиеся процессы метаморфизма в той или иной мере, но обычно значительно, скрывают седиментогенную природу первичных рудных концентраций, и требуют высокий профессионализм исследователя для выяснения истинной картины рудообразования.

В качестве примера можно указать на ставшее типовым для отечественной металлогении месторождение Сухой Лог, которое вначале рассматривалось как постмагматически-гидротермальное, связанное с интрузивным гранитоидным магматизмом. Лишь детальные исследования позволили установить многоэтапный характер его формирования, первым из которых является конседиментационный [14]. В ходе его формировалось осадочно-гидротермальное рассеянное сульфидное оруденение в тонкозернистых

углеродсодержащих осадках, образовывавшихся "...в локальных палеопргибах и мелководных условиях резко восстановительного режима и сероводородного заражения за счет поступления конседиментационных эксгалций и гидротерм, привносящих серу,  $\text{CO}_2$ , золото и железо, а также в незначительных количествах мышьяк и прочие сопутствующие компоненты." (с. 66).

Вторым примером является формирование оруденения золота в нижнепермских морских углеродисто-терригенных толщах Юдомо-Майского прогиба в Южном Верхоянье [52]. Первичная золото-сульфидная минерализация осадков, накапливавшихся во впадинах морского дна, образовалась, по мнению авторов публикации, под влиянием эксгалций, связанных с вулканической деятельностью. Золото-кварцевое оруденение жильного типа является вторичным. Оно возникло в результате гидротермальных и метаморфических процессов, вызвавших заимствование золота из слабо золотоносной сульфидной минерализации, сингенетичной углеродисто-терригенной толще. Как видим, принципиальная схема рудогенеза близка таковой сухоложского месторождения и типична для многих других черносланцевых месторождений. В данном же конкретном случае следует усомниться, что впадины с формировавшейся рудной минерализацией были мелководными. Судя по литологической характеристике разрезов, они относились к прогибам на шельфе палеобассейна. Подтверждением тому является их нахождение в непосредственной близости к источникам сноса терригенного материала (палеосуше).

О том, что повышенные содержания органики черносланцевых толщ отражают специфику осадкообразования, а не рудогенеза, свидетельствует то, что концентрация углеродистого вещества в рудных телах Карлина соответствует его содержанию во вмещающих породах. Эта же закономерность – отсутствие отчетливой связи углеродистого вещества с размещением концентраций золота – проявилась и на рудах Майского месторождения, в котором, как и на месторождении Карлин, золото преимущественно тонкодисперсное и образует субмикроскопические включения в игольчатом арсенопирите и мышьяковистом пирите [69, 70]. Не обнаружена корреляционная связь между содержанием углеродистого вещества и валовыми концентрациями благородных металлов и в рудах месторождения Сухой Лог [42]. Ранее значительная роль в концентрировании золота в месторождении Карлин отводилась золотоорганическим соединениям, однако позднее наличие золотоорганических соединений в рудах не подтвердилось [70].

Первичные (не окисленные) руды золотосульфидных месторождений типа Карлина нередко отли-

чаются от вмещающих глинисто-карбонатных пород лишь повышенным содержанием тонкорассеянных сульфидов. Установленное на примере одного из месторождений [38] соотношение золота в формах химических соединений и свободном виде (самородном) как 73,5% : 24,5% вряд ли может рассматриваться в качестве всеобщего норматива, тогда как преобладание частиц размером менее 1  $\mu\text{m}$  (более крупные частицы в данном случае не превышают 3,3%) отражают общее свойство "невидимой" золотоносности таких месторождений. Показано, в частности [69], что основная масса золота сосредоточена в субмикроскопических (0,04–0,3  $\mu\text{m}$ ) выделениях в мышьяковистом пирите.

Формам нахождения "тонкодисперсного" золота в пирите и арсенопирите (наиболее распространенных золотосодержащих рудных минералах в месторождениях черносланцевого типа) посвящено много работ, однако и до настоящего времени здесь остается много неясного [78]. Тесная связь железа и мышьяка отчетлива в геохимических ассоциациях озерных донных осадков [86]. На основе натурального опробования вод и осадков техногенного озера, содержащего отходы цианирования золото-арсенопирит-кварцевых руд, О.Л. Гаськова с соавторами [23] пришли к выводу о более высокой мобильности мышьяка по сравнению с железом в природных процессах. Повышенная мобильность мышьяка, по их мнению, связана с трансформациями форм его соединений, сорбированных и усвоенных биотой в донном осадке. В результате придонные воды значительно более насыщены мышьяком, нежели железом. В то же время, содержание мышьяка в поверхностном слое осадков отражает (хоть и не столь контрастно) противоположную тенденцию – более высокие содержания присущи более активной в отношении поступления пульпы придонной области.

Изложенное, как представляется автору, обосновывает необходимость изучения связей железа и мышьяка в донных осадках, придонных и поровых водах с разными обстановками в морских бассейнах. Возможно, что степень "мышьяковистости" золото-содержащих сульфидов в месторождениях черносланцевых формаций может в какой-то мере отражать динамику поступления рудного материала.

#### **ТОНКОЕ ЗОЛОТО В КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ И НА ПУТЯХ МИГРАЦИИ**

При рассмотрении приведенных выше примеров черносланцевых месторождений с первичными концентрациями золота в процессе седиментации в качестве его источников указывались эксгалции и гидротермы. С неменьшим основанием можно предполагать и другие возможности поступления золота. Так, достаточно значимые объемы золота могут по-

ступать в морские бассейны с терригенным стоком. Для прогнозирования обстановок, перспективных для концентрирования такого золота, очень важно знать, как золото распределено в исходных породах, в какой форме мигрирует, как изменяется и дифференцируется в процессе миграции и, наконец, под влиянием каких факторов распределяется и аккумулируется в донных осадках. Вначале напомним, что в коре выветривания золото-сульфидных месторождений выделяются разные формы нахождения и миграции золота [65, 68]. Трудно подвижное золото связано с глинистыми частицами <5 мкм, с которыми, возможно, имеет хемосорбционную связь. Подвижное золото находится в анионной форме.

Миграция тонкого золота в водных артериях суши осуществляется в виде коллоидов, взвесей и в ионной форме. По мнению Ф.В. Чухрова [83], перенос золота осуществляется в комплексных ионах с йодом и бромом, т.к. коллоидное золото осаждается под воздействием противоположно заряженных коллоидов (гидроокись железа, барит, каолин, арсенипирит, кварц). Поскольку коллоиды золота неустойчивы, их длительное существование обеспечивается защитными коллоидами органических кислот-пептизаторов [93]. При переходе из речных вод в морскую среду тонкое золото представлено в двух формах – взвеси и ионной.

Формы миграции золота в морской воде изучены недостаточно. Считается [22], что золото, вероятнее всего, присутствует в трех формах: в виде суспензий или коллоидов, в ионной форме и в виде золотоорганических соединений. В.Я. Легедза [44] отрицает возможность существенного переноса золота в растворенном виде и в виде коллоидов. По его мнению, основной способ его транспортировки – в виде взвесей, при этом концентрации тонкодисперсного золота должны наблюдаться в области развития глинистых и алевритовых пород в прибрежной части бассейнов. Он отмечает важность процесса диагенеза илов для образования повышенных концентраций золота в осадках.

Анализ распределения золота в разных типах терригенных пород позволил В.Г. Моисеенко с соавторами [53] предполагать подавляющую роль механической дифференциации при накоплении тонкодисперсного золота, что наиболее четко подтверждается при изучении прибрежно-морских и континентальных толщ. Заметим, что количество золота, переносимого во взвеси, огромно. Только Амур, например, ежегодно выносит его более 8 тонн [31, 65]. Наблюдается ясная корреляция содержания золота взвеси с ее составом, объясняемая способностью органической составляющей взвеси сорбировать золото из воды [61].

В то же время, расчеты, произведенные Ю.П. Ивенсенем [33], показывают, что для перевода, например, частиц золота размером 0,002×0,003 мм во взвешенное состояние требуется скорость потока, обеспечивающая передвижение по дну средне- и крупновалунного материала. Скорости же потока, вызывающей перемещение средне- и даже крупногалечного материала, не достаточно для перевода указанных частиц золота во взвесь. Такие динамические характеристики среды осадконакопления хорошо объясняют сонахождение тонкоразмерного, явно кластогенного золота с грубообломочными формациями (например, в металлоносных конгломератах). Отсюда же следует, что золото черносланцевых толщ в первичном поступлении не могло, скорее всего, находиться в свободном состоянии, а только в виде истинных или коллоидных растворов.

Еще В. Линдгрэн [46] указывал, что золото переносится в виде хлоридов, и хотя хлористое золото легко растворяется в воде, оно не менее легко и осаждается под действием восстановителей – например, ОВ, железистых сульфатов, металлов или сульфидов, подобных пириту. По С.С. Смирнову [74], золото осаждается органическими соединениями, сероводородом, сульфатом железа и др. Таким образом, если миграция золота возможна в окислительных средах, то для осаждения нужны условия восстановительные. Они характерны для некоторых участков дна, отличающихся накоплением глинистых илов со значительной примесью органики. В частности, опробование подобных осадков прибрежной зоны Восточно-Чукотского моря показало, что золото присутствует в свободном состоянии и в виде коллоидных частиц, сорбированных глинистой составляющей [51]. Предполагается [6], что для осаждения золота и сульфидов из гидротермальных растворов также необходим восстановительный режим.

Резкий сдвиг от взвешенных к растворенным формам золота при некотором общем снижении содержания микроэлементов в направлении от суши к морю был выявлен аналитически [2, 29]. Точные сведения о поведении золота в этом процессе пока отсутствуют, но есть указания на повышение его содержания в водах прибрежных зон [22, 90], что может, вероятно, указывать на распад взвеси и переход золота в ионную форму. Наиболее известны хлориды золота ( $AuCl_2^-$  и  $AuCl_4^-$ ), которые способны организовать координационные связи с группами гумусовых кислот [80]. Образующиеся при этом соединения типа хелатов оказываются весьма подвижными. Существенной особенностью гумусовых кислот, составляющих до 80% растворенных органических веществ речного стока [26], является хорошая сорбируемость их глинистыми минералами с образованием устойчивых органо-минеральных соедине-

ний. В зоне смешивания пресных речных и соленых морских вод происходит изменение физической, химической и биологической обстановок. При переходе взвеси через барьер река-море грубые взвеси крупнее 10  $\mu\text{m}$  коагулируют в контакте с морской водой и осаждаются в дельтах [22]. Приустьевую зону минуют взвеси, в которых наиболее распространены частицы размером около 2  $\mu\text{m}$ , в результате чего сорбированные взвесью микрокомпоненты переходят в раствор [47].

#### УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОНКОГО ЗОЛОТА

Высокие содержания ОВ в осадках современных морей связаны с зонами повышенной биопродуктивности, при этом накопление биомассы обеспечивает, в первую очередь, планктон. Д. Шутц и К. Турикян [98] отмечают накопление ряда микроэлементов, а также серебра в придонных водах апвеллинговых зон, где, по их мнению, действуют своеобразные процессы осаждения элементов. К. Краускопф [40] также указывает на открытые шельфы в областях с восходящими токами глубинных вод как зоны возможного широкомасштабного обогащения осадков редкими металлами. В модельных экспериментах [20] установлена высокая сорбционная емкость золота и элементов платиновой группы на гуминовых кислотах как механизм первичного накопления этих элементов в черных сланцах. В природе сорбция золота из морской воды осуществляется гумусовыми кислотами (гуминовыми и, главным образом, фульвокислотами) в районе впадения рек в морские бассейны, где в зоне смешения морских и речных вод несколько снижается рН и резко уменьшается соленость вод, при этом теоретически рассчитанный интервал содержаний достаточно велик – от 0,01 до 100 г/т [81]. Таким образом, возникает возможность сорбции золота морскими глинистыми илами [44]. Сорбция золота может происходить при любой солености и кислотности среды, однако снижение рН с 8 до 3 и солености до нуля приводит к увеличению сорбции почти в два раза.

Н.В. Вилор [21] полагал, что режим, благоприятный для флокуляции и седиментации частиц золя  $\text{Au}^0$ , сорбции растворенного металла сульфидом железа, органическим детритом и глинистыми минералами, создается над глубоководными впадинами, подобными черноморской и охотоморской, поскольку для них характерен спокойный халистатический режим вод с замедленной циркуляцией. Но куда в более значительном масштабе эти процессы осуществляются на биогеохимических барьерах в зоне смешения соленых и пресных вод в приустьевых пространствах моря [26]. Здесь же имеются условия для осаждения большей части (до 95%) объема вещества, по-

ступающего с суши в растворенном и механически измельченном состоянии и осаждающегося в своеобразных седиментационных ловушках – заливах и бухтах со слабоподвижными водами. Электролитные свойства морской воды способствуют процессам коагуляции золота, поступающего с речным стоком в растворенном виде, а также в виде взвеси. На этом природном барьере происходит массовое осаждение золота в результате смены физической, химической и биологической обстановок [64]. Последнюю (и не только на этом барьере, но практически в любой обстановке дна) определяют как макроорганизмы – раковины, водоросли и др., так и (в основном) микроорганизмы – микроскопические водоросли, бактерии, продукты их метаболизма. Накопление планктонной биомассы может многократно превышать суммарную биомассу растений и животных [75].

В период формирования черносланцевых толщ значительная часть золота, особенно в растворенном состоянии, поглощалась и усваивалась планктоном. Факт прижизненного накопления золота микрофосиллиями из морской воды в настоящее время считается доказанным [8]. Свободное золото, связанное зарождением биокаталитического механизма, получило название биогенного, оно широко распространено в биомассе растительного и животного происхождения в металлоорганических формах [56]. Об этом же свидетельствуют остатки металлэкстрагирующих палеобактерий и диатомовых водорослей в месторождениях золото-сульфидной и близповерхностной формаций черносланцевых толщ [1], многочисленные находки псевдомофоз золота по микроводорослям и бактериям, а также по другим микроорганизмам, в частности, по грибам [56]. Предполагается, что образование последних связано с огромными массами водорослевых биоценозов. В частности, микрофосиллии грибной природы проявлены множеством остатков в фосфатизированных черных сланцах, образовавшихся в морском бассейне с турбидитами около 2 млрд лет назад [4], что свидетельствует о достаточно широком распространении уже в палеопротерозое возможных биогенных концентратов золота.

И хотя, как отмечено выше, в месторождении Карлин наличие золотоорганических соединений в рудах не подтвердилось, вряд ли можно полностью исключать образование таких форм золота на этапе его первичного концентрирования в донных осадках под влиянием повышенных содержаний ОВ. Можно лишь предполагать, что последующая трансформация и перераспределение золота под влиянием процессов метаморфизма не способствовали сохранению первоначальных органоминеральных форм золота. Под влиянием этих процессов оказались нарушенными и конкретные корреляционные связи меж-

ду первичными содержаниями ОВ и золота; сохранилась лишь общая тенденция повышенной углеродистости черносланцевых толщ. На существование былой связи, как мне кажется, может указывать то обстоятельство, что наиболее высокие (до 10 г/т) содержания золота и платины Сухого Лога приурочены к отдельным фракциям нерастворимой органики, где они присутствуют, по-видимому, в виде тонких самородных образований [41, 42].

Изучение морфологии микровыделений золота из золото-сульфидных месторождений в углеродистых толщах показало, что оно образовалось в илоподобной среде на стадии раннего диагенеза осадков и имеет биоорганическую природу. Подобные формы (кораллоподобная и войлочная) отмечались в рудах Витватерсранда как образовавшиеся на водорослевых матах [1]. Ранее сходство типичного месторождения черносланцевого типа (Сухого лога) с Витватерсрандом определялось по признакам поступления снизу глубинных газовых потоков, приносящих углерод [67]. Но, как известно, вещественный состав толщ Витватерсранда существенно отличается от состава черносланцевых формаций, и прежде всего значительным содержанием грубообломочных разностей (конгломератов). В свете новых данных [10] эти отличия могут оказаться несущественными – подтвердилось мнение А.Д. Щеглова, который вслед за Д.И. Царевым полагал, что гальки кварца, составляющие основной объем конгломератов, представляют собою псевдогальки и являются продуктом сложных физико-химических процессов, происходивших в глинистом материале.

На примере Азовского моря подсчитано [26], что фито- и эврифаги утилизируют от 3 до 6% всего количества ОВ, находящегося во взвеси. Если к этому добавить, что потери  $C_{орг.}$  на границе река – море достигают 64,2% от всей массы, произведенной на суше и поставляемой речным стоком, становится ясно, что экзогенный (терригенный) источник поставки ОВ может быть достаточным лишь для повышенной фоновой углеродистости черносланцевых толщ. Основными источниками ОВ в них служили остатки гидробионтов растительного и животного происхождения [7]. Отмечается цикличность (этапность) концентрирования планктоногенного ОВ, которая связывается с дегазацией углеводородов из мантии и коры в океанические бассейны [73]. Для создания локальных концентраций  $C_{орг.}$ , которыми отличаются поля месторождений, необходимы дополнительные эндогенные источники его поступления, состав которых устанавливается по газовой-жидким включениям в минералах.

Характеристики предполагаемых глубинных гидротермальных источников рудного вещества и углерода, которым, по некоторым представлениям,

обязано образование месторождений карлинского типа, достаточно разноречивы. Существенные коррективы в эти представления вносит знакомство с современными процессами поступления вещества. Так, в частности, при изучении подводных гидротерм, формирующих постройки, содержащие невидимое золото в сульфидах, установлена [9] недосыщенность флюидов в отношении свободного золота, препятствующая его выделению в свободном виде и определяющая его вхождение в состав дисульфидов железа и сульфидов меди и железа только в виде изоморфной примеси.

Помимо локально ограниченных гидротермальных проявлений, к тому же обычно приуроченных к образованиям, отличным от черносланцевых, реальными источниками ОВ и рудного вещества в палеобассейнах могли быть источники эндогенных флюидов и углеводородов метанового ряда, подобные обнаруженным на дне современных морей. Уже в течение почти полутора десятков последних лет привлекают к себе пристальное внимание специфические газовые (водно-газовые) источники. В англоязычной литературе они известны как холодные сипы (seeps, истечения), зоны вентинга. По температуре сипы часто практически не отличаются от окружающих вод, но на сейсмоакустических профилях отражаются в виде своеобразных факелов – плюмов. Плюму отвечают повышенные содержания в воде растворенных водорода, метана и кремнекислоты. На поверхности грунта и в толще осадков в области действия возгонов часто наблюдаются карбонатные корки, другие новообразования, в том числе барит, сульфиды железа, марганца и др., бактериально-микроводорослевые пленки (маты), нередко специфическое симбиотрофное сообщество макробентоса. Обычно эти проявления связываются с газогидратами или нефтегазовыми проявлениями, иногда с поствулканической деятельностью и контролируются во многих случаях зонами разломов (сдвигов). Они располагаются в приконтинентальных впадинах и известны в Мексиканском заливе [88, 95–97], у западного побережья США [87, 91, 100], в Норвежском море [45], Алеутской зоне [101], в районе северных Курил [32], у восточной Камчатки [99], у восточного Сахалина [89], в Беринговом море [77] и в др. местах.

По своим произведенным продуктам сипово-вентинговые системы хорошо совпадают с типами и формами органики, отмечаемыми в месторождениях черносланцевых толщ. Б.Г. Лутц [49], анализируя летучую фазу в мантийных породах, определял ее метано-водородный состав ( $H_2$ ,  $CH_4$ , C). Ей близок состав углеродистого вещества месторождения Сухой Лог, в котором преобладает кероген, присутствует и углекислотно-метановая газовая фаза ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ), а также растворимое органическое ве-



щество [41–43]. Углеродистое вещество в черносланцевых толщах обычно представлено рядом керит – оксикерит– антракослит – шунгит – графит [37]. Наименее измененные члены этого ряда указывают скорее на сапропелевый, нежели гумусовый состав первичного ОВ и, вероятно, битумогенную (или син-битумоидную) природу этих образований. В качестве гомолога подобных образований в современном осадочном образовании могут рассматриваться высокоуглеродистые (сапропельсодержащие) донные отложения Средиземноморья [102].

Неоднократно упоминаемой особенностью механизма первичного концентрирования тонкого золота в илах приконтинентальных впадин является то, что оно осуществлялось в условиях значительного потенциала органического вещества и дефицита кислорода (а в некоторых случаях – и сероводородного заражения), в результате процессов фазового перехода от гидротроилита (обычной в донных осадках минеральной формы моносульфида железа, особенно в условиях сероводородного заражения придонных вод и донных осадков [24]) к пириту (через дегидратированный гидротроилит). Экспериментальные исследования подобных процессов с использованием высокочувствительных методов позволили В.В. Фадееву с соавторами [79] установить, что по отношению к золоту сорбционная емкость исходного гидротроилита на 1-2 порядка выше емкости пирита. Отсюда возникает возможность образования и концентрирования тонкодисперсного золота в сульфидах (в пирите, в частности) в ходе этой трансформации за счет сброса избытка первоначально аккумулярованного в гидротроилите металла.

Как мне представляется, именно этот механизм, простой и повсеместно распространенный, способен образовывать высокие содержания золота в осадочно-диагенетических пиритах, на порядок и более превышающие его содержание во вмещающих черносланцевых толщах [12]. Подтверждением тому, что этот механизм способен реализоваться уже на стадии аккумуляции донных осадков, является формирование рентгеноаморфного гидратированного гидротроилита при взаимодействии гидроксидов железа с сероводородом при комнатной температуре. В ходе экспериментов [79] происходило старение и обезвоживание гидротроилита, и по прошествии примерно полугода образовался кристаллический дисульфид железа – пирит. Повышенная сорбционная способность исходного гидротроилита к золоту является, возможно, не только следствием большей удельной поверхности, но и наличием ОН- и HS<sup>-</sup> групп в составе минеральной фазы. Предполагается их участие в концентрировании золота с участием механизма хемосорбции. Присутствие этих групп в структуре гидротроилита было установлено ранее [35].

#### **ОБСУЖДЕНИЕ СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ТИПА И ВОЗМОЖНЫХ РУДОПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ СОВРЕМЕННОГО МОРСКОГО ДНА**

Автор полагает, что обнаруженные в черносланцевых толщах представители метаново-битумоидного ряда ОВ, инкрустированные золотом остатки микроорганизмов (и в первую очередь – типичные для современных бактериальных матов так называемые войлочные формы), состав вмещающих отложений (в частности, наличие карбонатов как новообразований) позволяют достаточно уверенно сопоставлять проблематичные источники поставки углеводородов, кремнезема, серы и (возможно) некоторых рудных элементов в эти толщи с широко распространенными в современных приконтинентальных впадинах сипами. В свою очередь, это сопоставление позволяет уточнить условия формирования черносланцевых толщ, в частности, их генетический тип, приуроченный к приконтинентальным бассейнам, подобным современным.

Такой тип структуры палеобассейна может интерпретироваться как относительно мелководный прогиб (впадина), в котором аккумуляровались будущие отложения черносланцевого типа, отличающиеся "грязными" карбонатными толщами [5]. "Загрязненность" карбонатов обусловлена привнесением терригенного материала, а также смешением материала разного происхождения. Зоны проявления сипов, как отмечалось выше, контролируются тектоническими нарушениями с преобладанием сдвиговой компоненты и тенденциями растяжения, причем последние реально установлены в виде эскарпов сбросов в так называемой Алеутской субдукционной зоне, осадочные отложения которой некоторыми исследователями интерпретируются как аккреционная призма [101].

Вероятно, в подобных условиях (приконтинентальных впадин) могла происходить разгрузка дистальных турбидитных потоков черносланцевой толщи докембрия, описанная В.З. Негруцой с соавторами [57]. Для нее характерны сульфидная минерализация, представленная преимущественно пиритом, образованным на стадии раннего диагенеза в условиях бактериального преобразования органики осадочного вещества. В газовой фазе присутствуют гомологи метана до пентана включительно. Такая гомеотипия генетических признаков позволяет, как мне кажется, дополнить предполагаемый авторами публикации углеводородный потенциал толщи также и тонким золотом.

Следующий пример близок к указанным условиям, но режим седиментации более мелководный и представлен литолого-фациальным комплексом отложений с золоторудной минерализацией позднюр-

ских тыловых бассейнов барьерных рифов Северного Кавказа [8]. Золото тяготеет к органическому веществу, высокие содержания которого (вплоть до накопления горючих сланцев) обусловлены планктоном, поглощавшим и усваивавшим золото, находившееся в морской воде в растворенном и взвешенном состоянии. В пределах приразломной зоны Центрального Предкавказья отмечена генерация углеводородных флюидов. Известные здесь глинисто-известковые битуминозные породы черного и темно-серого цвета могут рассматриваться как гомологи "грязных карбонатов" (см. выше), к ним же может быть отнесена какая-то часть биогермных образований с органогенно-детритовой разнотельной структурой, обычно представленных доломитизированными известняками и доломитами. Первичное тонкодисперсное золото под воздействием повышенных температур и давления было перераспределено в постседиментогенную фазу из вмещающих пород в трещины, где образовались золотосодержащие кварц-сульфидные прожилки.

Еще более мелководные, практически приуроченные условия осадконакопления можно предполагать в случае совмещения золоторудной и урановой минерализации на месторождениях типа упомянутого Витватерсранда. Вещественный состав образований лишь условно может сопоставляться с черносланцевыми толщами, представляя их прибрежные фации – литоральные и супралиторальные. Первичные концентрации золота и урана пространственно тяготеют к перемещавшейся в прошлом береговой линии палеобассейна, к которой были приурочены и более высокие концентрации ОВ, осаждавшегося на границе суша-море, но сохранившегося в морфоструктурах-ловушках наиболее тонкого осадочного материала (типа современных бухт- и заливов-ловушек в Японском море [76]) в условиях восстановительного потенциала придонных вод.

В заключение попытаемся наметить в пределах современных приконтинентальных бассейнов области дна, осадки которых могут рассматриваться в качестве гомологов черносланцевых толщ и потенциально содержать первичные синседиментационные концентрации тонкого золота (повторим, пока реальные промышленно интересные объекты не обнаружены). В первую очередь будем рассматривать те, где тонкое золото уже отмечается или может предполагаться по ряду поисковых критериев.

Первая – приустьевые части рек, дренирующих области сноса с многочисленными коренными источниками золота благоприятных рудных формаций – эпитептермальной золото-серебряной, сульфидной и других подобных, характеризующихся хорошо проработанными зонами окисления и умеренно вскрытых эрозионным срезом. В этом отношении

определенные перспективы связываются с золото-серебряными месторождениями Северо-Востока России [66].

В качестве второй области можно было бы рассматривать фациальные обстановки типа малых заливов или заливов-ловушек, описанных в Японском море [76], если бы, естественно, здесь существовали оптимальные условия поставки рудного материала с суши. Наиболее благоприятна для аккумуляции рудного вещества в подобных объектах достаточно спокойная в гидродинамическом отношении обстановка осаждения и накопления тонкозернистого материала на фоне высокого содержания органического вещества. Моделью подобного мелководного типа седиментации и концентрации в осадках тонкого золота мог бы быть район Сахалинского залива, но при условии (ныне отсутствующем), что пролив Невельского был бы перекрыт и являлся кутовой частью Сахалинского залива. В этом случае Амурский лиман и южная часть Сахалинского залива представляли бы собою перспективный объект на тонкое золото в илах.

Наконец, в качестве третьей области дна как актуалистической модели эпипалеобассейнов, в которых формировались черносланцевые толщи, могла бы быть северная часть Татарского пролива при осуществлении хотя бы одного из двух альтернативных и одного обязательного условий. Из альтернативных: весь поток взвешенного и растворенного рудного материала, выносимого р. Амур, проходил бы через пролив Невельского, либо же на побережьях Сахалинского залива и северной части Татарского пролива имелись бы благоприятные источники поставки рудного вещества. Реализация любой из этих вводных должна осуществляться на фоне обязательного условия – длительно и активно действующей системы сипов, которые пока в этом районе не обнаружены.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Специфика месторождений невадийского (карлинского) типа определяется условиями образования так называемых черносланцевых формаций, т. е. условиями поставки и распределения терригенного материала, сходными с таковыми в современных приконтинентальных бассейнах. Можно наметить, по крайней мере, две области дна таких бассейнов, которые могут представлять собою актуалистические модели, иногда различающиеся в черносланцевых толщах типами рудогенеза.

Первая соответствует обстановкам современного шельфа – от приуроченных до его бровки, они отличаются от всех других шельфовых как ловушки

терригенного материала с высокими темпами его аккумуляции в отстойных условиях, сопровождающихся повышенным содержанием ОВ и дефицитом свободного кислорода.

Вторая представляет собою осадконакопление в современных эпибатиальных котловинах у континентального склона, где также преобладает восстановительный режим, а дефицит кислорода может сопровождаться сероводородным заражением придонных вод и осадков. Темпы осадконакопления здесь ниже, чем в предыдущей области, почти на порядок, и дефицит ОВ, необходимого для типичных черносланцевых толщ, компенсируется за счет его поступления из холодных эксгальационных источников типа современных сипов.

Ураново-золотой и медно-золотой рудные парагенезы, по всей видимости, связаны с наиболее мелководными, приурезовыми обстановками палеобассейнов, все остальные парагенезы – с более глубоководными, эпибатиальными.

2. Основным источником первичной концентрации тонкого золота в осадках является терригенная поставка, реализуемая в следующих рядах его перераспределений и видовых трансформаций.

В мелководной области (и в первую очередь – в зоне биогеохимических барьеров на границе суши-море) – золото в ионной форме + золото взвеси (соответственно, жидкая и твердая фазы речного стока) на стадии сингенеза с участием ОВ переходят в осадок, насыщая гидротроилит. Следующее перераспределение – на стадии сингенеза и раннего диагенеза. Происходит сброс избытка золота (с переходом его в свободное состояние) при замещении гидротроилита пиритом. Золотом (в тонкодисперсном виде и в сочетании с ОВ в виде золотоорганических соединений) обогащены наиболее тонкозернистые разности осадков, в связанном виде оно входит в состав сульфидов (пирита, арсенипирита). Заключительный (предметагенный) этап перераспределения – на стадии позднего диагенеза. Резкое изменение минерализации поровых вод в результате давления вышележащих слоев способствует перераспределению золота, ОВ, кремнекислоты, карбонатов и др. еще до проявления собственно метаморфических процессов – воздействия термальных растворов, эксгальций, как и избыточных температур и динамических напряжений. С метаморфическими процессами (которые, действительно, могут иметь значительный временной отрыв от сингенеза-диагенеза) связано окончательное перераспределение и видоизменение минерального состава как вмещающих пород, так и руд.

Для эпибатиальной области ряд перераспределений золота начинается с сорбции его растворенных форм глинистыми минералами в присутствии ОВ. Существенную роль при образовании золотоор-

ганических (биоорганических) соединений играют микроорганизмы. Источником поставки ОВ и основной существования микроорганики являются преимущественно холодные сипы. В эпибатиальных условиях увеличивается потенциал сероводородного заражения придонных вод и осадков и, соответственно, скорость и масштабы механизма выделения золота при трансформации сульфидов железа и, возможно, других элементов. Дальнейшие диагенетические и последующие метаморфогенные перераспределения золота подчинены описанной выше схеме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулин А.А., Матвиенко В.Н., Нарсеев В.А. Наноминералогия золота золоторудных месторождений основных промышленных типов // Отчет. геология. 2000. № 3. С. 20–40.
2. Айнемер А.И., Егизаров Б.Х., Краснов С.Г., Лихт Ф.Р. К проблеме металлоносных осадков и тонкого золота // Проблемы морских минеральных ресурсов. Владивосток, 1984. С. 93–103.
3. Андреев С.И. Рудогенез Мирового океана // Тихоокеан. геология. 1997. № 5. С. 25–33.
4. Ахмедов А.М., Белова М.Ю., Крупеник В.А., Сидорова И.Н. Микрофоссилии грибной природы из черных сланцев палеопротерозоя Печенгского комплекса (Кольский полуостров) // Докл. АН СССР. 2000. Т. 372, № 5. С. 646–649.
5. Бакулин Ю.И. Месторождения тонкодисперсного золота невадийского типа – тип регенерированных первично-осадочных месторождений // Тихоокеан. геология. 1998. № 4. С. 126–128.
6. Баранова Н.И., Козеренко С.В., Банникова Л.А., Барсуков В.П. Золото в гидротермальном процессе: условия его транспортировки и фиксации // 14-й Тихоокеан. научн. конгр. Хабаровск, 1979. С. 38–40.
7. Боголюбова Л.И., Тимофеев П.П. Органическое вещество меловых черных сланцев Мирового океана // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса. М., 2000. Т. 1. С. 116–118.
8. Бойко Н.И. О золоторудной минерализации в позднеюрских рифогенных образованиях северного Кавказа // Докл. АН СССР. 2000. Т. 370, № 3. С. 350–352.
9. Бортников Н.С., Кабри Л., Викентьев И.В. и др. Невидимое золото в сульфидах из современных подводных гидротермальных построек // Докл. АН СССР. 2000. Т. 372, № 6. С. 804–807.
10. Бродская Р.Л., Шумская Н.И. Модель образования кварца из золоторудных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) // Докл. АН СССР. 1998. Т. 362, № 3. С. 378–381.
11. Буряк В.А. Роль вулканогенно-осадочного и гидротермально-осадочного минералообразования в формировании золотого оруденения черносланцевых ("углистых") толщ // Докл. АН СССР. 1976. Т. 226, № 4. С. 907–910.
12. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование М.: Недра. 1982. 256 с.
13. Буряк В.А. Источники золота и сопутствующих ком-

- понентов золоторудных месторождений в углесодержащих толщах // Геология руд. месторождений. 1986. № 2. С. 31–42.
14. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. Владивосток: Дальнаука. 1987. 156 с.
  15. Буряк В.А., Бакулин Ю.И. Металлогения золота Владивосток: Дальнаука. 1988. 402 с.
  16. Буряк В.А., Неменман, Парада С.Г. Метаморфизм и оруденение углеродистых толщ Приамурья. Владивосток, 1988. 116 с.
  17. Буряк В.А. Проблема генезиса черносланцевых толщ и развитого в них золотого, золотоплатиноидного и прочих видов оруденения // Тихоокеан. геология. 2000. № 1. С. 118–129.
  18. Быковский Л.З., Зубков Л.Б. Современные задачи изучения и оценки возможностей комплексного использования россыпных месторождений // Отеч. геология. 1998. №3. С. 17–20.
  19. Быховер Н.А. Экономика минерального сырья. М.: Недра, 1971. 192 с.
  20. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Чхетия Д.Н. и др. Сорбция на гуминовых кислотах как основа первичного накопления золота и элементов группы платины в черных сланцах // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 6. С. 605–612.
  21. Вилор Н.В. К проблеме золотоносности черных сланцев // Геохимия. 1983. № 4. С.560–568.
  22. Виноградов Л.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 216 с.
  23. Гаскова О.Л., Бортникова С.Б., Айрияц А.А. и др. Геохимические особенности техногенного озера, содержащего отходы цианирования золото-арсенипирит-кварцевых руд // Геохимия. 2000. № 3. С. 317–328.
  24. Геохимия литогенеза в условиях сероводородного заражения (Черное море) // Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР. Новосибирск: Наука, 1988. Вып. 705. 194 с.
  25. Гольдфарб Ю.И. Динамические типы аллювиальных россыпей золота Северо-Востока России // Литология и полез. ископаемые. 1998. № 5. С. 468–483.
  26. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
  27. Гордеев В.В., Егоров А.С., Лисицын А.П. и др. Растворенное золото в поверхностных водах северо-восточной Атлантики // Геохимия. 1997. № 11. С. 1139–1148.
  28. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана М.: Науч. мир, 1998. 340 с.
  29. Егизаров Б.Х., Айнемер А.И., Краснов С.Г. и др. Металлоносные осадки океанов – новый тип минерального сырья // Мировой океан и его минеральные ресурсы. Л., 1981. С. 5–16.
  30. Жабин А.Г. Рудоподготовительные процессы в черносланцевых осадочных формациях // Отеч. геология. 1997. № 6. С. 35–40.
  31. Звягинцев О.Е. Геохимия золота. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 114 с.
  32. Зоненшайн Л.П., Мурдмаа И.О., Баранов Б.В. и др. Подводный газовый источник в Охотском море к западу от о-ва Парамушир // Океанология. 1987. Т. 27, вып. 5. С. 795-801.
  33. Ивенсен Ю.П., Левин В.И., Нужнов С.В. Формационные типы древних золотоносных россыпей и методы их поисков. М.: Наука, 1969. 208 с.
  34. Кардаш В.Т., Лебедь Н.И., Луцкив Я.К. Новый полигенетический тип золотоносных отложений на украинском шельфе Азово-Черноморской депрессии // XI Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания: "Важнейшие промышленные месторождения и типы россыпей и кор выветривания. Технология оценки и освоения". М., 1997. С. 107.
  35. Козеренко С.В., Храмов Д.А., Фадеев В.В. и др. Исследование механизмов образования пирита в водных растворах при низких температурах и давлениях // Геохимия. 1995. № 9. С. 1352–1366.
  36. Константиновский А.А. О распределении мелкого и тонкого золота в терригенных отложениях конечных бассейнов седиментации // Континентальные россыпи Востока СССР. Благовещенск, 1982. Ч. 1. С. 104–105.
  37. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций // Геохимия. 1985. № 12. С. 1747–1757.
  38. Коробушкин И.М. О форме нахождения "тонкодисперсного" золота в пирите и арсенипирите // Докл. АН СССР. 1970. Т. 192, № 5. С. 1121–1122.
  39. Котина Р.П., Швецов П.В. Формирование автономной рудогенерирующей структуры на стадии метагенеза // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302, № 2. С. 396–399.
  40. Краускопф К. Осадочные месторождения редких металлов // Проблемы рудных месторождений М.: Инстр. лит., 1959. С. 388–440.
  41. Лаверов Н.П., Митрофанов Г.Л. и др. Платина и другие самородные металлы в рудах месторождения золота Сухой Лог // Докл. АН СССР. 1997. Т. 355, № 5. С. 664–668.
  42. Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л. Платина и самородные металлы месторождения Сухой Лог // Наука в России. 1999. №2. С. 4–7.
  43. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю. Дистлер В.В. и др. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог // Докл. АН СССР. 2000. Т. 371, № 1. С. 88–92.
  44. Легедза В.Я. К вопросу об условиях концентрации тонкодисперсного золота в осадочных породах // Докл. АН СССР. 1969. Т. 185, № 2. С. 437–440.
  45. Леин А.Ю., Пименов Н.В., Саввичев А.С. и др. Метан как источник органического вещества и углекислоты карбонатов на холодном сипе в Норвежском море // Геохимия. 2000. № 3. С. 268–281.
  46. Линдгрэн В. Минеральные месторождения. М.; Л.: Объед. научн.-техн. изд-во НКТП СССР, 1935. Вып. 111. 394 с.
  47. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 393 с.
  48. Лихт Ф.Р. Современное приконтинентальное осадкообразование и реконструкции однотипных обстановок в геологическом прошлом Азии. Владивосток: Дальнаука, 1993. 239 с.

49. Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма М.: Недра, 1980. 248 с.
50. Масленников В.В. Черносланцевые отложения золоторудных районов (на примере Восточно-го Казахстана) // Литология и полез. ископаемые. 1993. № 3. С. 88–98.
51. Маслов Ю.С. О золотоносности донных осадков прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря // Материалы по геологии и полез. ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан, 1974. Вып. 21. С. 199–204.
52. Мирзаханов Г.С., Мирзаханова З.Г. Стратифицированное золото-кварцевое оруденение углеродисто-терригенных толщ Южного Верхоянья. Владивосток, 1991. 126 с.
53. Моисеенко В.Г., Михайлов М.А., Сахно В.Г. Поведение золота и серебра при осадконакоплении, вулканизме и метаморфизме. Новосибирск: Наука, 1974. 102 с.
54. Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. Золоторудные месторождения Востока России. Владивосток: Дальнаука, 1996. 358 с.
55. Моисеенко В.Г. Особенности формирования полигенных россыпей золота и методы их оценки. Благовещенск, 1997. 101 с.
56. Моисеенко В.Г., Куимова Н.Г., Макеева Т.Б., Павлова Л.М. Образование биогенного золота мицелиальными грибами // Докл. АН СССР. 1999. Т. 364, № 4. С. 535–537.
57. Негруца В.З., Полеховский Ю.С., Петровский М.Н., Тарасова И.П. Пиритовая минерализация в черных сланцах верхнего докембрия полуострова Рыбачий // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 2. С. 157–167.
58. Опекунов А.Ю. Дифференциация осадочного материала на шельфе Восточно-Арктических морей (на примере Анадырского залива): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л., 1990. 24 с.
59. Петров В.Г. Золото и органическое вещество в осадочно-метаморфогенных толщах докембрия Енисейского кряжа // Тр. Ин-та геол. и геоф. СО АН СССР. 1976. Вып 370. С. 21–34.
60. Плюснин А.М., Погребняк Ю.Ф., Татьянакина Э.М. Влияние криогенных процессов на формирование водных потоков рассеяния золота // Докл. АН СССР. 1979. Т. 247, № 3. С. 700–702.
61. Погребняк Ю.Ф., Пустельников О.С., Тримонис Э.С. Золото в водной взвеси Балтийского, Северного и Черного морей // Геохимия. 1980. № 1. С. 116–121.
62. Поликарпочкин В.В., Коротаева И.Я., Гапон А.Е. Концентрирование хемогенного золота в осадкообразовании // Ежегодник Ин-та геохимии СО АН СССР. Иркутск, 1969. С. 240–245.
63. Резник В.П., Федорчук Н.А. Тонкое золото в морских и океанических осадках // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 4. С. 355–363.
64. Риндзюнская Н.М., Матвеева Е.В. Экзогенные месторождения с мелким и тонким золотом – перспективы XXI века // Отеч. геология. 1998. № 3. С. 20–25.
65. Росляков Н.А., Непейна Л.А., Цимбалист В.Г. и др. Формы нахождения и миграции золота в коре выветривания золотосульфидных месторождений // Геохимия и условия образования руд золота и редких металлов. Новосибирск: Наука, 1972. С. 125–138. (Тр. Ин-та геологии и геофизики; Вып. 149).
66. Савва Н.Е., Пляшкевич А.А., Петров С.Ф. Золотосеребряные и серебряные месторождения окраинно-континентальных вулканических поясов Северо-Востока России // Отеч. геология. 1997. № 12. С. 6–14.
67. Сафонов Ю.Г. Золото России: перспективы на будущее // Наука в России. 2000. № 1. С. 4–9.
68. Сахарова М.С., Аполлонов В.Н., Калиткина Н.А. и др. О раннем золоте и возможностях его перераспределения в сульфидных рудах // Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1972. Вып. 44. С. 64–69.
69. Сидоров А.А., Волков А.В. О некоторых аналогиях в строении и составе рудных залежей на золотосульфидных месторождениях Карлин (США, штат Невада) и Майское (Россия, Чукотка) // Докл. АН СССР. 1998. Т. 359, № 2. С. 226–230.
70. Сидоров А.А., Волков А.В. К проблеме углеродистого вещества в рудообразовании (Майское золоторудное месторождение, Центральная Чукотка) // Докл. АН СССР. 1999. Т. 369, № 2. С. 241–243.
71. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Базовые рудные формации и новый подход к систематике месторождений // Тихоокеан. геология. 1989. № 6. С. 97–102.
72. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Условия образования черносланцевых толщ и их металлогеническое значение // Тихоокеан. геология. 2000. № 1. С. 37–49.
73. Сидоров А.А., Томсон И.Н. Рудоносность черносланцевых толщ: сближение альтернативных-концепций // Вестн. РАН. 2000. Т. 70, № 8. С. 719–724.
74. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 366 с.
75. Соколов Б.А. Нефтегазоносность Земли // Наука в России. 1996. № 6. С. 16–20.
76. Структура осадков и фации Японского моря. Владивосток, 1983. 287 с.
77. Торохов П.В., Таран Ю.А., Сагалевиц А.Х. и др. Изотопный состав метана, двуокиси углерода и карбонатов из термальных вентов подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Докл. АН СССР. 1991. Т. 318, № 3. С. 728–732.
78. Тюрин Н.Г. О тонкодисперсном золоте в пирите // Геология руд. месторождений. 1965. Т. 7, № 5. С. 70–75.
79. Фадеев В.В., Козеренко С.В., Углов Б.Д., Былинский Е.Н. Золото в процессах пиритообразования. Сообщение 1. Концентрирование золота в процессах пиритообразования // Геохимия. 1999. № 12. С. 1313–1322.
80. Фишер Э.И., Фишер В.Л., Миллер А.Д. Экспериментальные исследования характера взаимодействия природных органических кислот с золотом // Сов. геология. 1974. № 7. С. 142–146.
81. Фишер Э.И., Фишер В.Л. Роль гумусовых кислот в процессах сорбции золота иловыми осадками // Литология и полез. ископаемые. 1984. № 5. С. 77–82.
82. Хаусен Д.М., Керр П.Ф. Рудные месторождения США. М.: Мир, 1973. Т. 2. С. 590–624.
83. Чухров Ф.В. О миграции золота в зоне окисления // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1947. № 4. С. 117–126.

84. Шер С.Д. Металлогения золота (С. Америка, Австралия и Океания). М.: Недра, 1972. 295 с.
85. Эйриш Л.В. К перспективам выявления на Дальнем Востоке России месторождений карлинского типа // Тихоокеан. геология. 1998. № 4. С. 72–79.
86. Belzile N., Tessier A. Interactions between arsenic and iron oxyhydroxides in lacustrine sediments // *Geochim. Et Cosmochim. Acta*. 1990 V. 54. P. 103–109.
87. Bohrmann G., Greinert J., Suess E. Authigenic carbonates from Cascadia subduction zone and their relation to gas hydrate stability // *Geology*. 1998. V. 26, N 7. P. 647–650.
88. Fu D., Aharon P., Byerly G.R. Barite chimneys of the Gulf of Mexico slope: initial report on their petrography and geochemistry // *Geo-marine Letters*. 1994. N 14. P. 81–87.
89. Ginsburg G.D., Soloviev V.A., Cranston R.E. et al. Gas hydrates from the continental slope offshore Sakhalin Island, Okhotsk Sea // *Geo-marine Letters*. 1993. N 13. P. 41–48.
90. Hummel R.W. Determination of gold in sea-water by radioactivation analysis // *Analyst*. 1975. V. 82. P. 483.
91. Kulm L.V.D., Suess E. Relationship between carbonate deposits and fluid venting: Oregon accretionary prism // *Journ. of Geophys. Res.* 1990. V. 95, N B6. P. 8899–8915.
92. Nelson H., Hopkins D.M. Sedimentary processes and distribution of particulate gold in Northern Bering Sea // *US Geol. Surv. Open file report*. 1969. 55 p.
93. Ong H.L., Swanson V.E. Natural organic acid in the transportation deposition and concentration of gold // *Quart. Colorado School Mines*. 1969. V. 64., N 1. P. 395–425.
94. Remnitz E., Van Huene R., Wight F. Detrital gold and sediments in Nuka Bay, Alaska // *US Geol. Surv. Prof. Pap.* 700-c. 1970. P. c35–c42.
95. Roberts H.H., Aharon P., Carney R. et al. Sea floor responses to hydrocarbon seeps, Louisiana continental slope // *Geomarine Letters*. 1990. N 10. P. 232–243.
96. Roberts H.H., Aharon P. Hydrocarbon-derived carbonate buildups of the northern Gulf of Mexico continental slope: A review of submersible investigations // *Geomarine Letters*. 1994. N 14. P. 135–148.
97. Sassen R., Roberts H.H., Aharon P. et al. Chemosynthetic bacterial mats at cold hydrocarbon seeps, Gulf of Mexico continental slope // *Org. Geochem*. 1993. V. 20, N 1. P. 77–89.
98. Schutz D.F., Turekian K.K. The investigation of the geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1965. V. 29, N 4. P. 59–313.
99. Seliverstov N.I., Torokhov P.I., Egorov Yu.O. et al. Active seeps and carbonates from the Kamchatsky Gulf (East Kamchatka) // *Bull. Geol. Surv. of Denmark*. 1994. V. 41. P. 50–54.
100. Stakes D.S., Orange D., Paduan J.B. et al. Cold-seeps and authigenic carbonate formation in Monterey Bay, California // *Marine Geology*. 1999. V. 159. P. 93–109.
101. Suess E., Bohrmann G., Huene, von R. et al. Fluid venting in the eastern Aleutian subduction zone // *Journ. of Geophys. Res.* 1998. V. 103, N B2. P. 2597–2614.
102. Thomson J., Mercone D., de Lange G.J., van Santvoort P.G.M. Review of recent advances in the interpretation of eastern Mediterranean sapropel S1 from geochemical evidence // *Marine Geol.* 1999. V. 153. P. 77–89.

Поступила в редакцию 12 июля 2000 г.

Рекомендована к печати В.Г. Моисеенко

**F.P. Likht**

### **Conditions for thin gold concentration in near-continental marine sedimentation (on sedimentation model for black shale-type deposits)**

The review of materials on metallogeny for the so-called «thin- or invisible gold» (TG) has enabled us to make the origin of the Nevadian-or Carlin-type deposits (CTD) clear in the black shale formations (BSF). The resemblance of the above-mentioned deposits with sediments from near-continental marine basins provides a way for determination of the specific conditions for sedimentation and the mechanisms for TG supply, migration and sedimentation favored for TG concentration in the deposits related to the black shale formations. TG concentration in CTD appears to be primary and sedimentogenic. The superposition of succeeding metamorphic processes leads to redistribution of the primary concentrations and the initiation of transformed ore and mineral associations giving an impression of the genetic separation of the sedimentation and ore formation. The possibility of the primary gold concentration is based on the mechanisms and volumes of gold supply from the land along with the terrigenous material and TG accumulation in sediments under the influence of the organic material, including microorganisms. It is noted that cold water and gas hydrocarbon sources on the sea bottom (similar to the recent seep-venting systems) are an important factor in the formation of the organic carbon potential in BSF. The latter are characterized by specific carbonate rocks, which might be formed and primary thin gold might be concentrated. They are similar to those formed by the above-mentioned sources and reef communities. Some bottom regions within the recent basins have been chosen as actualistic sedimentation models for the CTD, where the formation of homologues for BSF is possible and primary TG concentration, respectively.