

УДК 553.068.5

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ В ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЯХ (ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

© 2023 г. З. С. Никифорова^{a, *}, Ю. А. Калинин^{a, b, **},
В. А. Наумов^{c, d, ***}, А. В. Лаломов^{e, ****}

^aИнститут геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
ул. Ленина, 39, Якутск, 677000 Россия

^bИнститут геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
просп. акад. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия

^cИнститут геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН,
ул. акад. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620110 Россия

^dЕстественнонаучный институт Пермского государственного
национального исследовательского университета, ул. Генкеля, 4, Пермь, 614990 Россия

^eИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*e-mail: znikiforova@yandex.ru

**e-mail: kalinin@igm.nsc.ru

***e-mail: naumov@psu.ru

****e-mail: lalomov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.02.2023 г.

После доработки 17.04.2023 г.

Принята к публикации 20.04.2023 г.

Впервые предложена модель формирования золотоносных россыпей для платформенных областей. Россыпи на платформах образованы, в основном, за счет докембрийских рудных источников, пространственно приуроченных к выходам фундамента, и, локально, мезозойских, сформированных при проявлении тектоно-магматической активизации в зонах палеорифтов и глубинных разломов. Россыпи, образованные за счет докембрийских источников, характеризуются наличием мелкого и тонкого золота размером 0.1–0.25 мм и, как правило, не представляют промышленного интереса. Они образуют косовые аллювиальные и прибрежно-морские россыпи дальнего сноса и рассматриваются как комплексные, преимущественно редкометалльно-титановые, где золото присутствует в качестве попутного компонента. Россыпи, сформированные за счет источников мезозойского этапа рудообразования, относятся к классу мелких и средних по запасам, размер золота в них от пылевидного до 0.2–0.25 мм и более и отрабатываются они обычно старательскими артелями. Россыпи на платформах не образуют пластовые залежи, поскольку они сформированы в основном за счет источников не россыпеобразующих формаций. Наличие таких россыпей свидетельствует о близости рудного проявления, тип и местонахождение которого можно установить на основании изучения минералого-геохимических особенностей самого россыпного золота.

Ключевые слова: Сибирская и Восточно-Европейская платформа, россыпи, коры выветривания, закономерности размещения, типоморфные признаки россыпного золота.

DOI: 10.31857/S0024497X23700209, **EDN:** WQXLRN

При изучении россыпной золотоносности на востоке Сибирской платформы было установлено, что мелкое и тонкое золото образует широкий ореол рассеяния вблизи выходов фундамента и встречается в четвертичных отложениях практически во всех водотоках (рис. 1). Это золото по типоморфным признакам относится к золоту дальнего сноса, которое претерпело существенные

изменения в экзогенных условиях (корах выветривания, промежуточных коллекторах и т.д.) в результате переотложения из древних уровней в более молодые [Никифорова и др., 2020]. Оно обладает характерными минералого-геохимическими признаками и представлено мелким и тонким высокопробным золотом с преобразованной внутренней структурой (перекристаллизацией,

Таблица 1. Типоморфные признаки двух типов россыпного золота (восток Сибирской платформы)

Типы золота	Размер	Форма	Поверхность	Химический состав	Сростки	Микро-включения	Внутреннее строение
I тип	0.1–0.25 мм	Чешуйчатое, пластинчатое, комковидное	Шагреновая, нередко с отпечатками вдавливания минералов	900–1000‰; Cu 0.2–1.2%, Hg 0.1–0.2%	Псевдо-сростки с окатанными минералами (ильменит, циркон, кварц)	Кварц, пирит, арсенопирит	Рекристаллизация линии пластических деформаций, высокопробные оболочки (20–30 мкм)
II тип	0.1–1 мм, 1 мм и более	Таблитчатое, комковидное, комковидно-угловатое рудного облика	Грубошагреновая, ямчато-бугорчатая, пористая	800–899‰ – 30–70%, 700–799‰ – 10–35%, 600–699‰ – до 15%, Hg – до 6.2%, Cu – 0.2–1.2%, As – 0.1%, Pb – 0.005%, Sn – 0.02%, Sb – 0.0008%, Fe – 0.1%	Сростки с халцедоно-видным кварцем	Кварц, альбит, пирит, арсенопирит, теллуриды (петцит)	Неизменное моно- или крупнозернистое строение, неясно-зональные структуры, тонкие высокопробные оболочки (первые мкм), структуры эндогенных преобразований – грануляция и дезинтеграция

рекристаллизацией), чешуйчатой формы, размером 0.1–0.25 мм, в котором практически отсутствуют элементы-примеси и микровключения. Это золото выделено нами как золото I типа, поступавшее из золото-кварц-карбонатных жил докембрийского этапа образования (табл. 1, рис. 2) [Никифорова и др., 2011, 2013]. Наряду с россыпным золотом I типа, выявлено золото II типа, характеризующееся совершенно другими минералогическими особенностями (рис. 3). Такое золото обнаружено в палеорифтах (Вилуйский, Уджинский и др.), а также в терригенно-карбонатных толщах, приуроченных преимущественно к глубинным разломам (Нюрбинский, Баппагайский, Хоринский и др.), или системе разломов (Молодо-Поппайская система разломов и т.д.). Золото II типа имеет размер от пылевидного до крупного 0.5 мм и более. Пробность золота изменяется от низкопробного до высокопробного, в нем наблюдается широкий диапазон элементов-примесей и разнообразный состав микровключений. Минералогические особенности россыпного золота II типа (форма, размер, химический состав, микровключения) полностью зависят от формационного типа коренного источника.

Анализ опубликованной литературы позволил установить, что на всех платформах мира крупнейшие месторождения докембрийского этапа образования типа Керкленд-Лейк, Поркьюпайн, Колар, Калгурли и др., расположенные в зоне зе-

ленокаменных поясов, также не образуют промышленные золотоносные пластовые россыпи, поскольку рудные тела сложены преимущественно мелким субмикроскопическим золотом пробностью 800–950‰ в сульфидах, иногда в теллуридах. В связи с этим, эти крупные месторождения формируют лишь широкий ореол рассеяния мелкого и тонкого золота размером 0.1–0.25 мм в четвертичных отложениях или небольшие по запасам россыпепроявления. К примеру, на Северо-Американской платформе (Канадском щите) в обрамлении крупнейших месторождений мира Керкленд-Лейк, Поркьюпайн и других (докембрийского этапа образования), не обнаружено крупных россыпей, это объясняется тем, что данные россыпи сформированы, возможно, в основном, за счет золото-сульфидно-кварцевой минерализации, которая не образует пластовые россыпи с крупным металлом. Небольшие по запасам россыпи наблюдаются в зонах палеорифтов (Скальный рифт, месторождение Крипл-Крик золото-серебряной формации, мезозойского этапа рудообразования) [Рудные формации ..., 1976]. Незначительный ореол рассеяния пылевидного золота отмечается вблизи крупных месторождений типа Карлин, преимущественно приуроченных к глубинным разломам или к системе разломов, надвиговых зон и других, где проявлена тектоно-магматическая активизация мезозойского возраста. Такие же закономерности образования россыпей, связанные с двумя основными этапа-

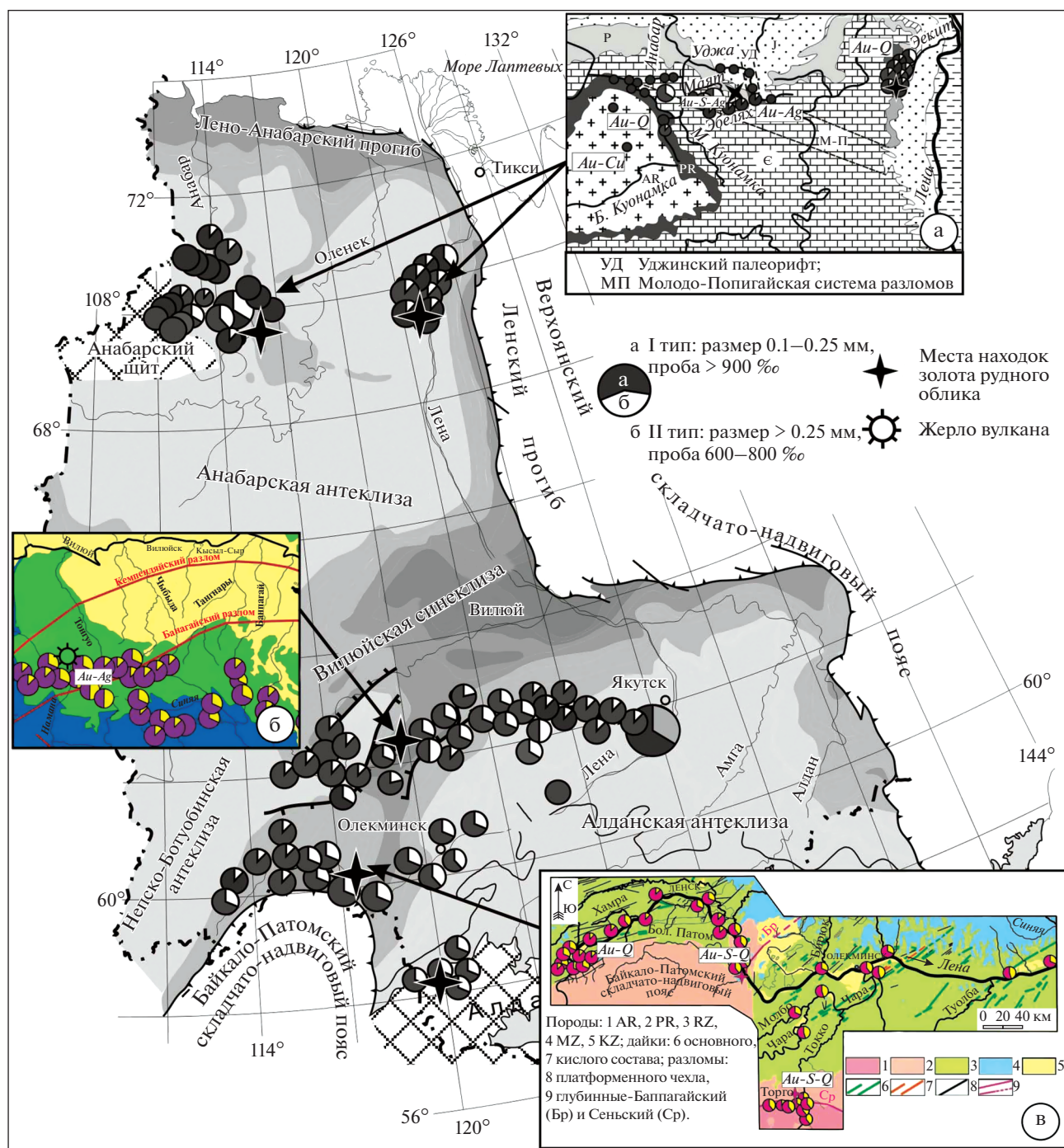


Рис. 1. Схема территории исследований россыпной золотоносности и закономерности распространения двух типов золота на востоке Сибирской платформы в бассейне рек Анабар, Куонамка, Эекит и др. (а); Лено-Вилуйского водораздела (Тонгуо, Чыбыда, Намана и др.) (б); Средней Лены (Витим, Большой Патом, Торго и др.) (в).

ми рудообразования, установлены и на других платформах мира.

В данной статье впервые предлагается рассмотреть модель россыпеобразования на платформах, которая отличается от образования россыпей в складчатых областях. В складчатых (орогенных) областях россыпи сформированы в основном за

счет коренных источников мезозойского этапа рудообразования золото-кварцевой и золото-кварц-малосульфидной формации и образуют промышленные пластовые россыпи. В качестве эталонного объекта рассмотрено образование россыпи за счет докембрийских и, частично, мезозойских источников на востоке Сибирской платформы,

I тип

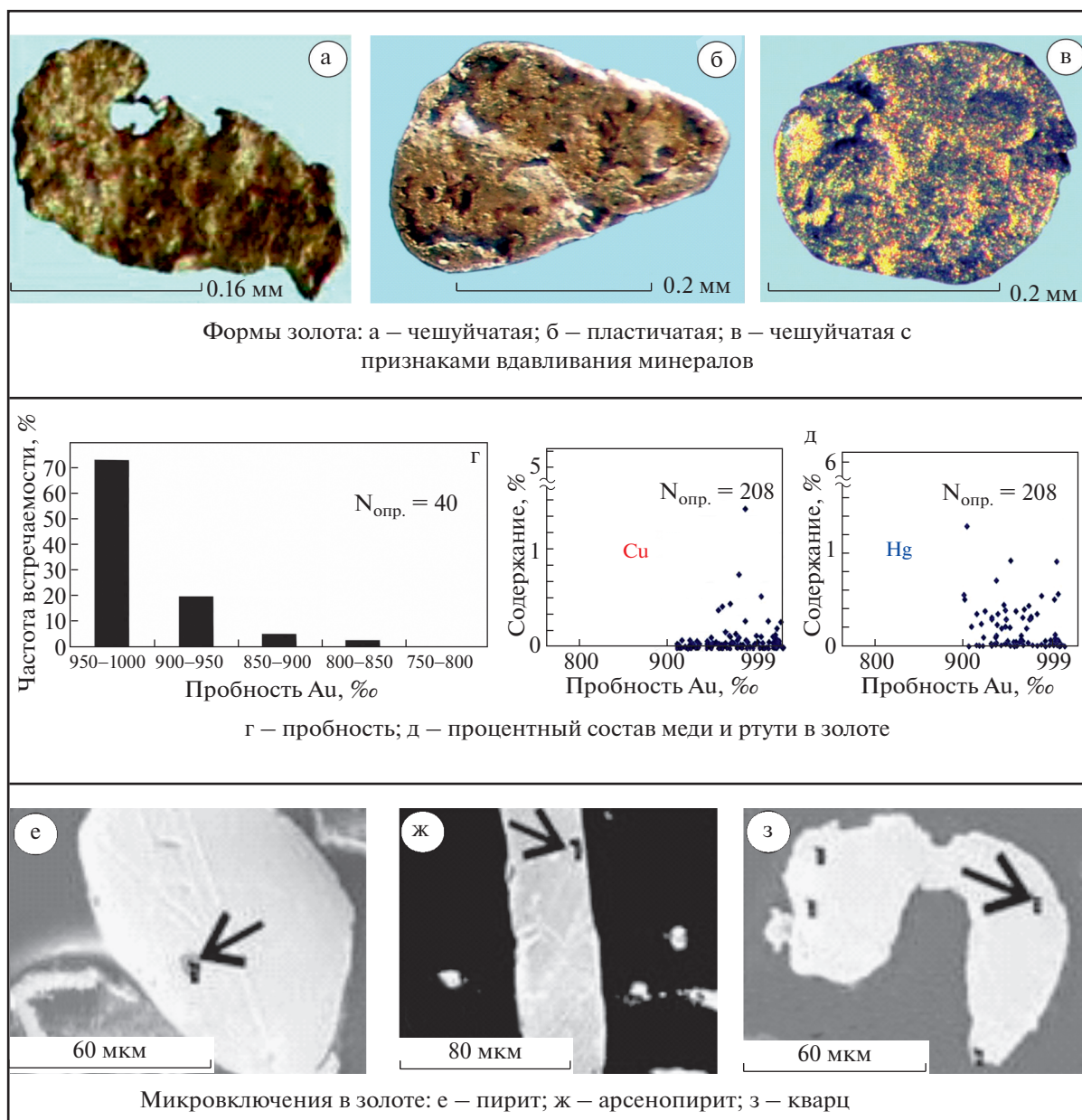


Рис. 2. Минералого-геохимические особенности россыпного золота I типа.

затем приводятся примеры формирования россыпей на Восточно-Европейской и других платформах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образование россыпей в корях выветривания

Начальный этап образования россыпей связан с формированием и эволюцией кор выветривания, которые широко развиты на всех платформах [Калинин и др., 2006]. Процессы в корях выветривания несколько отличаются в платформенных

областях от складчатых, поскольку они происходили в устойчивых тектонических структурах и протекали длительное время. Стабильный тектонический режим и характерные особенности выровненного рельефа благоприятно влияли на интенсивное проявление глубоких химических процессов в золотоносных породах, что привело к масштабному высвобождению золота из материнских пород. Коры выветривания, сформированные на породах древнего складчатого основания платформенных областей, занимали совершенно определенное положение в тектонической

II тип

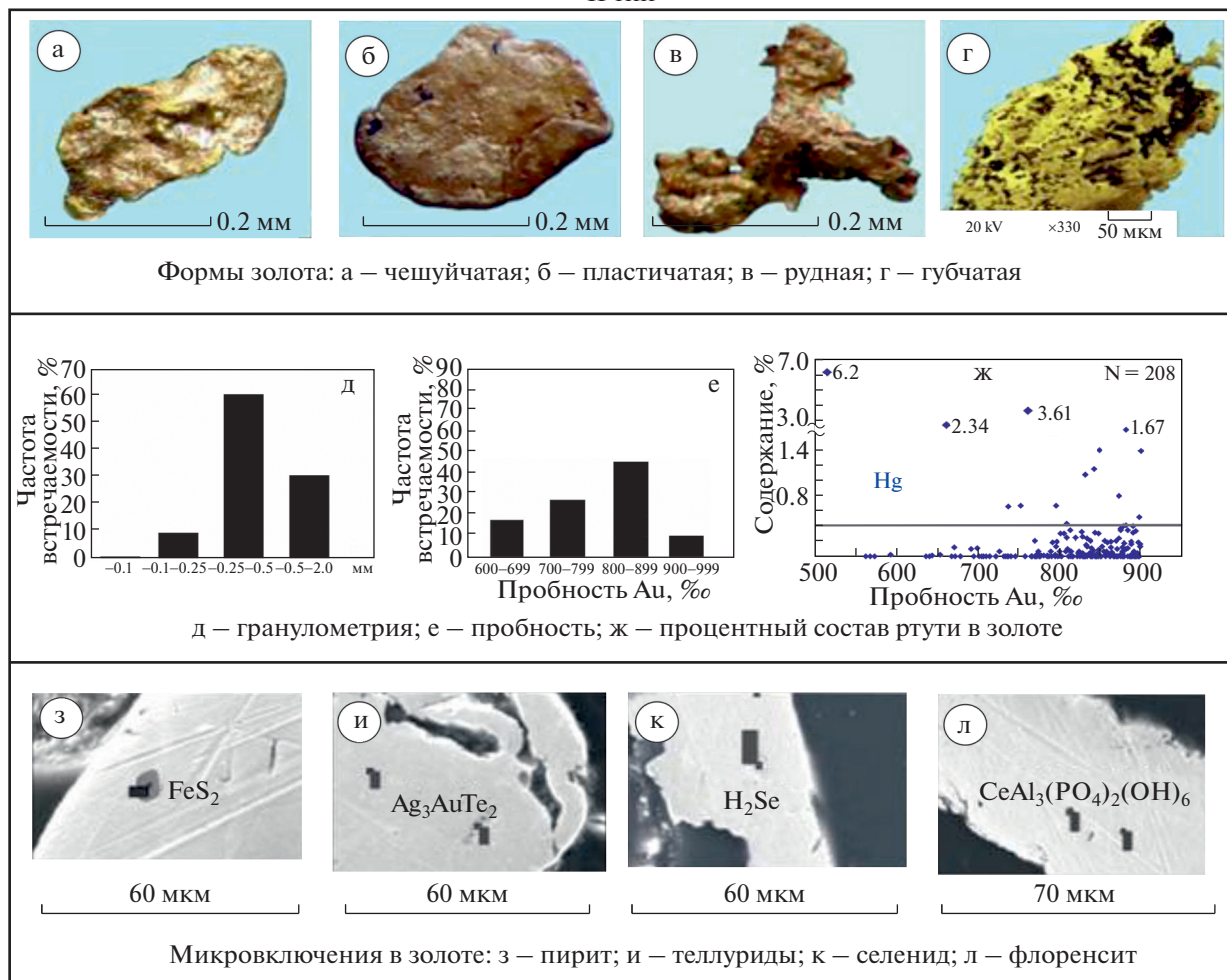


Рис. 3. Минералого-геохимические особенности россыпного золота II типа.

структуре [Матвеева, Риндзюнская, 2000; Шилов, 2000]. Они отличались большой мощностью и покрывали плащеобразно материнские породы выступов фундамента щитов, поднятий и других положительных структур, хотя впоследствии они практически полностью были уничтожены, а их продукты претерпели многократное переотложение из древних уровней в более молодые. В упрощенном виде особенности эволюции золотоносных продуктов выветривания в реликтовом, аккумулятивном и эрозионном режимах приведены на рис. 4.

Изначально в корках выветривания золото представлено в основном мелкими и тонкими частицами (размером 0.1–0.25 мм и менее), часто в сростках с сульфидами, также дисперсных размеров [Жмодик и др., 2012]. Крупные золоторудные месторождения докембрийского этапа рудообразования находятся в зеленокаменных трогах древнего щита. Золоторудные тела в этих трогах представлены зоной вкрапленности пирита и тел-

луридов. Золото в них мелкое до субмикроскопического, встречается оно иногда в пирите или в составе теллуридов [Рудные формации ..., 1976]. В связи с этим, данные месторождения не образуют промышленные золотоносные *пластовые россыпи*, а формируют лишь широкий ореол рассеяния мелкого и тонкого золота (*косовые россыпи с мелким тонким золотом, с небольшими запасами*). Поэтому элювиальные россыпи докембрийского этапа не образовывали промышленных концентраций, а формировали лишь широкий ореол рассеяния вблизи выходов фундамента. Этим и объясняется широкое распространение мелкого и тонкого золота в отложениях от докембрия до кайнозоя, которое отмечается на всех платформенных областях.

Кроме этого, на платформах обычны линейные коры выветривания, чаще наблюдаемые в терригенно-карбонатных толщах и пространственно связанные с глубинными разломами (рис. 5). Эти коры более молодые, образовались в

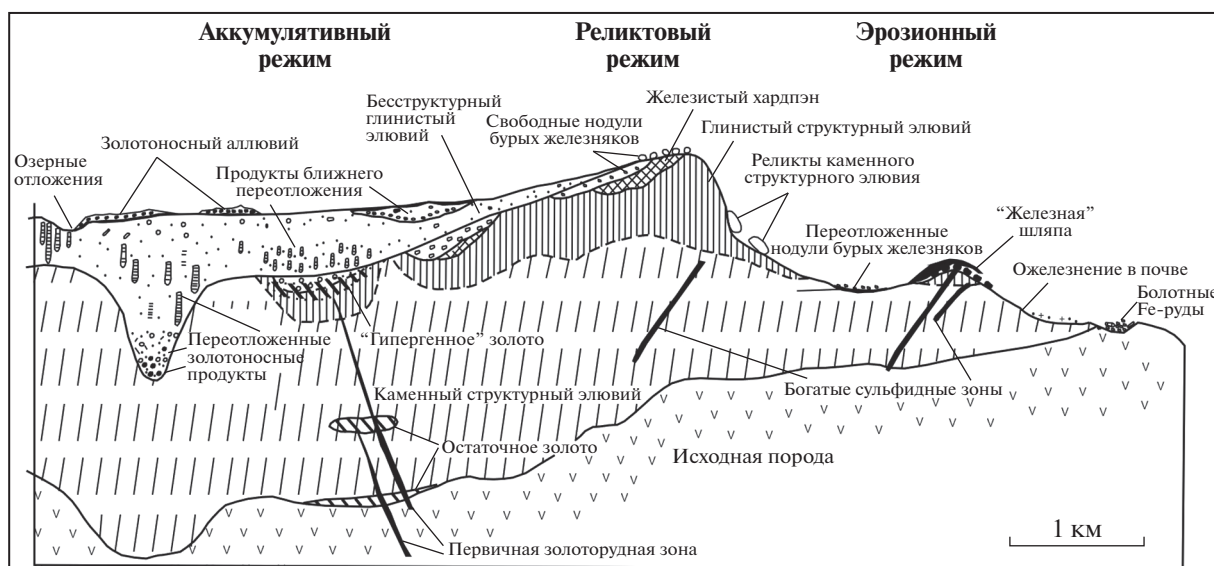


Рис. 4. Схема строения и эволюции золотоносной коры выветривания.

поздний тектоно-магматический этап (чаще, мезозойского возраста) и связаны с инфильтрационно-метасоматическими процессами, которые были проявлены в терригенно-карбонатных породах, приводящими часто к образованию карстовых россыпей, в районах Южной Сибири называемых “ямами”. Как правило, это *очень богатые* золотоносные образования [Калинин, Росляков, 2012]. Их минеральный состав существенно отличается как от древних кор выветривания, так и от более молодых, развитых в складчатых областях. Золото таких линейных кор выветривания представлено разнообразно — от пылевидного до крупного, чешуйчатой, пластинчатой формы, иногда губчатого строения, часто подвергнутое интенсивным гипергенным преобразованиям. Оно характеризуется широким диапазоном пробности (от низкопробного до 1000‰), большим набором элементов-примесей (Hg, Pb, As, Sb, Sn, Zn, Mn, Fe, Cu), а также наличием различных микровключений (сульфидов, теллуридов, селенидов, редкоземельных минералов и др.). Характерной особенностью является присутствие в золоте Hg от 0.5 до 6%.

Россыщеобразование на востоке Сибирской платформы

Эталоном россыпной золотоносности, сформированной за счет докембрийских коренных источников и, частично, мезозойских, является территория Оленекского поднятия (бассейн р. Экиит, восток Сибирской платформы) (см. рис. 1а). Здесь нами установлено, что золото из раннепротерозойских кварц-карбонатных жил и кварцевых конгломератов раннерифейского и ранне-

пермского возраста и, частично, из современных аллювиальных россыпей (20% золота) имеет схожие типоморфные признаки (рис. 6).

Это дает основание утверждать о неоднократном переотложении россыпного золота из древних уровней в более молодые. Золото из древних уровней (кварц-карбонатные жилы PR, рифейские конгломераты R_{sg} сагынхатчакской свиты и пермские конгломераты P), характеризуется одинаковыми типоморфными признаками (по морфологии, гранулометрии, пробности) и представлено в основном размером 0.1–0.16 мм, чешуйчатыми и пластинчатыми формами с признаками вдавливания минералов на поверхности и комковидными золотишками псевдорудного облика, высокой пробностью 900–1000‰, отсутствием элементов-примесей и глубоко преобразованной внутренней структурой. По типоморфным признакам изученное золото относится к золоту I типа (см. рис. 2). Выявленные особенности в золоте свидетельствуют о том, что золотоносность конгломератов сыгынахтачской свиты рифейского и пурской свиты пермского возраста сформировалась за счет поступления золота из раннепротерозойских коренных источников, сложенных кварцевыми и кварц-карбонатными жилами.

Это предположение подтверждается не только обнаружением в разновозрастных отложениях россыпного золота с аналогичными признаками, но и историей геологического развития исследуемой территории. Так, по данным Б.И. Прокопчука и др. [1973], пермские конгломераты образовались в результате разрушения и переотложения древних отложений, о чем свидетельствует сходный состав обломочного материала рифейских и пермских конгломератов. Конгломераты представлены уна-

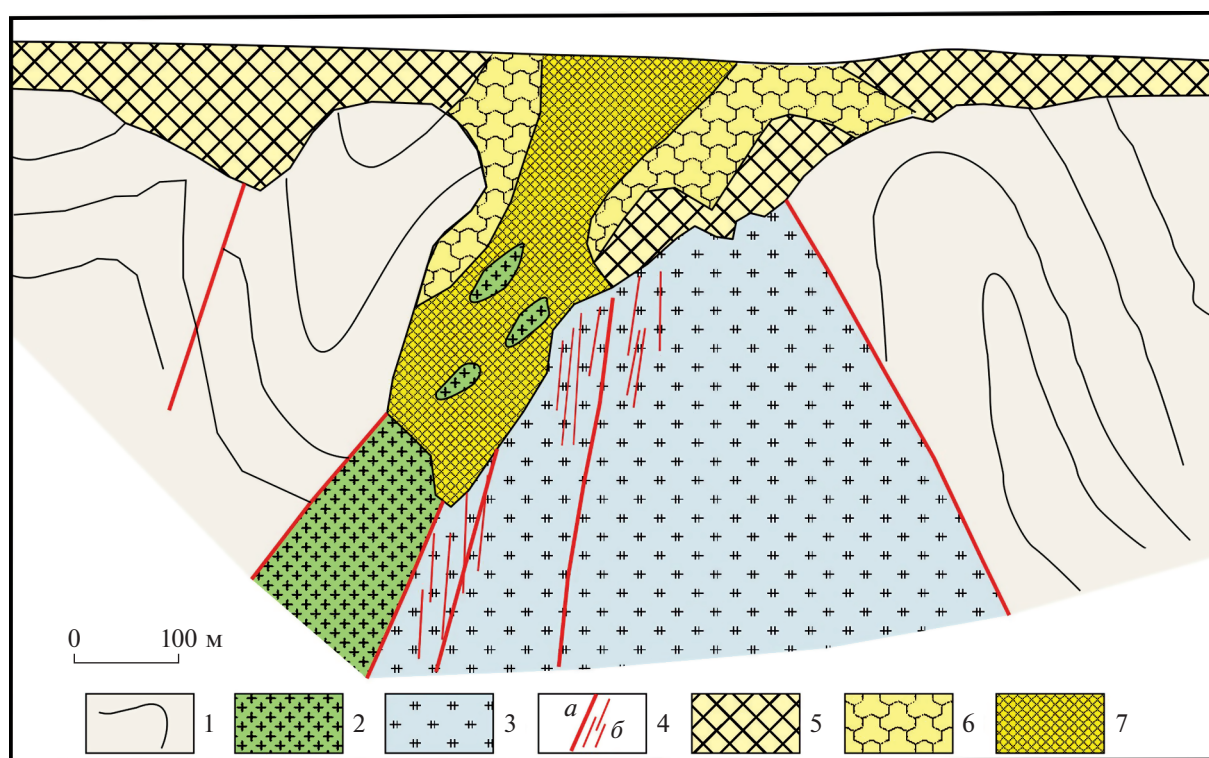


Рис. 5. Схематический геологический разрез золотоносной коры выветривания линейного типа ([Синяков, 1994] с изменениями).

1 — смятые в складки кварц-мусковитовые сланцы; 2 — золотосодержащие карбонат-кварцевые метасоматиты; 3 — мусковит-кварц-карбонатные породы; 4 — тектонические разрывы (а) и трещинные зоны (б); 5–7 — продукты коры выветривания: 5 — зона дезинтеграции; 6 — зона начального выщелачивания и гидролиза; 7 — зона гидролиза.

следованными обломками местных докембрийских метаморфизованных пород, кварцитами, кварцито-песчаниками и т.д.

Однако, наряду с золотом I типа в современных аллювиальных россыпях бассейна р. Экикт обнаружено россыпное золото, которое по типоморфным признакам существенно отличается от золота из разновозрастных золотоносных коллекторов (см. рис. 6). В четвертичных отложениях, наряду с переотложенным золотом I типа дальнего сноса, преобладает (до 80%) относительно крупное золото размером 0.2–0.25 мм и более. Только в этих отложениях обнаружено низкопробное золото (от 5 до 18%) и отмечаются золотины проволочковидной формы (см. рис. 3). Выявленные типоморфные особенности россыпного золота (форма, размер, химический состав, внутренняя структура) соответствуют золоту II типа (см. рис. 3). В целом, более крупное золото из отложений кайнозойского возраста по совокупности типоморфных признаков резко отличается от золота древних отложений. В связи с чем обосновано, что современная россыпь р. Экикт сформировалась при поступлении золота не только из древних коллекторов, но и из близлежащих коренных источников более молодого возраста, что дает основание

сделать вывод о формировании россыпи, связанном с двумя этапами рудообразования (докембрийским и мезозойским).

На основании изучения закономерности распределения золота I типа на востоке Сибирской платформы установлено, что образование обширной знаковой россыпной золотоносности на Лено-Анабарском (реки Анабар, Большая Куонамка, Эбелях, Оленек, Уджа и др.), Лено-Виллюйском (истоки рек Намана, Кемпендья, Чебыда и др.) междуречьях и в бассейне Средней Лены (устье рек Большой Патом, Каменка, реки Токко, Торго и др.) также происходило за счет многократного переотложения золота из древних уровней в более молодые, и, лишь локально, за счет близлежащих коренных источников мезозойского возраста (см. рис. 1). Переотложенное золото из докембрийских источников представлено в основном чешуйчатыми формами размером 0.1–0.25 мм с признаками вдавливания минералов на поверхности, свидетельствующими о поступлении золота из промежуточных коллекторов различного возраста. Кроме этого, обнаружено, что в аллювиальных отложениях Лено-Анабарского, Лено-Виллюйского междуречий и бассейна Средней Лены, наряду с золотом I типа дальнего сно-

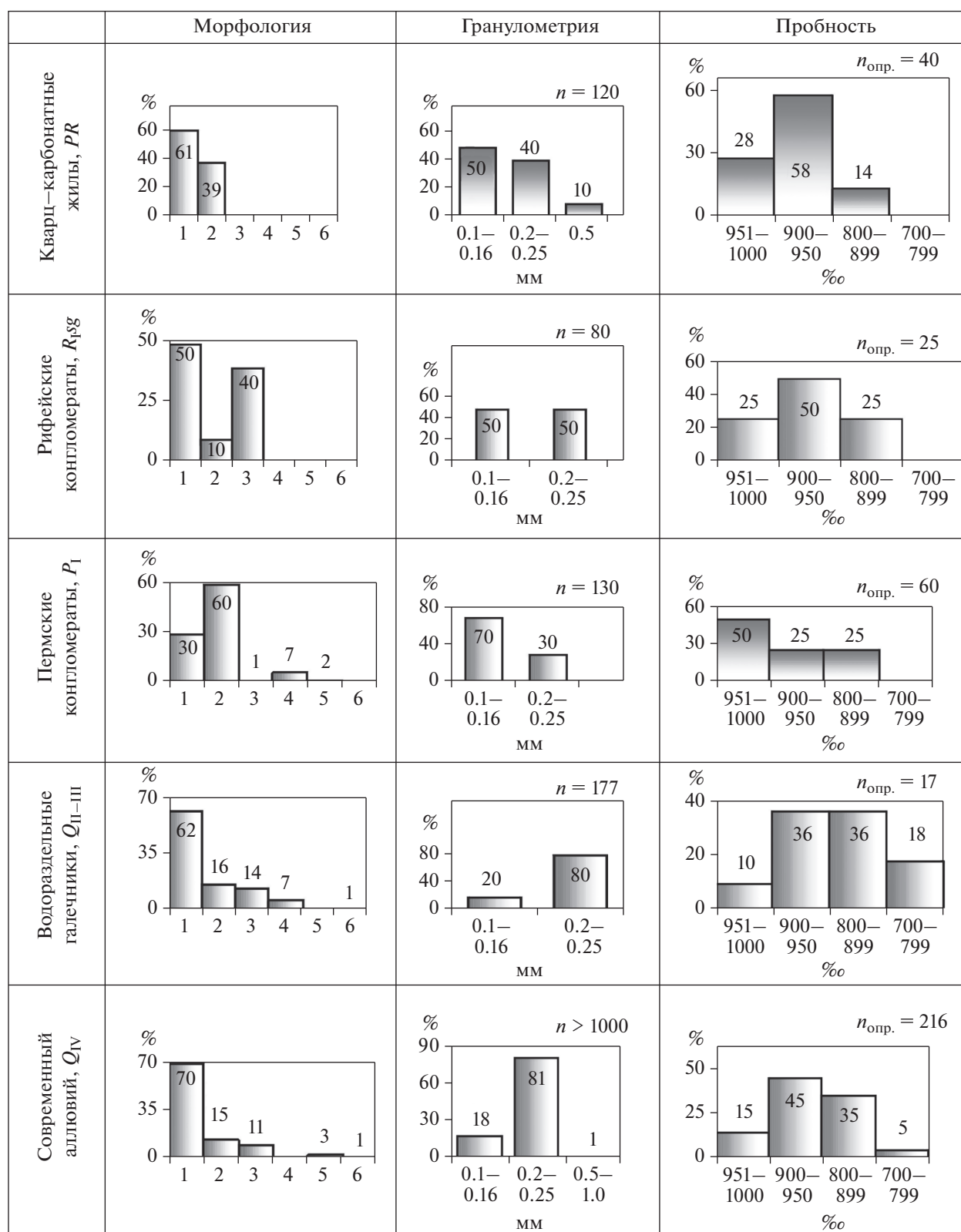


Рис. 6. Типоморфные особенности россыпного золота из разновозрастных отложений бассейна р. Экит.

са, присутствует золото II типа ближнего сноса (до 50% и более). Это золото от пылевидного до крупного (2 мм и более), низкой и средней пробы (600–800‰), с широким набором элементов-примесей, неизменным внутренним строением (моно-, крупнозернистое, неясно-зональное строение и др.) (см. табл. 1).

Примером формирования россыпей на северо-востоке Сибирской платформы за счет близлежащего коренного источника мезозойского этапа рудообразования, пространственно приуроченного к зоне разлома, служит россыпь реки Моргогор, правый приток р. Эбелях [Никифорова и др., 2006, Никифорова, 2017]. Исследуемая территория находится в зоне сочленения северо-восточного склона Анабарского щита, западного окончания Лено-Попигайского вала и северо-западной части Суханского прогиба. Заложение рек в данном районе происходило в мезозойское время по тектоническим нарушениям (Молодо-Попигайская система разломов) [Рубенчик и др., 1980]. Последующая активизация тектонических движений повлекла перестройку гидросети. Разрывные нарушения фиксируются в долине реки Моргогор по зонам брекчирования, ожелезнения и окварцевания, ширина которых составляет от 3 до 50 м. При изучении типоморфных признаков россыпного золота р. Моргогор, наряду с переотложенным золотом из докембрийских источников дальнего сноса, впервые на северо-востоке Сибирской платформы было обнаружено слабообработанное рудное золото. Судя по особенностям распределения слабообработанного золота рудного облика в россыпи (присутствие его как в истоке, так и в устье), поступление металла из рудного источника происходило на всем протяжении р. Моргогор (25 км). Обнаружение совершенно необработанного рудного золота размером 1–2 и >2 мм свидетельствует о том, что оно не переносилось на большие расстояния, а рудные источники золота находятся в самом русле речки. Следовательно, выявление слабообработанного золота рудного облика в долине р. Моргогор позволяет предполагать, что россыпная золотоносность сформирована в две эпохи россыпеобразования, связанные с докембрийским и мезозойским этапами рудообразования.

Золото II типа рудного облика (комковидное, таблитчатое, кристалловидное), наряду с золотом I типа, также обнаружено в россыпепроявлениях северо-востока Сибирской платформы в бассейнах р. Эбелях в руч. Каменистый, в среднем течении р. Анабар (правые притоки – р. Уджа, р. Маят, руч. Курурунг-Юрях) (см. рис. 1а) [Герасимов, Никифорова, 2009, 2012]. Золото характеризуется широким диапазоном вариации пробы от 600 до 900‰, содержание Ag составляет от 10 до 50%, а Hg – до 3.6%, выявлены устойчивые содержания Fe, а в единичных пробах примеси Sb и As.

В золоте обнаружены микровключения кварца, пирита и арсенопирита. Происхождение золота II типа связано, вероятно, с золотоносными гидротермами, которые мигрировали по зонам разломов (Молодо-Попигайская зона разломов). Данное предположение хорошо согласуется с тем, что все водотоки в исследуемом районе заложены по тектоническим нарушениям, неоднократно подновленным в мезозойское время [Милашев, 1979]. Выявленные минералого-геохимические особенности россыпного золота соответствуют близповерхностным золоторудным источникам и позволяют предположить, что россыпи бассейнов рек Эбелях, Анабар и других сформированы не только за счет поступления золота из докембрийских, но и, частично, из мезозойских источников.

Образование россыпной золотоносности в центральной части востока Сибирской платформы происходило в две эпохи россыпеобразования, связанные с двумя этапами рудообразования. Наличие в аллювиальных россыпях Лено-Вилуйского междуречья россыпного золота II типа позволяет предположить формирование россыпей за счет его поступления из близлежащих источников мезозойского этапа рудообразования, которые находятся в зоне Вилуйского палеорифта (см. рис. 1б) [Никифорова, Каженикина, 2012]. Максимальные концентрации золота II типа пространственно совпадают с полями развития вулканических образований андезит-дацитового состава, залегающих на нижнемеловых отложениях, впервые выявленных в зоне Кемпендяйских дислокаций Вилуйского палеорифта [Nikiforova et al., 2007]. В результате спектрального анализа вулканитов обнаружено, что как в вулканитах, так и в низко-среднепробном золоте отчетливо прослеживается устойчивая Ag–Pb–Zn–Cu геохимическая ассоциация. Это позволило впервые предположить парагенетическую связь эпitherмального золотосеребряного оруденения с вулканизмом [Никифорова, Ивенсен, 2008; Никифорова, Каженикина, 2012].

Свидетельством проявления мезозойской тектоно-магматической активизации служат также данные предшественников. В.И. Тимофеевым [1965], на основании анализа геологической истории развития Вилуйской синеклизы и центральной части Алданского щита, впервые обоснована синхронность тектонического режима и магматизма в мезозойское время. В связи с этим он высказал предположение о том, что формирование рудной золотоносности, а затем россыпей в активизированных зонах Вилуйской синеклизы (Кемпендяйские дислокации) пространственно связано с верхнеюрскими-нижнемеловым магматизмом. Позднее В.А. Михайлов [1990], Н.Н. Гаврильев и др. [1985], анализируя минеральные ассоциации шлихового ореола рассеяния и петрографический состав галечно-гравийного мате-

риала в россыпях Лено-Вилуйского междуречья, пришли к выводу, что образование россыпей связано с мезозойским этапом рудообразования. Потенциальным источником рудоносных гидротерм, по их мнению, являлись флюидно-эксплозивные структуры в виде трубчатых тел, а также минерализованные зоны разрывных нарушений, гидротермальные аргиллизиты и тела дайкового типа. По мнению В.А. Михайлова и Ю.Х. Протопопова [1994], такие рудопроявления формировались в обрамлении блоковых выступов фундамента (Сунтарский и др.) и в зоне Кемпендяйских дислокаций, которые послужили формированию россыпей с небольшими запасами золота от 500 кг до 2 т.

Образование обширной знаковой россыпной золотоносности в бассейне Средней Лены юго-востока Сибирской платформы также происходило за счет многократного переотложения золота из древних уровней в более молодые и лишь локально за счет близлежащих коренных источников мезозойского возраста [Трушков и др., 1975; Избеков, 1985]. Переотложенное золото из докембрийских источников представлено золотишками высокой пробы, размером 0.1–0.25 мм, чешуйчатыми формами с признаками вдавливания минералов на поверхности, рваными краями, что свидетельствует о поступлении золота из древних коренных источников различного возраста докембрийского этапа образования. На локальных участках бассейна реки Средняя Лена (устье рек Большой Патом, Каменка, реки Токко, Торго и др.) некоторые россыпи образованы не только за счет коренных источников докембрийского возраста, но и за счет источников мезозойского этапа рудообразования (см. рис. 1в).

К примеру, в бассейне Средней Лены в устьях рек Большой Патом и Каменка (Уринский антиклинорий) выявлено золото II типа, представленное как пластинчатыми и комковидными формами, так и губчатыми хрупкими агрегатами (до 40%), состоящими из сростков мелких частиц золота (до 0.01 мм) с гидроксидом железа [Глушкова, Никифорова, 2013]. Размер золотишек II типа от пылевидного до >0.25 мм, пробы 600–900‰, содержание Hg от 0.12 до 6.2%. Губчатые разновидности имеют пробу 664–727‰, содержание Hg – 2.34%. Золото характеризуется крупно-среднезернистыми, неяснозональными и межблоковыми структурами, монозернами и пористым строением. В нем установлены микровключения кварца, кальцита, пирита, арсенопирита, теллуридов, селенидов и редкоземельных фосфатов, аналогичных комплексу минералов Куранахского месторождения. Реки Большой Патом и Каменка (устья) пространственно связаны с зоной Баппагайского разлома, неоднократно подновляемого в мезозойское время. Присутствие в аллювии до 40% хрупкого губчатого золота свидетельствует

о формировании россыпи за счет близлежащего коренного источника мезозойского этапа образования, пространственно приуроченного к глубинному Баппагайскому разлому (см. рис. 1) [Глушкова, Никифорова, 2010].

В бассейне р. Торго (северо-запад Алданского щита), расположенном в зоне глубинного Сеньского разлома субширотного простирания, на основании обнаружения в россыпи до 50% золота II типа рудного облика доказано, что россыпь сформирована за счет близлежащего коренного источника мезозойского возраста. Ранее здесь были установлены мезозойские золотоносные проявления с содержанием Au до 1 г/т [Петров, 1978]. Пространственную связь золотого оруденения с глубинными разломами подтверждают также данные предшественников. На юго-востоке Сибирской платформы в бассейне Средней Лены (реки Пеледуй, Нюя, Намана, Джерба, Куболах, Чара и др.) к разрывным нарушениям, неоднократно подновленным в мезозойское время, приурочены многочисленные золотоносные образования, за счет которых образовались небольшие россыпные проявления с содержанием золота от 200 мг/м³ до 1.5 г/м³ и более (см. рис. 1). По данным М.В. Михайлова, В.Ф. Филатова (1966 г.), Б.В. Огиенко и др. (1969 г.), А.Ф. Петрова (1978), коренными источниками россыпного золота являлись рудопоявления мезозойского этапа рудообразования, пространственно связанные с глубинными разломами (Кемпендяйский, Баппагайский, Сеньский), неоднократно подновляемыми в мезозойское время.

Таким образом, установлено, что на востоке Сибирской платформы россыпная золотоносность сформирована за счет коренных источников золота I типа докембрийского этапа образования и приурочена к выходам фундамента – Анабарскому, Алданскому щитам (поднятиям – Билиро-Уджинскому, Сунтарскому и Якутскому сводам и др.). Коренные источники россыпей мезозойского этапа образования расположены в зонах внутриконтинентальных палеорифтов, в бассейнах рек Экиит, Анабар (Лено-Анабарское междуречье), в истоках рек Кемпендяйских дислокаций (Лено-Вилуйское междуречье), а также в бассейне Средней Лены (Большой Патом, Каменка, Торго и др.) (см. рис. 1). В связи с этим, впервые для востока Сибирской платформы, доказан унаследованный путь (рис. 7) развития россыпей от древних золотоносных коллекторов к молодым четвертичным образованиям. Установлено, что некоторые аллювиальные россыпи сформированы при непосредственном поступлении рудного золота из близлежащих коренных источников мезозойского возраста.

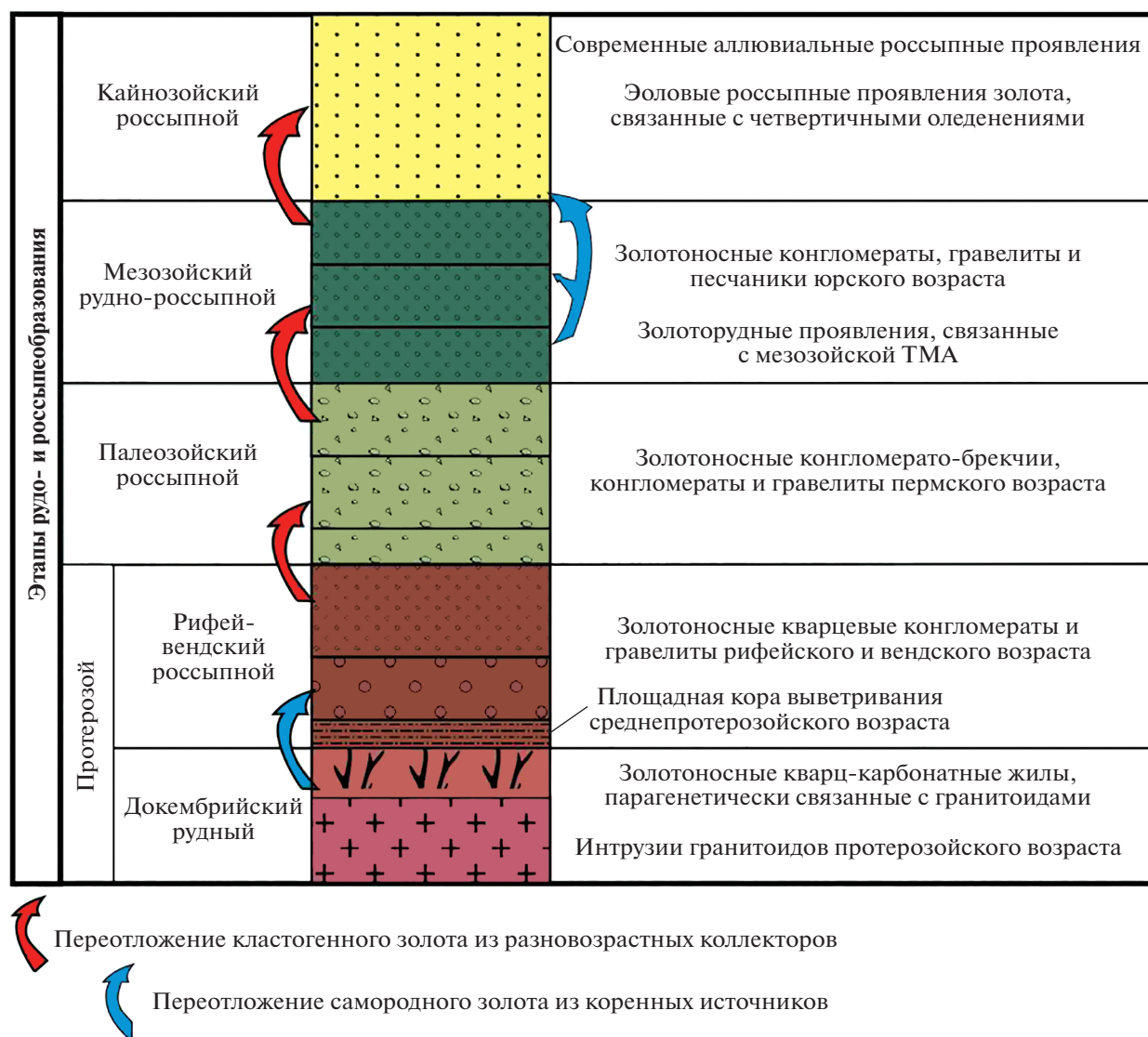


Рис. 7. Модель формирования россыпной золотоносности востока Сибирской платформы (на примере Лено-Анабарского междуречья).

Образование золотоносных россыпей на Восточно-Европейской платформе

На Восточно-Европейской (ВЕП), как и на Сибирской платформе, можно проследить общие черты и похожий характер формирования золотоносных россыпей и россыпепроявлений [Наумов и др., 2003; Наумов, 2011]. Обширная знаковая золотоносность осадочного чехла ВЕП отмечена многими исследователями [Мигачев и др., 1995; Россыпные ..., 1997; Патык-Кара, 2008] и установлена в разновозрастных отложениях в обрамлении Украинского и Балтийского щитов на территории Воронежской антеклизы [Савко и др., 2001; Лоскутов, 2002; Евзеров, 2004], Волго-Камской антеклизы (Верхнекамская впадина), песчано-гравийном аллювии восточной окраины ВЕП

[Наумов и др., 2003; Наумов, 2011], Московской синеклизы на территории Сысольской и Мезенской впадин [Глухов и др., 2008], ее юго-западной части в районе Подмосковья [Генералов, Казаков, 2015] и на других участках ВЕП.

На ВЕП россыпеобразование также связано с двумя основными этапами рудообразования — докембрийским и мезозойским. Каждому этапу соответствует распространение двух типов золота с характерными типоморфными особенностями.

Наибольшее распространение (Воронежская, Горьковская, Смоленская и др. области) имеет золото, связанное с докембрийским этапом рудообразования. По типоморфным признакам и условиям формирования концентраций частицы золота аналогичны I типу золота докембрийского

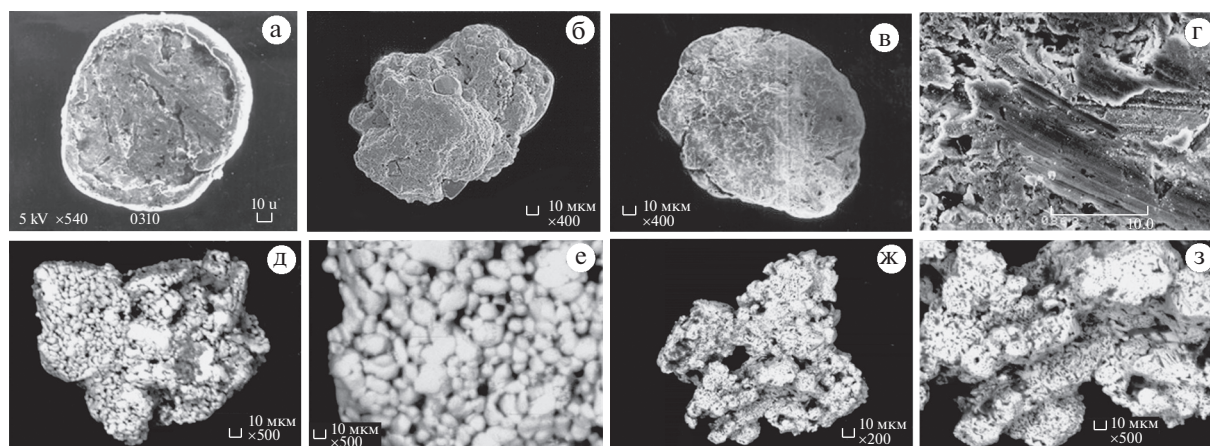


Рис. 8. Общий вид частиц золота дальнего сноса из голоценового аллювия верхнего течения р. Камы.

а – с закатанными краями и со следами скольжения; б – комковидная; в, г – из верхнепермских конгломератов: (в – общий вид, г – фрагмент зерна со следами скольжения); д – агрегат глобулярного строения; е – крупные глобулы пористого строения; ж, з – агрегат многофазного золота.

этапа образования Сибирской платформы [Никифорова и др., 2013]. Это чешуйчатые золотины размером 0.1–0.25 мм, высокой пробностью, образующие широкий ореол рассеяния в разновозрастных отложениях от протерозоя до кайнозоя и в современных ледниковых четвертичных отложениях вблизи выходов фундамента [Кальниченко и др., 1995; Лукьяненко, Колпаков, 1995]. Присутствие золота рассматривается как результат переотложения из древних уровней в более молодые. Типичным представителем является золото дальнего сноса древнего и современного песчано-гравийно-галечного аллювия ВЕП. Установлено, что содержание золота в аллювиальных песчано-гравийных смесях (ПГС), исследованное на сотнях объектов разновозрастного аллювия ВЕП в бассейнах рек Кама, Белая, Вятка с их основными притоками, низкое 1–6 мг/м³ на уровне кларкового. Однако на восточной окраине ВЕП, в центральной части в районе Клинско-Дмитровской гряды, в бассейне р. Ока и других площадях ледниковых отложений, связанных с размывом золотоносных коренных пород Балтийского щита, обнаружены участки с содержанием золота 10–100 мг/м³ и линзы с содержанием золота более 1 г/м³ в пределах россыпей [Наумов, 2011]. К золоту I типа относятся частицы золота дальнего сноса (рис. 8) размером 0.01–1 мм при преобладающем размере 0.1–0.25 мм, которые образуют невысокие концентрации золота в галечно-гравийных месторождениях [Наумов и др., 2003; Наумов, 2011]. Золото I типа в четвертичных отложениях Восточно-Европейской платформы преимущественно связано с ледниковыми отложениями [Матвеева и др., 2005; Глухов, 2010].

Золото представлено размером 1–0.01 мм (средний размер 0.25–0.03 мм). Средний вес зна-

ка золота составляет 0.005–0.009 мг. Основными формами частиц золота являются пластинчатая и чешуйчатая с рваными краями. В восточной окраине ВЕП такие формы характерны как для промежуточных коллекторов золота — верхнепермских конгломератов (см. рис. 8в), так и голоценового аллювия, формирующегося за счет их разрушения (см. рис. 8а, 8б).

Процессы переотложения способствуют формированию широкого ореола рассеяния золота I типа дальнего сноса в обрамлении поднятий (рис. 9).

Такое золото образует косовые россыпи в четвертичных галечно-гравийных отложениях многих водотоков с содержанием золота от 5–20 до 300–400 мг/м³. К примеру, на Балтийском щите и его обрамлении в четвертичных отложениях водотоков выявлены россыпные проявления с содержанием мелкого и тонкого золота до 300 мг/м³, а на некоторых объектах до 1 г/м³ [Константиновский, 2005]. Повышенные содержания золота до нескольких сотен мг/м³ установлены в галечно-гравийных горизонтах с. Усть-Березовка, д. Верх-Коса на территории Верхнекамской впадины [Наумов и др., 2003].

Золото II типа встречается в аллювии наряду с мелким тонким чешуйчатым золотом I типа. Это золото представлено как крупными золотинами пластинчатой, комковидной формы размером более 1 мм, так и очень мелкими образованиями — золотом агрегатного строения, образующим повышенные концентрации золота в месторождениях ПГС и россыпных проявлениях ВЕП. Данное золото относится по типоморфным признакам ко II типу золота мезозойского этапа рудообразования.

Агрегатные частицы глобулярного (см. рис. 8д, 8е) и многофазного (см. рис. 8ж, 8з) строения

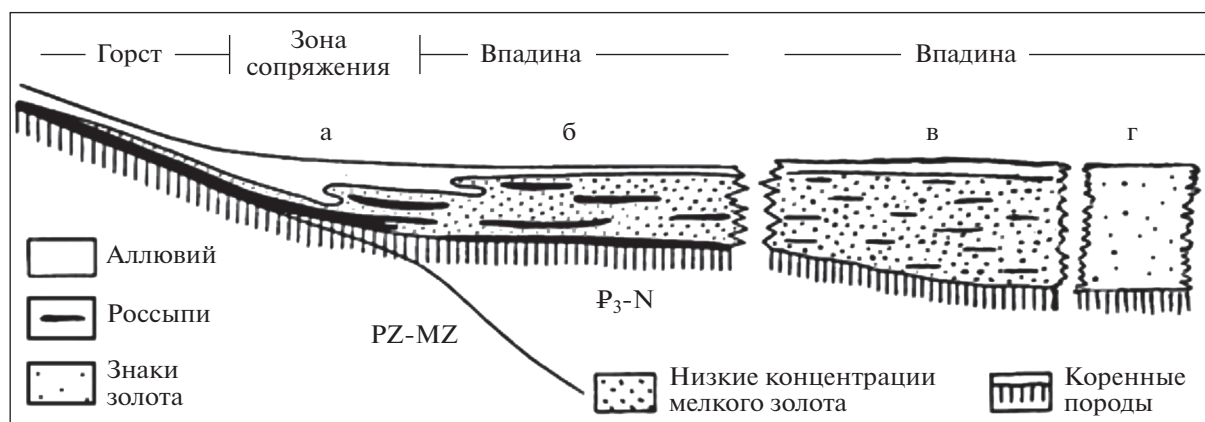


Рис. 9. Распределение типов концентрации мелкого тонкого золота в песчано-гравийном аллювии в дальних ореолах на участках тектонического прогиба земной коры [Наумов, 2010].
а — маломощные приплотиковые концентрации золота; б — линзы россыпей проявлений золота; в — линзовидные концентрированные концентрации; г — рассеянное (знаковое) распределение частиц золота.

образуют структуры непрочных микро- и нано-размерных зерен (агрегатов) размером 0.1–0.5 мм округлой формы и широким диапазоном элементов-примесей с включениями интерметаллидов. Крупные глобулы (см. рис. 8е) сцементированы более темным золотом, в составе агрегата наблюдается повышенное содержание ртути (свыше 8%), а также элементов платиновой группы (Ir, Pt) и никеля [Наумов и др., 2003]. Многофазное золото представлено золоти́нами удлиненной формы размером до 20–30 мкм, образующие пористые комковидные выделения размером до 100 мкм и цементирующиеся более темным золотом (см. рис. 8ж, 8з). Размеры агрегатного золота могут превышать 1 мм. Это золото отличается повышенным содержанием ртути (свыше 7%). Структура агрегата и его размеры свидетельствуют о длительном росте и прохождении ряда стадий [Наумов и др., 2003]. Они обнаружены среди раннетриасовых, юрских и четвертичных отложений. Частицы достаточно неустойчивы к гипергенным преобразованиям в процессе аллювиального литогенеза.

Формирование агрегатного золота и его концентраций связано с проявлениями мезозой-кайнозойского этапа тектоно-магматической активизации в зонах развития полихронных глубинных разломов и авлакогенов. По мнению А.Д. Савко и В.Л. Шевырева [1999, 2001], их наличие отражает глубинные эманации по ослабленным зонам разломов золотосодержащих флюидов и связано с золоторудными процессами в осадочном чехле. Тектоническая активность территории распространения агрегатного золота подтверждается материалами космической съемки, геофизическими исследованиями, бурением Северо-Мыйской параметрической скважины [Проворов и др., 2005, 2007; Неганов и др., 2009]. В осадочном чехле

установлены разломы, уходящие своими корнями в фундамент. Выявлены приподнятые и опущенные блоки с относительным смещением до 200 м, линейные зоны разуплотнения пород осадочного чехла, кольцевые и спиралеобразные структуры, выраженные в современном рельефе поднятиями, ограниченными речной сетью рек Коса, Кужва. Отмечены литогеохимические аномалии, размещение которых согласуется с направлениями рудоконтролирующих разломов в складчатых структурах фундамента ВЕП и характеризуется соответствующим элементным спектром.

Обнаружено, что россыпные проявления с золотом II типа пространственно связаны с положительными неотектоническими структурами. Это локальные зоны современного поднятия земной коры в верхнем течении р. Кама: Афанасьевская, Бисеровская, Лойнинская и Порышская, где отмечаются выходы коренных пород в русле, уменьшение мощности аллювия, укрупнение галечно-гравийного материала (размер более 5 мм составляет до 60–90% против 30% на смежных участках) и установлено повышенное содержание золота в 5–10 раз выше фонового. Выявлено, что с разломами связано проникновение в верхние части осадочного чехла низкотемпературных золотосодержащих флюидов. На отдельных участках (поселок Керосс), находящихся вблизи крупных разломов земной коры, содержание золота в россыпях достигает 300 мг/м³. Здесь резко повышается доля “рудного” металла. Агрегатное золото составляет в общей массе до 50% и более. Повышенные концентрации золота (до 2.6 г/т) отмечены в глинах осадочного чехла. Рудогенез золота обеспечивается миграцией низкотемпературных флюидов, циркулирующих по глубинным разломам. Атомы золота переносятся в виде истинных

или коллоидных растворов. Близ поверхности Земли золото отлагается в самородном виде, образуя шарообразные частички микронных размеров. В местах большого скопления этих частиц ртуть, содержащаяся в низкотемпературных золотоносных флюидах, образует амальгамы, последние постепенно растут подобно аутигенным новообразованиям. Минеральная ассоциация с агрегатным золотом включает киноварь, барит, интерметаллиды, что характерно для низкотемпературных гидротерм. Агрегатное золото неустойчиво в аллювии, при механическом воздействии агрегаты распадаются на первичные глобулы. Типоморфные признаки агрегатного золота, общность процессов, времени и механизмов формирования позволяют сопоставлять его с золотом II типа мезозойского этапа рудообразования, проявленного при тектоно-магматической активизации и установленным на востоке Сибирской платформы [Никифорова и др., 2013].

В пределах Восточно-Европейской платформы попутная золотоносность выявлена на россыпных редкометалльно-титановых (“титано-циркониевых”) месторождениях Центральном (Тамбовская обл.) [Бондаренко, Золотарева, 2018] и Бешпагиском (Ставрополье) [Веремеева и др., 2014]. На Западно-Сибирской платформе установлена незначительная золотоносность Тарской, Ордынской и Туганской редкометалльно-титановых россыпей [Нестеренко и др., 2013].

По типоморфным признакам россыпное золото, выделенное ранее на востоке Сибирской платформы [Никифорова и др., 2013], в редкометалльно-титановых россыпях подразделяется также на два типа: окатанные чешуйчатые золотины высокой пробности (I тип золота дальнего переноса) и мельчайшее золото (II тип) сферической формы, размером в несколько микрон, связанное с низкотемпературной гидротермальной деятельностью, проявленное в зонах тектоно-магматической активизации. Золото I типа, встречающееся в пределах платформенных областей и локализованное в прибрежно-морских отложениях мелководных мезозой-кайнозойских бассейнов, характеризуется в основном хорошо окатанными уплощенными, пластинчато-таблитчатыми и чешуйчатыми золотинами. Золото преимущественно мелкое и тонкое, представлено размером от 0.05 до 0.25 мм, редко до 0.5 мм, с преобладанием класса 0.1–0.15 мм. Содержания золота достигают 235 мг/м³ (месторождение Центральное), но чаще варьируют на уровне 20–80 мг/м³. Для самородного золота рассматриваемых россыпей типична большая вариация пробности (585–1000‰), отражающая множественность источников его поступления. Часто встречаются высокопробные каймы в золоте (более 990‰), образующиеся в условиях гипергенных преобразований [Левчен-

ко, Григорьева, 2021]. Золото, в основном, высокопробное. Окатанность частиц различается по классам крупности: более тонкое золото, по-видимому, транспортировалось преимущественно во взвешенном состоянии, и, в связи с этим, оно окатано несравненно слабее, чем крупное.

Помимо хорошо окатанных форм, в россыпях встречаются скелетные кристаллы без признаков окатывания и истирания, по-видимому, это золото поступало в морской бассейн в нераскрытом состоянии в виде сростков с вмещающими породами и дезинтегрировалось уже в зоне осаждения. На некоторых золотинах наблюдаются многочисленные наросты ультрамелких частиц золота почти сферической формы, типичных для золота II типа и наблюдаемых в аллювиальных россыпях. Можно предположить, что в данном случае они являются свидетельством осаждения золота в постседиментационных условиях, при совпадении редкометалльно-титановых россыпей с зонами тектоно-магматической активизации, где была проявлена наложенная низкотемпературная гидротермальная деятельность, и, в связи с этим, на классических частицах золота I типа произошло осаждение золота II типа.

Образование золотоносных комплексных россыпей (циркон, ильменит) на других платформах мира происходило также в основном за счет докембрийского и мезозойского этапа рудообразования. К примеру, в редкометалльно-титановых россыпях Австралийской платформы, в частности, в россыпях южно-австралийских провинций Мюррей-Бэйсин и Эукла-Бэйсин встречается мелкое и тонкое золото [Roy, 2003; Pownceby et al., 2008]. Это золото, по-нашему мнению, относится к золоту I типа и свидетельствует о поступлении золота в россыпи из источников, связанных с докембрийским этапом рудообразования.

В провинции Шаньдун (Китайская платформа) выявлено более 100 месторождений и перспективных комплексных россыпей тяжелых минералов, включающих циркон, ильменит, рутил, монацит, магнетит, ксенотим и золото, источником которых являются породы докембрийского метаморфического фундамента и мезозойские интрузии. Содержание россыпного золота колеблется от 0.1 до 1.907 г/м³ [Bradley et al., 2019]. Присутствие в этих россыпях, наряду с мелким чешуйчатым золотом I типа, золота II типа пластинчатой, комковидной и дедритовидной формы, позволяет предполагать о наличии двух источников золота, соответствующих докембрийскому и мезозойскому этапам рудообразования.

Рассмотрим в качестве примера образования россыпей в обрамлении широко известных золоторудных месторождений в гранит-зеленокаменных поясах на всех древних щитах Мира: Канадском (месторождения Поркьюпайн, Керк-

ленд-Лейк, Керр-Эдисон, Джиант-Йеллоунаиф, Дисковери, Тундра Голд-Майн и др.); Западно-Австралийском (месторождения Калгурли, Кулгарли, Норсмен, Маунт-Магнет и др.); Индийском (месторождения Колар, Хетти); Гвианском (месторождения Амамури и Контакт) [Паленова и др., 2019]; в пределах щитов Африканской платформы (Туарегском — месторождения Амессеса, Тирек; Гвинейском — Варавабаре и др.). Большинство этих месторождений относится к разряду крупных, однако, образование значимых золотоносных россыпей (продуктов эрозии древних кор выветривания, аллювиальных россыпей и т.д.) в обрамлении этих месторождений не известно или они очень мелкие. Главная причина, как нам представляется, заключается в том, что в подавляющей массе коренных источников золото ассоциировано с рассеянной сульфидной минерализацией. Золотосодержащие сульфиды контролируются микротрещинами, встречаются в виде неравномерной мелкой вкрапленности в кварце, в породах, непосредственно примыкающих к жильным телам, или как рассеянные или замещающие в сильно измененных и деформированных породах. Для всех месторождений характерно, что золото представлено в свободном состоянии в весьма мелкодисперсном виде. Самородное золото (пробность обычно около 900‰) ассоциировано с малым количеством рассеянных сульфидов (пирита или пирротина, реже теллуридов) в хорошо сформированных кварцевых жилах или штокверках с устойчивыми серицит-карбонатными ореолами сильно дислоцированных архейских пород ранней или средней стадии регионального метаморфизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель россыпеобразования в платформенных областях. На примере образования россыпей бассейна р. Эекит (Оленекское поднятие) выявлен преемственный путь переотложения россыпного золота из древних докембрийских источников, а на отдельных территориях из мезозойских, в связи с этим выделяются две основные эпохи россыпеобразования (докембрийская и мезозойская).

Установлено, что процессы кор выветривания на платформах наиболее ярко проявлены, поскольку они протекали длительное время в устойчивых тектонических структурах. Древние коры выветривания, покрывая материнские породы, характеризуются большой мощностью, плащеобразным строением, но практически полностью эродированы. Более молодые коры выветривания формировались в мезозойский тектономагматический этап, пространственно связаны с глубинными разломами и наблюдаются в терригенно-карбонатных толщах палеозойского возраста.

Они имеют линейное строение и определенный минеральный состав.

Выявлено, что неоднократное переотложение мелкого и тонкого золота из докембрийских источников приводит к разубоживанию металла, а не к его промышленной концентрации (рассеяние преобладает над процессами концентрации).

Обосновано, что формирование золотоносных россыпей на платформах отличается тем, что они образованы в основном за счет источников не россыпеобразующих формаций и в связи с этим характеризуются мелким и тонким золотом, образуя широкий ореол рассеяния, иногда они формируют небольшие по запасам (0.5–2 т) россыпи. Золото этих россыпей в основном мелкое 0.1–0.25 мм и относится к трудно извлекаемому классу металла.

Результаты изучения минералого-геохимических особенностей двух типов золота и закономерности его распределения на востоке Сибирской и Восточно-Европейской платформ позволили впервые обосновать, что формирование россыпей связано, в основном, с докембрийским и мезозойским этапами рудообразования. Выявленная закономерность прослеживается и на других платформах Мира.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по госзаданию ИГАБМ СО РАН, ИГМ СО РАН (№ 122041400237-8), ИГГ УрО РАН (№ 123011800011-2), ИГЕМ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондаренко С.В., Золотарева Г.С. Распределение попутного золота в титан-циркониевых песках россыпи “Центральная” (Тамбовская область) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2018. № 3. С. 66–73.
- Веремеева Л.И., Соленикова Е.О., Акименко М.И., Копьева Т.В. Попутное золото в титан-циркониевых россыпях Ставропольского россыпного района — фактор повышения их инвестиционной привлекательности // Разведка и охрана недр. 2014. № 9. С. 35–41.
- Гаврильев Н.Н., Михайлов В.А., Алексеев Н.Н. О распределении терригенных аксессуаров мезозойских отложений Вилуйской синеклизы. Новосибирск // Геология и геофизика. 1985. № 3301–85. 16 с.
- Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Крупное ртутьсодержащее россыпное золото бассейна среднего течения р. Анабар // Отечественная геология. 2009. № 5. С. 11–17.
- Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Особенности россыпного золота бассейна р. Уджа (Билиро-Уджинское поднятие) // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 27–31.
- Генералов М.Е., Казаков А.В. Золотоносные россыпи Подмосковья: страницы истории и новые данные по минералогии золота // Россыпи и месторождения кор

- выветривания: изучение, освоение, экология // Материалы XV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. университет, 2015. С. 40–42.
- Глухов Ю.В., Филиппов В.Н., Исаенко С.И., Макеев Б.А. Мелкое золото северо-востока Восточно-Европейской платформы (Сысольская и Мезенская впадины) // Минералы и минералообразование, структура, разнообразие и эволюция минерального мира, роль минералов в происхождении и развитии жизни, биоминеральные взаимодействия. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 350–385.
- Глухов Ю.В. Связь состава мелкого золота Восточно-Европейской платформы с ледниковыми событиями плейстоцена // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований // Материалы Всероссийской конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 138–140.
- Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. Сравнительная характеристика типоморфных особенностей самородного золота бассейна средней Лены (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 2010. № 3. С. 34–44.
- Глушкова Е.Г., Никифорова З.С. О коренных источниках россыпного золота Уринского антиклинория (юго-восток Сибирской платформы) // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 118–123.
- Евзеров В.Я. Минерогения четвертичных отложений северо-восточной части Балтийского щита / Автореф. дисс. ... доктора геол.-мин. наук. Воронеж: ВГУ, 2004. 56 с.
- Жмодик С.М., Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Миронов А.Г. и др. Наночастицы благородных металлов в зоне гипергенеза // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 2. С. 168–183.
- Избеков Э.Д. Образование и эволюция россыпей. Новосибирск: Наука, 1985. 190 с.
- Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск: Академическое издательство “Гео”, 2006. 339 с.
- Калинин Ю.А., Росляков Н.А. Прогнозно-поисковые критерии золотоносных кор выветривания (районы юга Сибири, Россия) // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 2. С. 157–167.
- Кальниченко С.С., Иванов Н.М., Каримова Н.А. и др. Основные типы золотосодержащих месторождений осадочного чехла центральной части Восточно-Европейской платформы // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 5–15.
- Константиновский А.А. Перспективы обнаружения комплексных (золото, платиноиды) палеороссыпей на востоке Балтийского щита // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 1. С. 12–24.
- Лукьяненко Н.П., Колпаков В.В. Открытие россыпного золота в Белоруссии // Золото России. 1995. № 1–4. С. 35–40.
- Лоскутов В.В. Золото и интерметаллиды в осадочном чехле Воронежской антеклизы / Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж: ВГУ, 2002. 195 с.
- Левченко Е.Н., Григорьева А.В. Типоморфные и технологические особенности попутного золота в комплексных россыпных месторождениях // Обогащение руд. 2021. № 3. С. 24–32.
<https://doi.org/10.17580/or.2021.03.05>
- Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. Л.: Недра, 1979. 183 с.
- Матвеева Е.В., Риндзюнская Н.М. Эрозионно-структурные депрессии, коры выветривания восточного склона Приполярного Урала и перспективы их золотоносности // Тезисы докладов XII Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. М.: Изд-во ИГЕМ РАН, 2000. С. 228–229.
- Матвеева Е.В., Филиппов В.П., Иванов Н.П. и др. Комплексные титано-циркониевые россыпи центральной части Русской платформы – резерв минерально-сырьевой базы золота // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 33–38.
- Мигачев И.Ф., Кальниченко С.С., Романчук А.И. Перспективы золотоносности Восточно-Европейской платформы // Отечественная геология. 1995. № 3. С. 53–57.
- Михайлов В.А. Источники питания металлоносных отложений Вилуйской синеклизы / Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: ТГУ, 1990. 20 с.
- Михайлов В.А., Протопопов Ю.Х. Основные предпосылки рудоносности и комплексные россыпи Вилуйской активизированной области древней платформы // Россыпи и месторождения кор выветривания – объект инвестиций на современном этапе. Международное совещание. М.: Наука, 1994. С. 216–217.
- Наумов В.А. Минерогения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия / Автореф. дисс. ... доктора геол.-мин. наук. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. университет, 2010. 42 с.
- Наумов В.А. Минерогения и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия Урала и Приуралья. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. университет, 2011. 162 с.
- Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М. и др. Золото Верхнекамской впадины. Кудымкар, Пермь: Пермский гос. нац. исслед. университет, 2003. 218 с.
- Неганов В.М. Новые данные по геологии и нефтегазоносности Пермского края по результатам региональных и детальных геолого-геофизических работ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 2. С. 11–19.
- Нестеренко Г.В., Колпаков В.В., Бобошко Л.П. Самородное золото в комплексных Ti–Zr россыпях юга Западно-Сибирской равнины // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 12. С. 1905–1922.
- Никифорова З.С. О возможности формирования крупных золоторудных месторождений мезозойского этапа рудообразования (восток Сибирской платформы) //

- Журнал СФУ. Техника и технологии. 2017. № 10(7). С. 908–921.
- Никифорова З.С., Базилевская Р.В., Герасимов Б.Б. О находках рудного золота в бассейне р. Эбелях, северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология. 2006. № 5. С. 48–52.
- Никифорова З.С., Герасимов Б.Б., Тулаева Е.Г. Генезис золотоносных россыпей и их возможные источники (восток Сибирской платформы) // Литология и полезные ископаемые. 2011. №1. С. 21–35.
- Никифорова З.С., Герасимов Б.Б., Глушкова Е.Г. и др. Золотоносность востока Сибирской платформы (россыпи — коренные источники) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. № 4. С. 305–319.
- Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. № 11. С. 1514–1534. <https://doi.org/10.15372/GIG2020109>
- Никифорова З.С., Ивенсен Г.В. К вопросу формирования эпitherмальных месторождений золота на территории Лено-Вилуйского междуречья // Рудогенез. Материалы международной конференции. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 203–206.
- Никифорова З.С., Каженкина А.Г. Минералого-геохимические особенности россыпного золота юго-западной части Вилуйской синеклизы (Кемпдендйские дислокации) и их возможная связь с источниками золотосеребряной формации // Отечественная геология. 2012. № 5. С. 32–36.
- Паленова Е.Е., Новоселов К.А., Белогуб Е.В. Золото в коррах выветривания Гвианского щита (Южная Америка) // Минералогия. 2019. Т. 5(2). С. 83–100.
- Патык-Кара Н.Г. Минерогения россыпей: типы россыпных провинций. М.: ИГЕМ РАН, 2008. 528 с.
- Петров А.Ф. Объяснительная записка к государственной геологической карте СССР масштаба 1 : 200000 (лист О-50-ХVIII — Серия Бодайбинская). М.: Госгеолтехиздат, 1978. 116 с.
- Проворов В.М., Неганов В.М., Вилесова Л.А. Строение и перспективы нефтегазоносности северных и западных земель Коми-Пермяцкого округа в свете новых данных // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Материалы научно-практической конференции. Пермь: Пермский гос. университет, 2007. С. 58–64.
- Проворов В.М. Приоритетные направления дальнейшего освоения природных ресурсов нефти и газа в северных и западных районах Урало-Поволжья на ближайшую и дальнюю перспективу // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 3–4. С. 15–21.
- Прокопчук Б.И., Сочнева Э.Г., Кривонос В.Ф. Минеральный состав тяжелой фракции и источники сноса пермских отложений Лено-Анабарского междуречья (северо-восток Сибирской платформы) // Известия АН СССР. 1973. № 5. С. 82–92.
- Россыпные месторождения России и других стран СНГ (Минерогения. Промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы) / Под ред. Н.П. Лаверова, Н.Г. Патык-Кара. М.: Научный мир, 1997. 497 с.
- Рубенчик И.Б., Борщева Н.А., Зарецкий Л.М. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1 : 200000 (лист R-50-VII, VIII). М.: Госгеолтехиздат, 1980. 107 с.
- Рудные формации эндогенных месторождений (Формации эндогенных месторождений золота, свинца, колчеданов, свинца, цинка и ртути) / Под ред. Г.А. Солодова. Т. 2. М.: Наука, 1976. 395 с.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Лоскутов В.В. Эксталяционно-осадочная металлогения Воронежской антеклизы — новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. Статья 1. Интерметаллиды: локализация, типы, состав // Вестник ВГУ. Сер. Геол. 1999. № 7. С. 139–155.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Ультратонкое золото // Труды НИИ Воронежского университета. Вып. 6. Воронеж, 2001. 151 с.
- Синяков В.И. Геолого-промышленные типы рудных месторождений. СПб.: Недра, 1994. 248 с.
- Тимофеев В.И. О россыпной золотоносности р. Вилуй // Разведка и охрана недр. 1965. № 6. С. 1–5.
- Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Томская А.И., Тимофеев В.И. Золотоносность Вилуйской синеклизы и ее обрамления. Новосибирск: Наука, 1975. 149 с.
- Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 632 с.
- Bradley S. Van Gosen, Baohong Hou, Tianrui Song. Heavy Mineral Sands Resources in China // Society of Economic Geologists, Inc. SEG Special Publications, 2019. V. 22. P. 581–595.
- Nikiforova Z.S., Ivensen G.V., Filippov V.Ye. Manifestations of volcanic activity in the Lena-Vilyui interfluvium and its association with gold mineralization // International Symposium Large igneous provinces of Asia, mantle plumes and metallogeny. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2007. P. 182–184.
- Pownceby M.I., Sparrow G.J., Fisher-White M.J. Mineralogical characterisation of Eucla Basin ilmenite concentrates — First results from a new global resource // Minerals Engineering. 2008. V. 21. P. 587–597.
- Roy P.S. Changing Pliocene Sea Levels and the Formation of Heavy Minerals Beach Placers in the Murray Basin, Southeastern Australia // Economic Geology. 2003. V. 98(5). P. 975–983. <https://doi.org/10.2113/98.5.975>

Model of Formation of Gold-Bearing Placers in Platform Areas (East of the Siberian Platform)

Z. S. Nikiforova^{1, *}, Y. A. Kalinin^{1, 2, **}, V. A. Naumov^{3, 4, ***}, A. V. Lalomov^{5, ****}

¹*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Lenin str., 39, Yakutsk, 677000 Russia*

²*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, acad. Koptug ave., 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

³*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, acad. Vonsovsky str., 15, Ekaterinburg, 620110 Russia*

⁴*Institute of Natural Science of Perm State National Research University, Genkel str., 4, Perm, 614990 Russia*

⁵*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS,
Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

**e-mail: znikiforova@yandex.ru*

***e-mail: kalinin@igm.nsc.ru*

****e-mail: naumov@psu.ru*

*****e-mail: lalomov@mail.ru*

A model of the formation of gold-bearing placers for platform areas is proposed for the first time. Placers on the platforms are formed mainly due to the Precambrian ore sources spatially confined to the basement outcrops, and, locally, Mesozoic, formed when tectonic-magmatic activation occurs in the zones of paleorifts and deep faults. Placers formed due to the Precambrian sources are characterized by the presence of fine and thin gold with a size of 0.1–0.25 mm and, as a rule, are not of commercial interest. They bar alluvial and coastal-marine allochthonous placers and are considered as complex, with associated mining of titanium, zirconium and other useful components. Placers formed due to the sources of the Mesozoic stage of ore formation belong to the class of small and medium reserves, the size of gold in them ranges from dust-like to 0.2–0.25 mm or more and they are usually mined by prospectors' team. Placers on the platforms do not form sheet deposits, since they are formed mainly due to sources of non-placer-generating formations. The presence of such placers indicates the proximity of the ore occurrence, which the type and location can be determined based on the study of the mineralogical and geochemical features of the placer gold itself.

Keywords: Siberian and East European platform, placers, weathering crusts, distribution mechanisms, typomorphic signs of placer gold.