Геология и геофизика, 2018, т. 59, № 10, с. 1643—1657

УДК 553.068

ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИЗНАКИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОРМАЦИОННЫХ ТИПОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (*восток Сибирской платформы*)

З.С. Никифорова, Б.Б. Герасимов, Е.Г. Глушкова, А.Г. Каженкина

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, просп. Ленина, 39, Россия

Прогнозная оценка и поиски золоторудных месторождений на востоке Сибирской платформы проблематичны в связи с тем, что исследуемая территория перекрыта мощным чехлом MZ-KZ отложений. Традиционные методы поисков месторождений золота, проводимые крупнейшими геологическими организациями, не принесли положительных результатов, поскольку основное внимание было уделено обнаружению древних золотоносных конгломератов типа Витватерсранд, а также выявлению рудного потенциала золотоносности базитового магматизма.

Известно, что типоморфизм россыпного золота несет колоссальную информацию о природе самородного золота — как о первичном эндогенном происхождении, так и экзогенном преобразовании, что позволяет выявлять формационный тип оруденения, повышает достоверность прогноза и целенаправленность поиска золоторудных месторождений в платформенных областях.

Выявление характерных индикаторных признаков в россыпном золоте позволило впервые обосновать на востоке Сибирской платформы формирование золоторудных источников малосульфидной золотокварцевой, золотожелезисто-кварцитовой, золотомедно-порфировой и золотоплатиноидной формаций докембрийского и формирование золоторудных источников золотосеребряной, золоторедкометалльной и золотосульфидно-кварцевой формаций мезозойского этапов рудообразования.

Установлено, что высокопробное россыпное золото с микроминеральными включениями пирита, арсенопирита, кварца и карбонатов с перекристаллизованными структурами, линиями пластических деформаций характерно для рудных источников малосульфидной золотокварцевой формации. Повышенное содержание Cu (до 4 %) в высокопробном чешуйчатом золоте является одним из показательных признаков для месторождений золотомедно-порфировой формации. Угловатые формы золота рудного облика, весьма мелкая фракция, высокая пробность, полностью перекристаллизованное и рекристаллизованное внутреннее строение, постоянное присутствие микропримесей Fe, Bi, Cu и наличие микровключений гематита, ильменита и корунда свойственны оруденениям золотожелезисто-кварцитовой формации. Высокопробные чешуйчатые и пластинчатые золотины с устойчивыми элементами-примесями Pt, Pd и Ni и обнаружение в них минеральных фаз Pt и срастаний Au—Pt свидетельствуют о рудных источниках золотоплатиноидной формации.

Индикаторными признаками россыпного золота для оруденения золотосеребряной формации являются пластинчатые и комковидные формы фракций > 0.25—2.00 мм, средняя и низкая пробность, широкий набор микропримесей (Pb, Zn, As, Sb, Cu, Te и др.), монокристаллическое, иногда пористое внутреннее строение, наличие микровключений самородного Ag, адуляра, стронциевого барита и кальцита. Пластинчатые, дендритовидные, комковидно-угловатые формы, весьма широкая вариация пробности (307—950 ‰), выявление микровключений самородного висмута, мальдонита, арсенопирита и теллуридов серебра показательны для оруденений золоторедкометалльной формации. Пластинчатые и комковидные формы, размер золотин от пылевидного до > 0.25 мм, широкая вариация пробности (600—900 ‰), присутствие микропримесей Hg (до 6 % и более), моно- и крупнозернистое внутреннее строение, обнаружение микровключений кварца, кальцита, пирита, арсенопирита, теллуридов, селенидов и редкоземельных фосфатов указывают на наличие оруденения золотосульфидно-кварцевой формации.

Выявленные в россыпном золоте индикаторные признаки для определенных формационных типов золоторудных источников позволяют впервые прогнозировать формирование на востоке Сибирской платформы месторождений типа Керкленд Лейк и Поркьюпайн малосульфидной золотокварцевой формации докембрийского возраста, типа Крипл-Крик золотосеребряной и Карлин золотосульфидно-кварцевой формации мезозойского этапа рудообразования. Разработанные критерии определения типов оруденения по индикаторным признакам россыпного золота являются показателем рудогенеза и могут найти успешное применение при прогнозировании, поисках и оценке золоторудных месторождений на перекрытых платформенных областях.

Индикаторные признаки золота, россыпное золото, формационные типы месторождений, прогнозирование.

INDICATIVE FEATURES OF PLACER GOLD FOR THE PREDICTION OF THE FORMATION TYPES OF GOLD DEPOSITS (*east of the Siberian Platform*)

Z.S. Nikiforova, B.B. Gerasimov, E.G. Glushkova, and A.G. Kazhenkina

Prediction and search for gold deposits in the east of the Siberian Platform are problematic because the study area is overlain by a thick cover of MZ–KZ deposits. Search for gold deposits by the largest geological institutions using conventional methods have not yielded positive results, because the main attention was focused

© З.С. Никифорова✉, Б.Б. Герасимов, Е.Г. Глушкова, А.Г. Каженкина, 2018

✉e-mail: znikiforova@yandex.ru

DOI: 10.15372/GiG20181009

on the discovery of ancient gold-bearing conglomerates of the Witwatersrand type and on the evaluation of the gold ore potential of basic magmatism. Typomorphism of placer gold bears huge information about the genesis of native gold, both its primary endogenous origin and its exogenous transformation, which makes it possible to identify the formation type of mineralization, increases the reliability of the prediction of gold deposits, and ensures their purposeful search in the platform areas. The revealed indicative features of placer gold made it possible to substantiate the formation of the gold ore sources of Precambrian low-sulfide gold–quartz, gold–iron–quartzite, porphyry gold–copper, and gold–PGE mineralization and Mesozoic gold–silver, gold–rare-metal, and gold–sulfide–quartz mineralization in the east of the Siberian Platform. We have established that high-fineness placer gold with microinclusions of pyrite, arsenopyrite, quartz, and carbonates with recrystallized structures and lines of plastic deformation is specific to the ore sources of low-sulfide gold–quartz mineralization. A high content of Cu (up to 4 %) in flaky high-fineness gold is one of indicators of porphyry gold–copper mineralization. The angular shape of gold grains, the fine fraction and high fineness of gold, its completely recrystallized and regrown internal structure, and the permanent presence of Fe, Bi, and Cu microimpurities and hematite, ilmenite, and corundum microinclusions are typical of gold–iron–quartzite mineralization. Flaky and laminated high-fineness gold particles with steady Pt, Pd, and Ni impurities and Pt-mineral phases and Au–Pt intergrowths in them testify to the ore sources of gold–PGE mineralization. Laminated and cloddy gold fractions of > 0.25–2.0 mm, the medium and low fineness of gold, its single-crystal or, sometimes, porous internal structure, the wide range of microimpurities (Pb, Zn, As, Sb, Cu, Te, etc.), and microinclusions of native Ag, adularia, Sr-barite, and calcite are indicators of gold–silver mineralization. Laminated, dendritic, and cloddy-angular gold grains, wide variation in gold fineness (307–950 ‰), and the presence of microinclusions of native bismuth, maldonite, arsenopyrite, and silver tellurides are indicative of gold–rare-metal mineralization. Laminated and cloddy gold grains, their size varying from dust to >0.25 mm, their mono- and coarse-grained internal structure, wide variation in gold fineness (600–900 ‰), and the presence of Hg microimpurities (up to 6 % and more) and microinclusions of quartz, calcite, pyrite, arsenopyrite, tellurides, selenides, and REE phosphates point to gold–sulfide–quartz mineralization.

The established placer gold indicators of the particular formation types of ore sources in the east of the Siberian Platform made it possible to predict Precambrian gold deposits with low-sulfide–gold–quartz mineralization similar to the Kirkland Lake and Porcupine mines and gold deposits with Mesozoic gold–silver mineralization similar to the Cripple Creek mine. The developed criteria for determining the types of mineralization by indicative features of placer gold give an insight into the ore genesis and can be successfully applied to prediction and search for gold deposits and to evaluation of their gold resources.

Indicative features of gold, placer gold, formation types of deposits, prediction

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозная оценка золоторудного потенциала в платформенных областях проблематична в связи с тем, что территории перекрыты мощным чехлом мезокайнозойских отложений, где традиционные методы поисков месторождений золота не приносят положительных результатов. Так, на востоке Сибирской платформы в 70-х годах прошлого века велись активные поиски золоторудных месторождений крупнейшими геологическими организациями ВСЕГЕИ, НИИГА и нашим институтом под руководством известного ученого члена-корреспондента И.С. Рожкова. Основное внимание было уделено поискам древних золотоносных конгломератов типа Витватерсранд, Тарква, Жакобина, а также выявлению золотоносности базитового магматизма. Проведенные исследования по обоснованию новой металлогенической провинции не увенчались успехом, поскольку не были найдены золотоносные конгломераты и месторождения, связанные с широко проявленным базитовым магматизмом.

Существуют несколько точек зрения на природу первоисточников россыпной золотоносности востока Сибирской платформы. Рассмотрим только основные из них. Ряд исследователей [Ржонсницкий, 1918; Обручев, 1923; Зверев, 1925] связали образование россыпной золотоносности юго-востока Сибирской платформы с привносом золота с Байкало-Патомского надвигового пояса и, частично, с широко распространенными на данной территории базитовыми образованиями. Ю.Н. Трушков [Трушков и др., 1975] и Б.Р. Шпунт [Шпунт и др., 1976] предполагали, что основными золоторудными источниками являлись местные золотоносные кварц-карбонатные жилы раннепротерозойского возраста и метаморфизованные протерозойские конгломераты, приуроченные к выходам кристаллического фундамента. Формирование современных аллювиальных россыпей на данной территории ими объясняется многократным переотложением золота из древних золотоносных коллекторов в более молодые. В.И. Тимофеев [1965], а позднее В.А. Михайлов [1990], анализируя историю геологического развития Вилюйской синеклизы, высказали мнение об образовании россыпей за счет поступления золота из докембрийских золотоносных толщ и коренных источников, сформированных в результате проявленной мезозойской тектономагматической активизации.

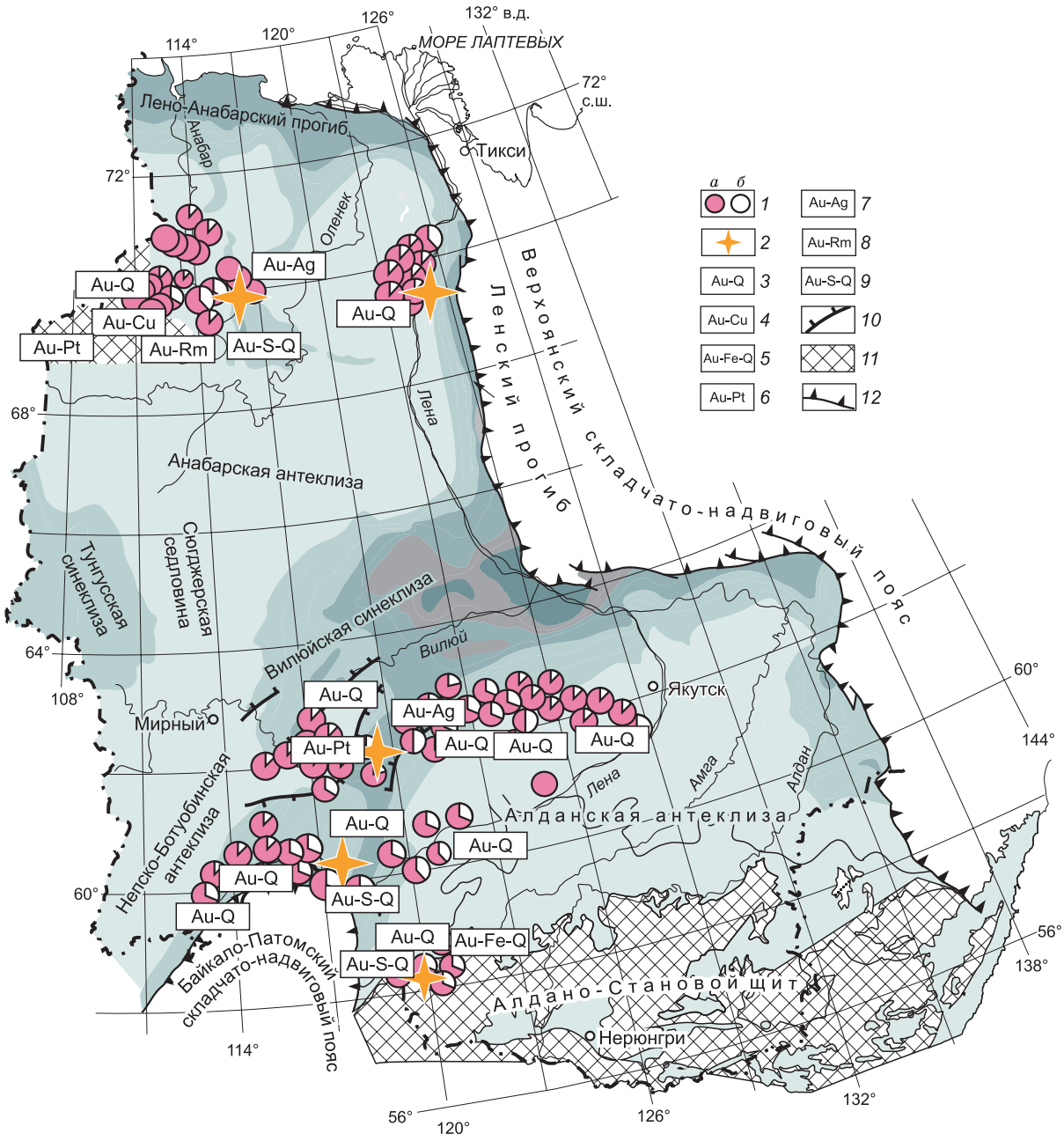


Рис. 1. Схема территории исследований с выделением местонахождения предполагаемых коренных источников различных формационных типов на востоке Сибирской платформы.

Схема составлена на основе карты рельефа кристаллического фундамента востока Сибирской платформы [Тектоника, …, 2001]. *1* — типы золота и их соотношение (%): *а* — I тип: размер 0.10—0.25 мм, пробность > 900 ‰, *б* — II тип: размер > 0.25 мм, пробность 600—800 ‰; *2* — места обнаружения рудного золота; *3—9* — формационные типы коренных источников: *3* — малосульфидная золотокварцевая, *4* — золотомедно-порфировая, *5* — золотожелезисто-кварцитовая, *6* — золотоплатиноидная, *7* — золотосеребряная, *8* — золоторедкометалльная, *9* — золотосульфидно-кварцевая; *10* — разломы; *11* — области выходов пород кристаллического фундамента; *12* — фронт фанерозойских орогенных поясов.

Исследуемая территория охватывает восточную часть Сибирской платформы (рис. 1). Фундамент платформы сложен кристаллическими породами архея и имеет складчато-глыбовое строение. На Алданском и Анабарском щитах широко развиты архейские метаморфические толщи фундамента, представленные кристаллическими сланцами, кристаллическими гнейсами, кварцитами и терригенно-карбонатными породами. Протерозойские терригенные образования прослеживаются на площадях выходов фундамента. Платформенный чехол сложен в основном палеозойско-мезозойскими терригенно-карбонатными отложениями — песчаниками, известняками, доломитами с прослоями конгломератов.

Интрузивные тела осадочного чехла платформы представлены среднепалеозойскими дайками и силлами основного и щелочно-основного состава. Позднепротерозойские габбро-долериты и лейкократовые долериты прослеживаются в районе Уринского антиклинория и Уджинского поднятия. Разновозрастные (AR—MZ) магматические комплексы от ультраосновного до кислого состава широко распространены на Алданском и Анабарском щитах и на территории Оленекского поднятия. В зонах экзоконтактов интрузивов наблюдаются с разной степенью интенсивности ороговикование и мраморизация вмещающих пород, а также скарнирование, амфиболизация, хлоритизация, серпентинизация, карбонатизация и пиритизация. Приуроченность разновозрастных магматических образований к зонам разрывных нарушений указывает на неоднократное проявление на востоке Сибирской платформы мезозойской тектономагматической активизации, создающей предпосылки для формирования золоторудных источников. Кайнозойские рыхлые отложения разнообразного генезиса имеют широкое распространение на всей исследуемой территории — это аллювиальные, эоловые и делювиальные отложения нижне-, средне-, верхнечетвертичного и современного возраста.

Известно, что типоморфизм россыпного золота несет колоссальную информацию о природе самородного золота — как о первичном эндогенном происхождении, так и экзогенном преобразовании, что позволяет выявлять формационный тип оруденения и тем самым повышает достоверность прогноза и целенаправленность поиска золоторудных месторождений в платформенных областях. В связи с этим весьма актуальным является исследование минералого-геохимических особенностей россыпного золота и выявление пространственных закономерностей его распределения, необходимых для разработки минералогических критериев прогнозной оценки рудной золотоносности [Никифорова и др., 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА

Обобщение результатов многолетнего изучения минералогии россыпного золота позволило на новом уровне знаний определить перспективы рудной золотоносности востока Сибирской платформы. Впервые обосновано, что формирование россыпной золотоносности на данной территории происходило в основном за счет оруденений докембрийского возраста, а на локальных участках — мезозойского. На исследуемой территории не исключается наличие палеозойских золоторудных источников, но для доказательства этого положения еще недостаточно достоверных данных. Анализ минералого-геохимических особенностей россыпного золота и закономерности его распределения дали возможность по выявленным индикаторным признакам россыпного золота, характерным для определенных рудных месторождений, установить формационные типы рудных источников и их местонахождение.

Результаты изучения типоморфных признаков россыпного золота и сопоставление полученных данных с историей геологического развития региона позволили впервые выделить два типа золота, соответствующих двум этапам рудообразования — докембрийскому и мезозойскому.

Первый тип золота представлен хорошо окатанными чешуйчатыми и пластинчатыми формами размером 0.10—0.25 мм с грубошагреневой, грубоямчатой поверхностью, иногда с отпечатками вдавливания минералов вмещающих отложений. Для него характерны псевдосростки золота с окатанными кварцем, ильменитом, цирконом и др. минералами, свидетельствующие о его поступлении из древних золотоносных коллекторов. Золотины имеют высокую пробность (900—999 ‰), узкий набор элементов-примесей и единичные микровключения пирита и арсенопирита. Внутреннее строение золота существенно преобразовано и представлено структурами перекристаллизации, рекристаллизации, с линиями пластических деформаций, мощными высокопробными оболочками (10—30 мкм), указывающими на его длительное пребывание в экзогенных условиях.

Второй тип золота характеризуется в основном более крупными (0.25—2.0 мм) пластинчатыми и комковидными формами, иногда золотинами рудного облика, пылевидной фракцией менее 0.1 мм. Пробность золота варьирует в пределах 500—900 ‰, преобладают средне- и низкопробные разновидности. Содержание Ag меняется в пределах 12—40 %, Hg— до 6 %, Cu от 1 до >1 %. В золоте установлен широкий набор элементов-примесей: Fe, Pb, As, Sb, Zn, Te, Bi и др. Внутреннее строение золота практически не изменено, ему свойственны монозерна и крупно- и среднезернистые структуры, иногда отмечаются фрагменты очень тонких высокопробных оболочек. Кроме этого, в нем обнаружены неясно-зональные и межблоковые структуры, грануляция, дезинтеграция, а также пористость, типичные для золота малоглубинных месторождений [Савва и др., 2004; Николаева, Яблокова, 2007].

ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИЗНАКИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ ДОКЕМБРИЙСКОГО ЭТАПА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Выявление в россыпном золоте I типа докембрийского этапа рудообразования характерных индикаторных признаков позволило впервые обосновать на востоке Сибирской платформы формирование

золоторудных источников малосульфидной золотокварцевой, золотожелезисто-кварцитовой, золото-медно-порфировой и золотоплатиноидной формаций (см. рис. 1, табл. 1).

Оруденения **малосульфидной золотокварцевой формации** прогнозируются в местах выходов фундамента и их обрамлений на основании выявления в россыпном золоте ряда индикаторных признаков. Данное золото широко распространено в аллювиальных отложениях всех водотоков. Оно представлено в основном чешуйчатыми, реже тонкопластинчатыми формами мелкой фракции (–0.1…+0.25 мм) и высокой пробностью (900—999 ‰) (рис. 2, *а—г*). Золото имеет гомогенный Au-Ag состав. Для золота характерны полностью перекристаллизованные внутренние структуры, сплошные высокопробные оболочки до 20—40 мкм, следы пластических деформаций в виде многочисленных линий трансляций, иногда приводящие к полному или частичному исчезновению первичной гипогенной зернистой структуры, в результате чего золото приобретает слоистое строение (см. рис. 2, *д—ж*). Выявленные внутренние структуры россыпного золота указывают на его длительное пребывание в экзогенных условиях и свойственны для древнего неоднократно переотложенного золота из докембрийских уровней в более молодые. В результате анализа состава микроминералов, заключенных в матрице золотин, обнаружены микронные (1—5 мкм) включения сульфидов, по элементному составу соответствующие пириту и арсенопириту (см. рис. 2, *з, и*). Эти микровключения расположены непосредственно в матрице золотин, в удаленности от краевых частей, что дает основание предполагать их сингенетичное эндогенное происхождение. В золоте отмечается преобладание микровключений породообразующих минералов — в процентном соотношении доминирует кварц (см. рис. 2, *к*), затем полевые шпаты и карбонаты. В целом установленные индикаторные признаки россыпного золота, а именно — высокая пробность (950—999 ‰), микроминеральные включения пирита, арсенопирита, кварца и карбонатов, наличие структур перекристаллизации, линий пластических деформаций характерны для коренных источников малосульфидной золотокварцевой формации (см. рис. 2).

Следует отметить, что по совокупности выявленных минералого-геохимических признаков золото сопоставимо с минералогическими особенностями россыпного золота древних платформ (Северо-Американская, Австралийская, Африканская, Индийская и др.) [Dunn, 1929; Giusti, 1986; DiLabio et al., 1988; Minter et al., 1993; Knight et al., 1999], где оно также образует широкий ореол рассеяния вблизи выходов фундамента и связано с оруденением малосульфидной золотокварцевой формации докембрийского этапа рудообразования. Анализ закономерности распределения золота на востоке Сибирской платформы позволил установить, что оно имеет широкое распространение вблизи выходов фундамента и на его краевых частях — на северной окраине Байкало-Патомского надвигового пояса, в обрамлении Анабарского и Алданского щитов, вблизи Оленекского, Билиро-Уджинского, Якутского поднятий, Сунтарского свода и др. На этих территориях в раннепротерозойских кварц-карбонатных жилах установлено содержание золота до 2 г/т [Трушков и др., 1975; Шпунт и др., 1976]. На основании минералого-геохимического сходства золота и выявленной закономерности его пространственного распределения

Таблица 1. **Индикаторные признаки россыпного золота рудных формаций докембрийского этапа рудообразования**

Тип золоторудных формаций	Характеристика россыпного золота					
	Грануломе-трия, мм	Форма	Проб-ность, ‰	Элементы-примеси	Микровключения	Внутренние структуры
Малосуль-фидная Au-Q	–0.1; 0.1—0.25; реже > 0.25	Чешуйча-тая, пла-стинчатая	900—999	Ag < 20 %, Cu 0.1 %	Пирит, арсенопирит, кварц, карбонат	Перекристалли-зованные, рекри-сталлизованные, линии деформа-ций, высокопроб-ные оболочки от 20 мкм и более
Au-Cu-порфировая	0.1—0.25; > 0.25	»	950—999	Cu от 0.5—1 % до 4 %	Не обн.	
Au-Pt	0.1—0.5	»	950—999	Pt 96 г/т (в ед-х пробах 630—1130 г/т), Pd 5—570 г/т (до 7 %) (в ед-х >1015 г/т), Ni 5—100 г/т, Cu до 1.5 % (в ед-х случаях до 27 %), Hg (0.2—0.5 %)	Минеральные фазы группы Pt, срастания золота (Au—95.95 %, Pd—4.12 %, Ag—1.36 %) и платины (Pt—87.79 %, Fe—10.95 %)	
Au-FeQ	–0.1—0.25	Чешуйча-тая	950—999	Fe — 68 г/т и более	Гематит, магнетит, корунд	

Примечание. Элементы-примеси Ag, Cu, Hg — микрозондовый анализ (%), Fe, Pt, Pd, Ni, Bi — атомно-эмиссионный спектральный анализ (г/т). Отдел физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН. Аналитики С.Ю. Коркина, Е.Л. Нарышкина.

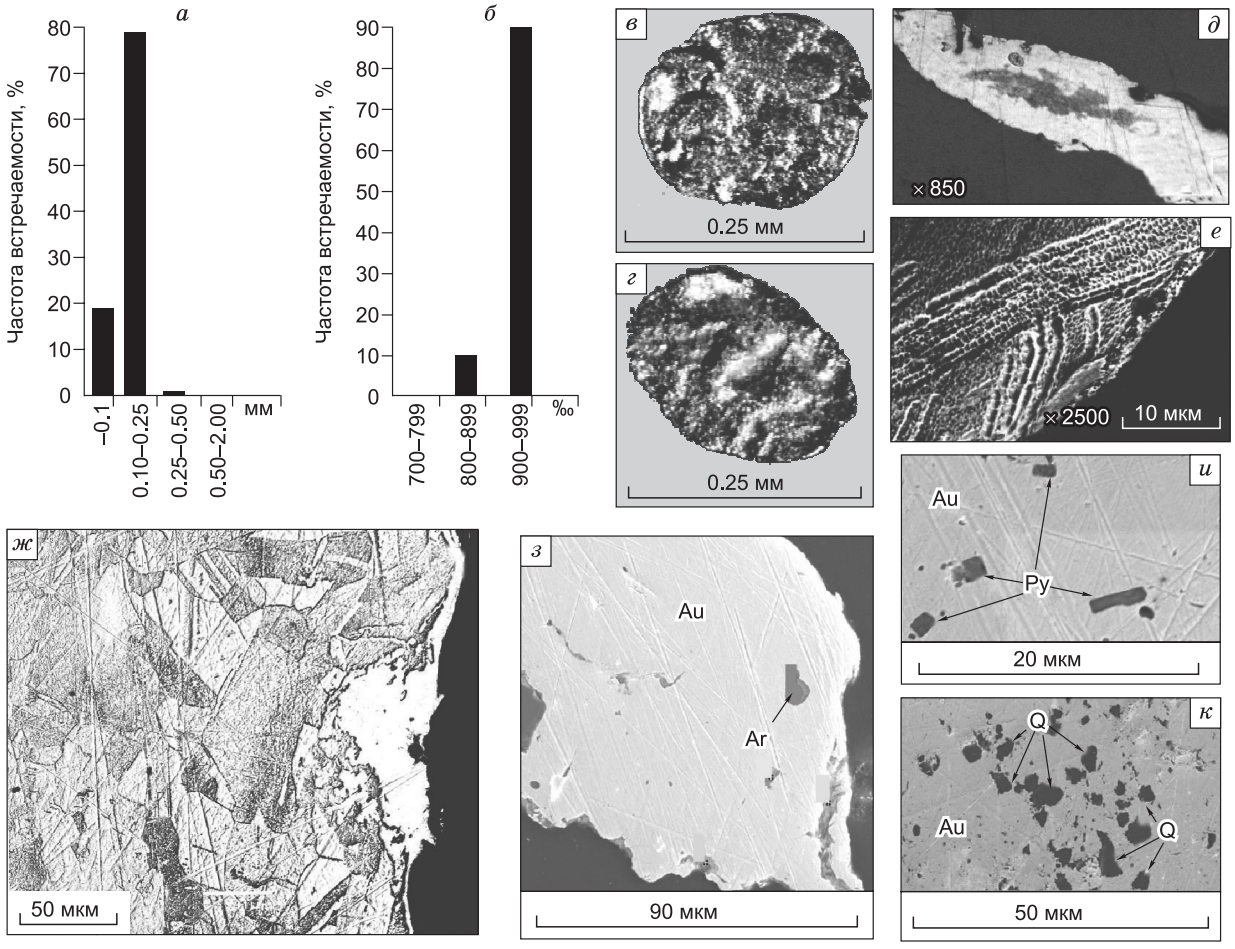


Рис. 2. Индикаторные признаки россыпного золота, характерные для рудных источников малосульфидной золотокварцевой формации.

а — гранулометрический состав (мм); *б* — пробность (‰); *в, г* — чешуйчатые формы с отпечатками вдавливания минералов вмещающих пород; *д—ж* — внутренние структуры россыпного золота: *д* — плотная высокопробная оболочка, *е* — линии деформации, *ж* — структура перекристаллизации высокопробного золота; *з—к* — микровключения в матрице золотин (Au): *з* — арсенопирит (Ar), *и* — пирит (Py), *к* — кварц (Q).

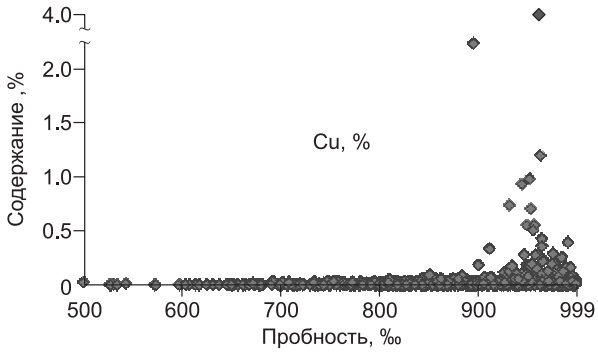
правомерно предположить, что коренными источниками обширного ореола рассеяния золота на востоке Сибирской платформы, так же как и на других древних платформах, являются оруденения малосульфидной золотокварцевой формации. Это дает основание прогнозировать на востоке Сибирской платформы аналоги крупных месторождений типа Поркъюпайн, Керкленд Лейк и др.

Золотомедно-порфировая формация. Обнаружение в бассейне р. Бол. Куонамка (Анабарский щит и его обрамление) высокопробного золота с устойчивым содержанием Cu от 0.3—0.5 %, а в единичных — от 1 до 4 % является одним из индикаторных признаков золотомедно-порфировой формации (рис. 3). Полученные данные подтверждают ранее выдвинутое предположение А.В. Толстова [2002] о формировании такого типа оруденения в Билляхской зоне глубинных разломов (участок Бороску, р. Бол. Куонамка) на основании выявления в россыпном золоте повышенного содержания меди до 4.5 % и более. Позднее А.П. Смеловым с соавторами [2004] в Билляхской зоне обнаружено повышенное содержание Au до 2.5 г/т в магматических породах гранитоидного массива и вмещающих его метаморфических комплексах (плагиогнейсах, гранитогнейсах, кристаллических сланцах), что послужило им основанием прогнозировать на данной территории формирование месторождений золотомедно-порфирового типа. А.А. Кравченко [Кравченко и др., 2010] также прогнозирует золотомедно-порфировый тип оруденения в Билляхской и Котуйканской зонах тектонического меланжа, в рассланцованных гранитоидах и вмещающих гнейсах с сульфидной минерализацией, где установлено содержание золота до 2.7 г/т.

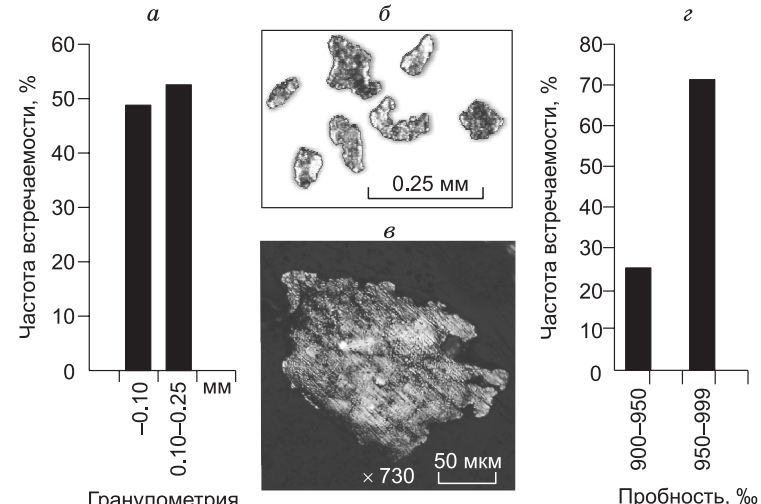
Золотожелезисто-кварцитовая формация. На северо-западе Алданского щита в россыпных проявлениях среднего течения р. Токко и ее притока Торго, наряду с золотом малосульфидной золото-

Рис. 3. Индикаторный признак, характерный для рудных источников золотомедно-порфировой формации.

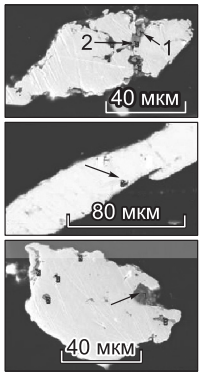
Диаграмма содержания микропримеси Cu (%) в россыпном золоте. Количество определений — 1748.



кварцевой формации, выявлено преобладание исключительно высокопробного (950—999 ‰) весьма мелкого (–0.1…+0.25 мм) золота, представленного угловатыми чешуйчатыми, тонкопластинчатыми и комковидными формами рудного облика с полностью перекристаллизованной и рекристаллизованной внутренней структурой (рис. 4, *а*—*г*). Спектральным анализом в нем установлено устойчивое наличие элементов-примесей Fe (0.0068 %) и Bi (0.0016 %), а микрозондовым — Cu (>0.1 %). Также в золоте выявлены постоянные микровключения гематита, ильменита и корунда (см. рис. 4, *д*). Данное золото по типоморфным признакам схоже с видимым самородным золотом из железистых кварцитов борсалинской свиты архея западной части Алданского щита [Кассандров, Маринич, 1979], где кроме тонкодисперсного золота было обнаружено видимое мелкое и очень мелкое золото (0.04—0.25 мм) весьма высокой пробности (~950 ‰), представленное угловатыми чешуйчатыми, пластинчатыми, изометричными и неправильными формами с неровной ямчатой поверхностью. В железистых кварцитах это золото ассоциирует с магнетитом и гематитом, из элементов-примесей в нем присутствуют Fe, Bi и повышенное количество Cu. Таким образом, выявленное сходство самородного золота свидетельствует, что рудными источниками для россыпных проявлений среднего течения рек Токко и Торго являлись железистые кварциты архейского возраста, в которых пробирным анализом установлено содержание от 0.6 до 1 г/т золота (Родионов, Блажкун, 1965 г.). Кроме этого, в русловом аллювии этих водотоков наблюдается присутствие гематита и гальки кварцитового состава, что также указывает на золотожелезисто-кварцитовый тип источника. Обнаружение в золоте следующих индикаторных признаков — мелкая фракция –0.1…+0.25 мм, чешуйчатые, тонкопластинчатые и комковидные формы рудного облика, исключительно высокая пробность (>950 ‰), наличие постоянных элементов-примесей Fe, Bi и Cu, присутствие микровключений гематита, ильменита и корунда, а также структуры полной перекристаллизации и рекристаллизации, дает основание прогнозировать на данной площади оруденение золотожелезисто-кварцитовой формации. Месторождения золотожелезисто-кварцитовой формации с содержанием золота до 10 г/т широко распространены на территории Южной Якутии (железорудные месторождения Тарыннахское, Ымалахское и др.).



д



№	Включение	Fe	O	Сумма
1	Гематит	77.18	24.14	101.32
2	Гематит	77.73	22.27	100.00

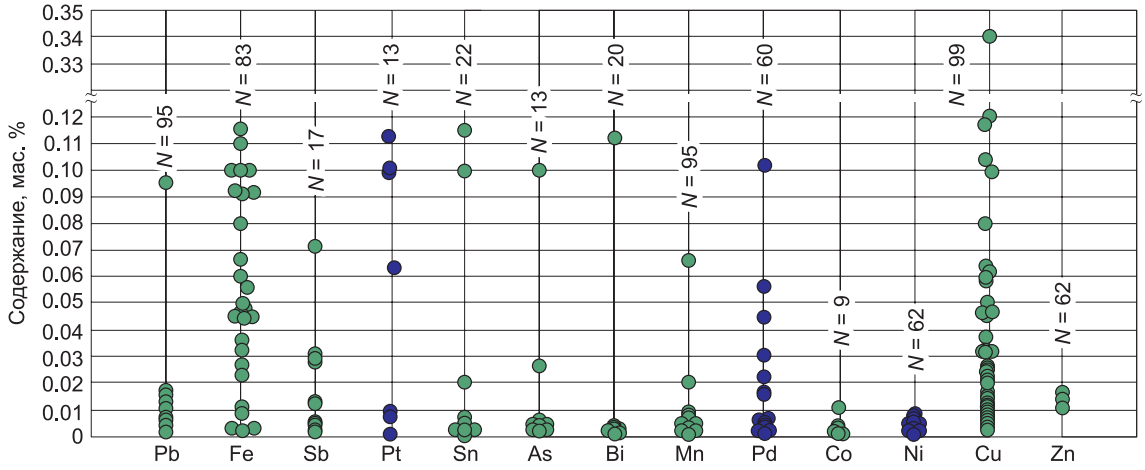
Включение	O	Al	Au	Сумма
Корунд	41.43	43.01	17.25	101.69

Включение	O	Al	Si	Ti	Fe	Сумма
Ильменит	36.23	1.83	1.90	37.01	22.26	99.23

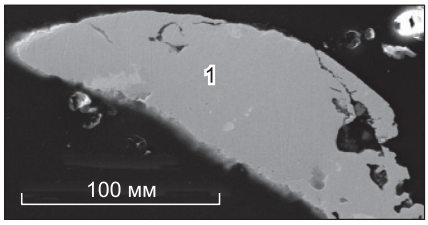
Рис. 4. Индикаторные признаки россыпного золота, характерные для рудных источников золотожелезисто-кварцитовой формации.

а — гранулометрический состав (мм); *б* — угловатые золотины рудного облика; *в* — структура рекристаллизации; *г* — пробность (‰); *д* — микровключения в золоте (%).

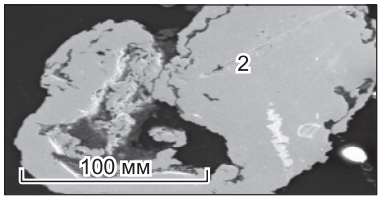
а



б

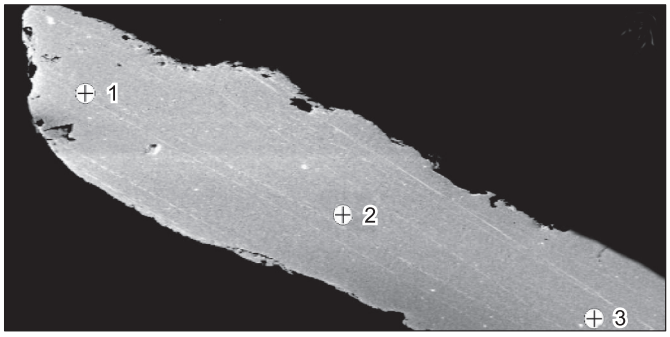


Спектр	O	Al	Si	Ti	Cr	Pt	Au	Сумма
1	25.85	2.92	5.82	3.15	11.59	10.03	17.72	77.08



Спектр	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Pt	Au	Сумма
2	18.07	2.57	2.81	9.42	1.24	1.75	6.89	21.23	63.98

в



Спектр	Cu	Pd	Au	Сумма
1	4.14	3.08	91.69	98.91
2	4.46	3.87	91.37	99.70
3	4.42	4.17	89.74	98.33

г

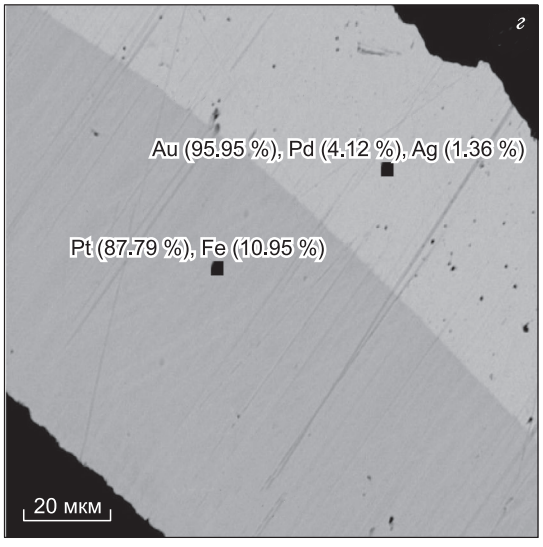


Рис. 5. Индикаторные признаки золота, характерные для рудных источников золотоплатиноидной формации.

а — содержание элементов-примесей в россыпном золоте Лено-Вилюйского междуречья (атомно-эмиссионный спектральный количественный анализ, спектрограф ДСФ-8. Аналитики С.Ю. Коркина, Е.Л. Нарышкина); *б* — включения экзотических фаз Pt и Ti в золоте; *в* — поперечный срез и химический состав палладистого золота (%); *г* — деталь: срастание палладистого золота и железистой платины. *N* — количество обнаружений.

Рудные источники **золотоплатиноидной формации** впервые прогнозируются в обрамлении Сунтарского свода (бассейны рек Кемпендяй, Буягинская, Тенкинская Нурчууку и др.) и Анабарского щита (бассейн р. Бол. Куонамка) на основании обнаружения в высокопробном чешуйчатом золоте устойчивых элементов-примесей Pt, Pd, Ni, а также Pt минеральных фаз и срастаний Au-Pt (рис. 5).

В обрамлении Сунтарского свода в правобережных притоках р. Вилюй по результатам спектрального анализа (более 100 объектов) в высокопробном чешуйчатом золоте с повышенным содержанием Cu до 2 %, фракции 0.10—0.25 мм, выявлено постоянное присутствие микропримесей Pt — 96 г/т (в единичных пробах до 1130 г/т), Pd — 5—570 г/т (в единичных пробах >1015 г/т) и Ni — 5г/т (в единичных пробах до 100 г/т) (см. рис. 5, *а*). Для данного золота свойственны перекристаллизованные внутренние структуры, линии Людерса и широкое развитие межзерновых высокопробных прожилков. Доказательством наличия рудных источников Au-Pt формации на исследуемой территории является также обнаружение в ряде золотин включений экзотической минеральной фазы группы Pt (см. рис. 5, *б*). Кроме того, в результате спектрального количественного анализа крупной золотины (> 2 мм) из русловых отложений р. Чара (юго-восток Сибирской платформы) обнаружены аналогичные элементы-примеси Pt (16 г/т), Pd (6—52 г/т) и Ni (40 г/т) [Глушкова, 2009]. Совокупность установленных в россыпном золоте индикаторных признаков — высокая пробность, повышенное содержание Cu, постоянное присутствие элементов-примесей Pt, Pd и Ni, а также включений экзотической минеральной фазы группы Pt дает основание прогнозировать в пределах Сунтарского сводового поднятия оруденения золотоплатиноидной формации, вероятно, связанных с широко проявленным базитовым магматизмом раннепротерозойского и более позднего возраста (см. рис. 5). Связь золоторудных источников с базитовым магматизмом подтверждается данными В.Л. Масайтиса (Масайтис и др., 1970 г.), которым обнаружены золоторудные проявления в трапповых образованиях с содержанием золота до 1 г/т, что послужило ему основанием для поиска золоторудных месторождений в полях развития базитового магматизма. Позднее В.М. Мишнин [Мишнин и др., 2002] на основании анализа геофизических исследований связал перспективы рудоносности докембрийского возраста с широко проявленным базитовым магматизмом.

Оруденения золотоплатиноидной формации также прогнозируются в бассейне р. Бол. Куонамка (Анабарский щит) по результатам микрозондового анализа в высокопробном пластинчатом золоте микропримесей Pd (от 4 до 7 %), Cu (до 4 %), Hg (0.1—0.5 %) (см. рис. 5, *в*) и по результатам спектрального анализа — Pt (до 0.026 %), Ni (до 0.011 %), а также обнаружения в золоте включений железистой платины (см. рис. 5, *г*). Обнаружение индивидов палладистого золота в срастании с железистой платиной, а также совместное нахождение в тяжелой фракции шлиха Au и минералов Pt группы, представленных поликсеном (60 %), родистой платиной (25 %), хонгшитом (6 %) и палладистой платиной (9 %), являются свидетельством единого источника золота и МПГ [Герасимов, Никифорова, 2017]. Прогнозируемые оруденения золотоплатиноидной формации, вероятно, локализованы в расслоенных норит-анортозитовых плутонах Котуйкан-Монхолинской тектонофлюидитной зоны Анабарского щита, где, по данным Д.А. Додина [2002], установлены содержания (г/т) Au (до 0.5), Pd (до 0.17) и Pt (до 0.11).

ИНДИКАТОРНЫЕ ПРИЗНАКИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ МЕЗОЗОЙСКОГО ЭТАПА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Выявление в россыпном золоте II типа мезозойского этапа рудообразования характерных индикаторных признаков, свойственных определенным рудным формациям, позволило впервые прогнозировать на востоке Сибирской платформы формирование золоторудных источников золотосеребряной, золотосульфидно-кварцевой и золоторедкометалльной формаций (см. рис. 1, табл. 2).

Образование малоглубинных оруденений **золотосеребряной формации** прогнозируется в истоках рек Лено-Вилюйского междуречья (реки Кемпендяй, Намана, Тонгуо, Чебыда и др.) в зоне кемпендяйских дислокаций на основе обнаружения в россыпном золоте следующих индикаторных признаков— пластинчатая и комковидная формы, фракция 0.25—2.0 мм, средняя и низкая пробность (от 500 до 870 ‰) с повышенным содержанием Ag (до 47.7 %) и Hg (до 1.46 %), широкий спектр элементов-примесей Pb, Zn, As, Sb, Cu, Te и др., а также наличие в золоте микронных включений самородного Ag и включений адуляра, стронциевого барита и кальцита (рис. 6, *а—к*).

Внутренние структуры россыпного золота отличаются в основном монозернистостью, встречаются разнофазные и пористые индивиды, типичные для золота близповерхностных низкотемпературных месторождений [Николаева и др., 2003; Николаева, Яблокова, 2007]. Следует отметить, что в русловом аллювии этих рек наряду с высокими содержаниями золота (1.5 г/м^3) наблюдается широкое распространение неокатанных зерен барита, гематита, а также халцедоновидного кварца. Доказательством формирования оруденения золотосеребряной формации служат также данные предшественников, которыми в отложениях ранней юры и мела обнаружены кварц-кальцит-баритовые жилы с содержанием Au до 1.4 г/т. Происхождение этих рудопроявлений ряд исследователей (Кирина, 1966 г.; Киселев, 1970 г.)

Таблица 2. **Индикаторные признаки россыпного золота рудных формаций мезозойского этапа рудообразования**

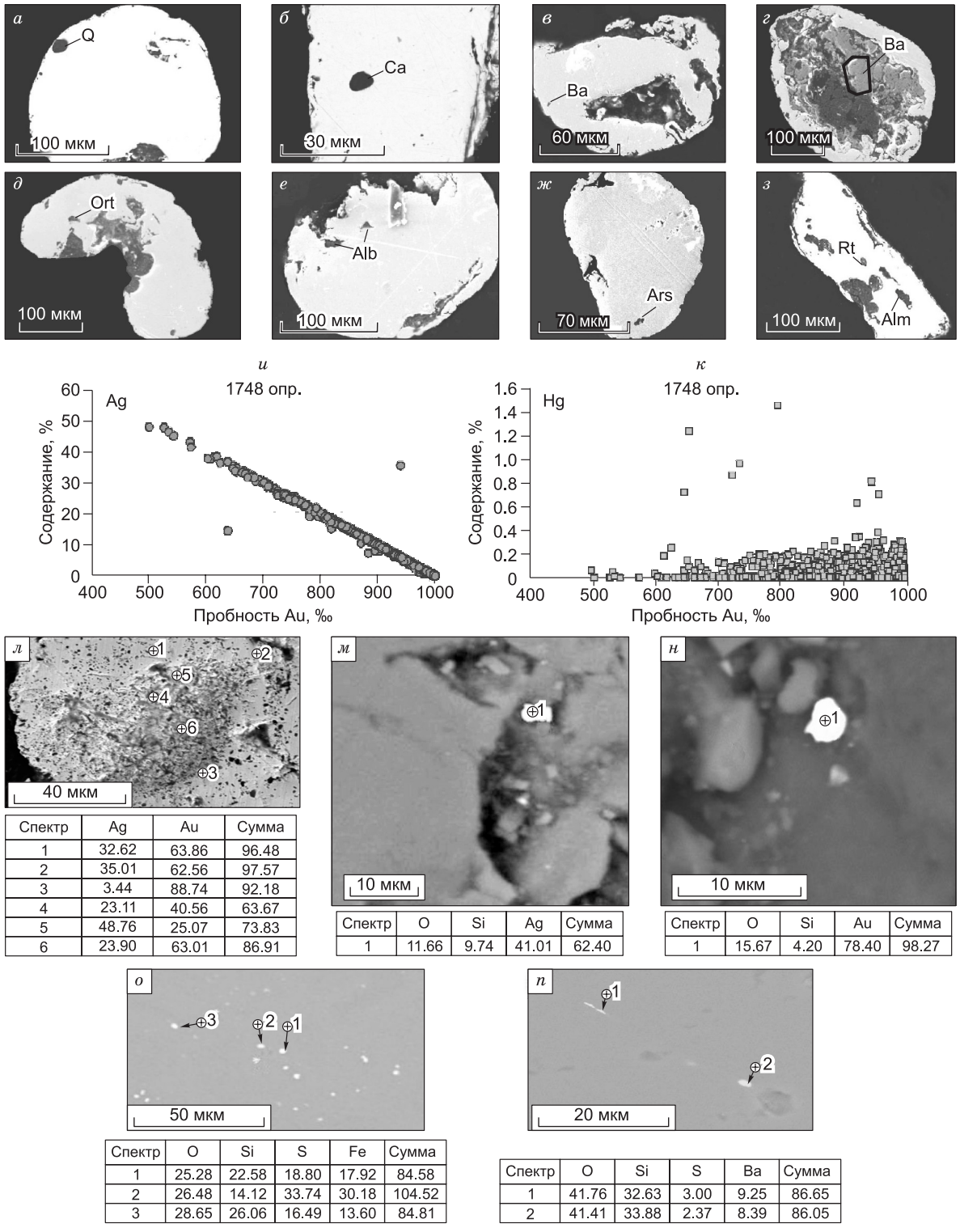
Тип золоторудных формаций	Характеристика россыпного золота					
	Гранулометрия, мм	Форма	Пробность, ‰	Элементы-примеси	Микровключения	Внутренние структуры
Au-Ag	–0.25; и более 1—2	Пластинчатая, таблитчатая, комковидная	<500—870	Ag до 47.7 %, Hg до 1.46 %, Pb 20—90 г/т, Zn 110—170 г/т, As 20—70 г/т (до 1000 г/т), Sb 12—60 г/т, Te 40 г/т и др.	Стронциевый барит, арсенопирит, пирит, кварц, адуляр, кальцит	Наличие двухфазного золота, мозговидное строение, пористость
Au-редкометалльная	–0.25; 0.25—0.50 и более	Пластинчатая, таблитчатая, комковидная, дендритовидная	<400—990	Bi 480 г/т, Fe 1000 г/т, Cu 1109 г/т	Самородный висмут, мальдонит, арсенопирит, теллуриды серебра	Среднезернистые, неяснозональные, яснозональные
Ag-S-Q	–0.25; 1—2 и более	Пластинчатая, таблитчатая, комковидная	750—999	Hg до 5 %	Пирит, арсенопирит, кальцит, теллуриды, минералы с редкоземельными элементами	Крупнозернистые, среднезернистые, неяснозональные

Примечание. Элементы-примеси Ag, Cu, Hg — микрозондовый анализ (%), Pb, Zn, As, Sb, Te, Bi, Fe, Cu — атомно-эмиссионный спектральный анализ (г/т). Отдел физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН. Аналитики С.Ю. Коркина, Е.Л. Нарышкина.

связали с кислым вулканизмом раннеюрского и мелового возраста. Кроме установленных в россыпном золоте минералого-геохимических критериев, характерных для коренных источников золотосеребряной формации, выявлены и геолого-структурные предпосылки, свидетельствующие о формировании таких оруденений в зоне кемпендяйских дислокаций (Вилюйский палеорифт). Полевыми исследованиями обнаружено, что в русловых отложениях максимальные концентрации россыпного золота и гальки халцедоновидного кварца пространственно совпадают с полями развития вулканических образований, залегающих на раннемеловых отложениях. Данные вулканиты представлены андезит-дацитами, обломками стекла кислого состава и пемзой, а также псаммитовыми туфами, сцементированными вулканическим стеклом. На основании проведенных спектральных и химических анализов выявлено, что как в вулканитах, так и в низкосреднепробном золоте отчетливо прослеживается устойчивая Ag-Pb-Zn-Cu геохимическая ассоциация, позволяющая установить парагенетическую связь эпитермального золотосеребряного оруденения с вулканизмом, проявленным в зоне кемпендяйских дислокаций [Никифорова и др., 2007]. На основании сходства минералого-геохимических особенностей россыпного золота и геологического развития данной территории (внутриконтинентальный Вилюйский палеорифт) правомерно предположить здесь формирование золотосеребряного месторождения типа Крипл Крик мезокайнозойского возраста, которое также приурочено к зоне Скального рифта, где широко проявлен вулканизм андезит-дацитового состава.

Коренные источники золотосеребряной формации прогнозируются также на северо-востоке Сибирской платформы в бассейне р. Уджа на основе выявления в россыпном золоте повышенного содержания Ag (до 60 %), часто имеющего неравномерное зональное распределение, и наличие микрофаз (1—2 мкм) самородного Ag, а также пористое строение (см. рис. 6, *л*). Выявленные индикаторные признаки дают основание предполагать формирование на Билиро-Уджинском поднятии рудопроявлений малоглубинной золотосеребряной формации, что подтверждается находкой в аллювиальных отложениях р. Уджа мелкой гальки халцедоновидного кварца, в которой микрозондовым анализом установлены мельчайшие минеральные фазы золота, серебра, пирита и барита (см. рис. 6, *м—п*).

Золоторедкометалльная формация. Оруденения данной формации впервые прогнозируются в бассейне среднего течения р. Бол. Куонамка (восточное обрамление Анабарского щита) [Герасимов, Никифорова, 2017]. Индикаторными признаками россыпного золота золоторедкометалльной формации являются его весьма широкая вариация пробности (307—950 ‰) и обнаружение в золоте микровключений самородного висмута, мальдонита, арсенопирита и теллуридов серебра (рис. 7, *а—г*). Это золото представлено разнообразными формами (пластинчатые, дендритовидные, комковидно-угловатые и крючковатые) и характеризуется преимущественно среднезернистым и зональным внутренним строением (см. рис. 7, *д, е*). Образование оруденений золоторедкометалльной формации, вероятно, связано с



Спектр	Ag	Au	Сумма
1	32.62	63.86	96.48
2	35.01	62.56	97.57
3	3.44	88.74	92.18
4	23.11	40.56	63.67
5	48.76	25.07	73.83
6	23.90	63.01	86.91

Спектр	O	Si	Ag	Сумма
1	11.66	9.74	41.01	62.40

Спектр	O	Si	Au	Сумма
1	15.67	4.20	78.40	98.27

Спектр	O	Si	S	Fe	Сумма
1	25.28	22.58	18.80	17.92	84.58
2	26.48	14.12	33.74	30.18	104.52
3	28.65	26.06	16.49	13.60	84.81

Спектр	O	Si	S	Ba	Сумма
1	41.76	32.63	3.00	9.25	86.65
2	41.41	33.88	2.37	8.39	86.05

Рис. 6. Индикаторные признаки золота, характерные для рудных источников золотосеребряной формации.

а—з — микроминеральные включения в россыпном золоте: *а* — кварц (Q); *б* — кальцит (Ca); *в, г* — барит (Ba); *д* — ортоклаз (Ort); *е* — альбит (Alb); *ж* — арсенопирит (Ars); *з* — рутил, альмандин (Rt, Alm); *и, к* — гистограммы распределения примесей в россыпном золоте (%): *и* — Ag, *к* — Hg; *л* — пористое золото в полированном срезе и его химический состав; *м—п* — минеральные фазы, обнаруженные в халцедоновидном кварце: *м* — серебра, *н* — золота, *о* — пирита, *п* — барита.

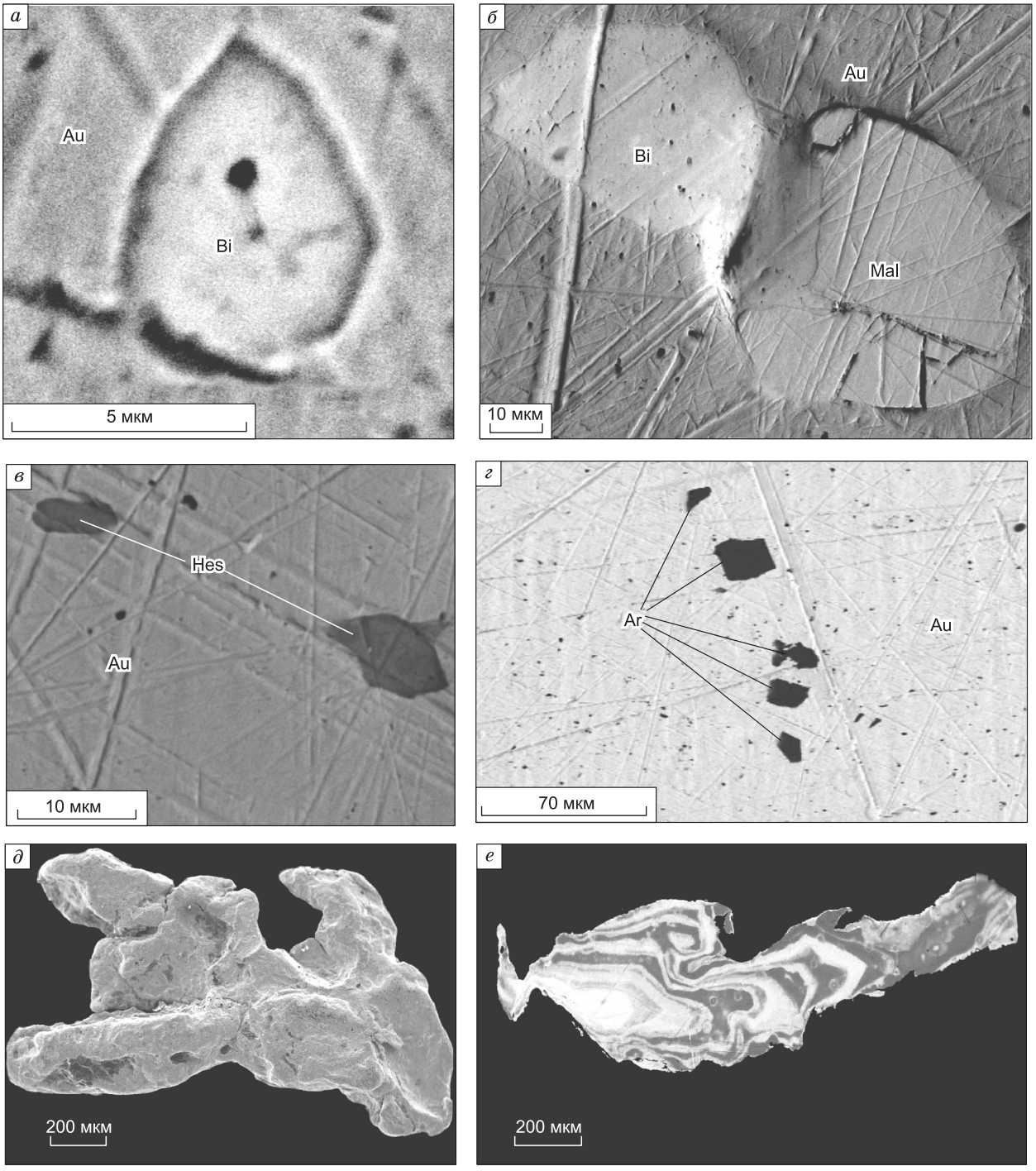


Рис. 7. Индикаторные признаки россыпного золота, характерные для рудных источников золото-редкометалльной формации.

а—г — микроминеральные включения в золоте (Au): *а* — самородного висмута (Bi), *б* — срастания самородного висмута (Bi) и мальдонита (Mal), *в* — гессита (Hes), *г* — арсенопирита (Ar); *д* — золотина дендритовидной формы; *е* — зональное внутреннее строение низкопробного золота.

проявлением тектономагматической активизации мезозойского возраста и пространственно приурочено к мобильной зоне Восточно-Анабарского разлома.

Золотосульфидно-кварцевая формация. Оруденения данной формации прогнозируются на юго-востоке Сибирской платформы в пределах Уринского антиклинория в бассейне Средней Лены, в устьях рек Бол. Патом и Каменка на основании обнаружения россыпного золота пластинчатой и комко-

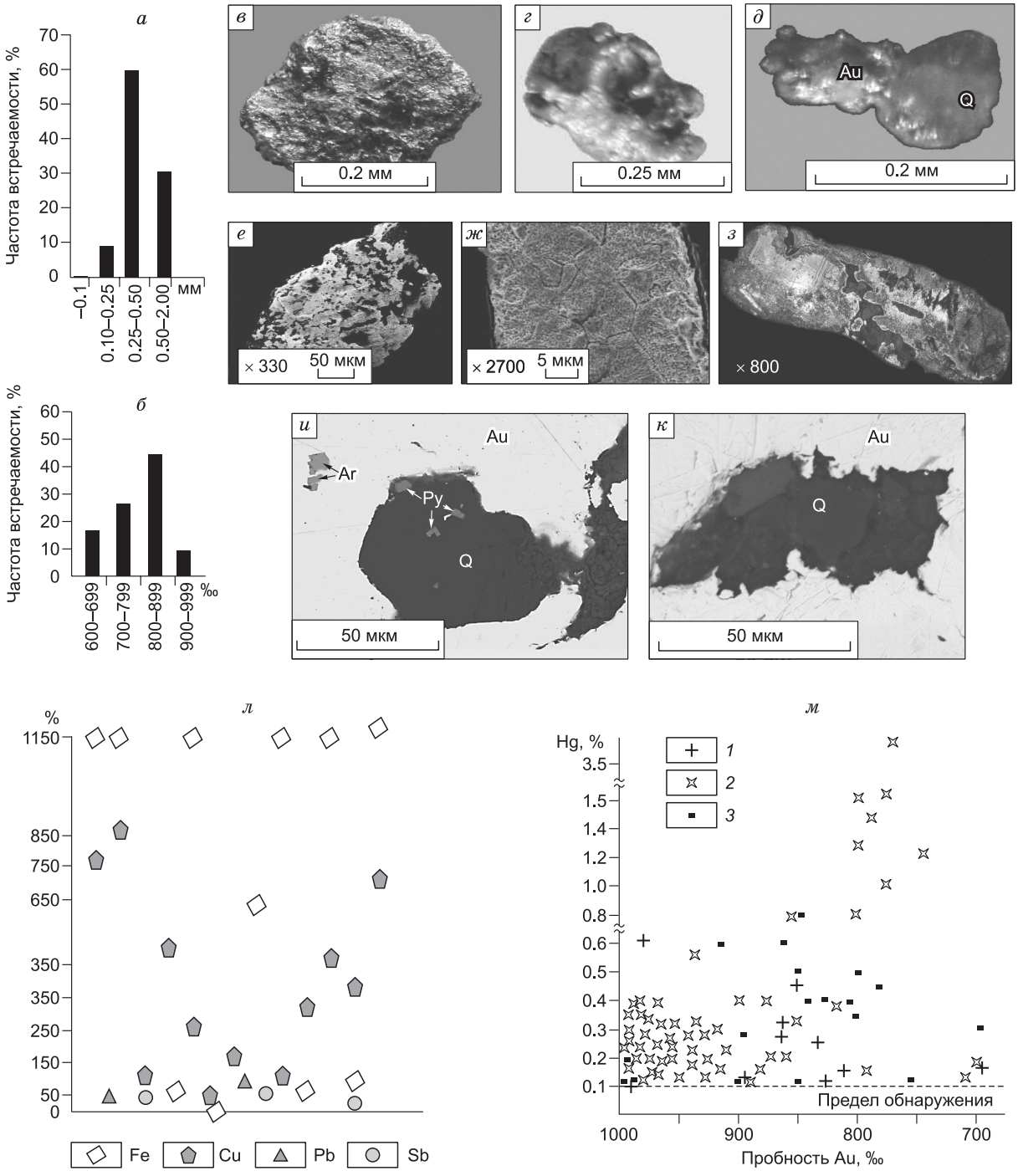


Рис. 8. Индикаторные признаки россыпного золота, характерные для рудных источников золота золотосульфидно-кварцевой формации.

а — гранулометрический состав; *б* — пробность; *в*—*д* — морфология: *в* — пластинчатое губчатое, *г* — комковидное, *д* — сросток золота (Au) с кварцем (*Q*); *е*—*з* — внутреннее строение золота: *е* — губчатое, *ж* — грануляция, *з* — неясно-зональное; *и* — включения пирита (Py), арсенопирита (Ar) и кварца (Q) в золоте (Au); *к* — включения кварца (Q) в золоте (Au); *л* — элементы-примеси россыпного золота бассейна среднего течения р. Анабар; *м* — зависимость между содержанием Hg и пробностью золота: *1* — р. Курунг-Юрях, *2* — р. Маят, *3* — р. Моргогор.

видной формы размером от пылевидного до > 0.25 мм с широкой вариацией пробности 600—900 ‰ и постоянным содержанием Hg (> 6 %), а также до 40 % губчатых хрупких агрегатов, состоящих из сростков мелких частиц золота (до 0.01 мм) с гидроксидами железа (рис. 8, *а*—*е*). Губчатые разновидности имеют низкую пробность (664—727 ‰) и постоянную микропримесь Hg (> 2 %). Внутренние структуры

золота моно- и крупнозернистые с тонкими и прерывистыми высокопробными оболочками, иногда наблюдаются неясная зональность, пятнистая неоднородность, пористость, разнофазность, грануляция и дезинтеграция (рис. 8, *ж, з*). В золоте установлены микровключения кварца, кальцита, пирита, арсенопирита, теллуридов, селенидов и редкоземельных фосфатов.

Вышеперечисленные индикаторные признаки характерны для оруденений золотосульфидно-кварцевой формации. По выявленному комплексу минералого-геохимических особенностей россыпное золото аналогично золоту Куранахского рудно-россыпного узла. В связи с этим на данной территории прогнозируется формирование золоторудного месторождения типа Куранах.

Формирование оруденения золотосульфидной формации также прогнозируется и на северо-востоке Сибирской платформы на основании выявления в россыпном золоте бассейна р. Анабар (Маят, Моргогор и Курунг Юрях) следующих индикаторных признаков — пластинчатые и комковидные формы, средняя и низкая пробность, широкий набор элементов-примесей (Hg, Fe, Cu, Zn, Pb, Sb, As) и наличие микровключений пирита и арсенопирита (см. рис. 8, *и—м*). Образование рудопроявлений данного типа, вероятно, связано с проявлением тектономагматической активизации мезозойского возраста. Эти оруденения с содержанием Au 0.6 г/т пространственно приурочены к зонам метасоматитов, проявленных в палеозойских карбонатных толщах, имеют широкое развитие в Молодо-Попигайской и Анабаро-Эекитской системах разломов, что дает основание прогнозировать формирование на данной территории аналогов золоторудных месторождений типа Карлин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные в россыпном золоте индикаторные признаки, свойственные определенным формационным типам рудных источников, позволяют впервые прогнозировать на востоке Сибирской платформы месторождения типа Керкленд Лейк и Поркьюпайн (малосульфидной золотокварцевой формации) докембрийского возраста, а также типа Крипл Крик (золотосеребряной) и Карлин (золотосульфидно-кварцевой) мезозойского этапа рудообразования, известных на Северо-Американской платформе. Выявленные критерии определения типов оруденения по индикаторным признакам россыпного золота являются бесспорным показателем рудогенеза и могут найти успешное применение при прогнозировании, поисках и оценке золоторудных месторождений.

Работа выполнена в рамках плана НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

ЛИТЕРАТУРА

Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Предполагаемые формационные типы коренных источников золота Анабарского района (северо-восток Сибирской платформы) // Наука и образование, 2017, № 2 (86), с. 11—16.

Глушкова Е.Г. Типоморфные признаки самородного золота россыпных проявлений бассейна Средней Лены (юго-восток Сибирской платформы): Автореф. дис. … к.г.-м.н. Якутск, 2009, 17 с.

Додин Д.А. Металлогения Таймыро-Норильского региона. СПб., Наука, 2002, 822 с.

Зверев В.Н. Условия золотоносности Вилюйского района // Изв. Геолкома, 1925, т. 44, № 5, с. 539—562.

Кассандров Э.Г., Маринич В.А. О золотоносности железистых кварцитов Алданского щита // Геология и геофизика, 1979 (2), с. 87—91.

Кравченко А.А., Смелов А.П., Березкин В.И., Зедгенизов А.Н., Добрецов В.Н. Природа золоторудной минерализации раннепротерозойского билляхского гранитоидного комплекса по геохимическим данным (Анабарский щит) // Отечественная геология, 2010, № 5, с. 23—29.

Михайлов В.А. Источники питания металлоносных отложений Вилюйской синеклизы: Автореф. дис… к.г.-м.н. Томск, ТГУ, 1990, 20 с.

Мишнин В.М., Истомин И.Н., Гриненко В.С. Новая рудоносная провинция на востоке Сибирской платформы // Вестник Госкомгеологии РС (Я), 2002, № 1(2), с. 6—14.

Никифорова З.С., Ивенсен Г.В., Филиппов В.С. Проявления вулканической деятельности в Лено-Вилюйском междуречье и ее связь с золотым оруденением // Международный симпозиум «Крупные магматические провинции Азии, мантийные плюмы и металлогения». Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2007, с. 182—184.

Никифорова З.С., Герасимов Б.Б., Глушкова Е.Г., Каженкина А.Г. Золотоносность востока Сибирской платформы: россыпи — коренные источники // Геология рудных месторождений, 2013, т. 55, № 4, с. 1—15.

Николаева Л.А., Яблокова С.В. Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геолого-разведочных работах // Руды и металлы, 2007, № 6, с. 41—57.

Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н., Яблокова С.В., Шатилова Л.В. Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России. М., ЦНИГРИ, 2003, 184 с.

Обручев В.А. Геологический обзор золотоносных районов Сибири. Ч. 3. Восточная Сибирь, вып. 1. Олекминско-Витимский золотоносный район. М., Ленсолото, 1923, 129 с.

Ржонсницкий А.Г. Маршрутные исследования в восточной части Лено-Вилюйского междуречья // Изв. Геолкома, 1918, № 1, с. 72—75.

Савва Н.Е., Шиляева Н.А., Алевская Н.Л. Топоминералогия конституционных особенностей самородного золота Нижнеамурского россыпного района. Магадан, СВК НИИ ДВО РАН, 2004, 172 с.

Смелов А.П., Амузинский В.А., Зедгенизов А.Н., Березкин В.И., Коваль С.Г. Перспективы коренной золотоносности метаморфических и магматических комплексов Анабарского щита // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Тезисы Третьего Всероссийского симпозиума с международным участием. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2004, с. 279—281.

Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.

Тимофеев В.И. О россыпной золотоносности р. Вилюй // Разведка и охрана недр, 1965, № 6, с. 1—5.

Толстов А.В. Перспективы золотоносности Анабарской антеклизы // Вестник Госкомгеологии, 2002, № 1(2), с. 44—49.

Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Томская А.И., Тимофеев В.И. Золотоносность Вилюйской синеклизы и ее обрамления. Новосибирск, Наука, 1975, 149 с.

Шпунт Б.Р., Шамшина Э.А., Шаповалова И.Г., Крылов И.И., Давыдов Ю.В., Келле Э.Я., Забуга Б.Р., Лазебник К.А. Докембрий Анабаро-Оленекского междуречья. Новосибирск, Наука, 1976, 142 с.

DiLabio R.N.W., Newsome J.W., McIvor D.F., Lowenstein P.L. The spherical form of gold: Man-made or secondary? // Econ. Geol., 1988, v. 83, p. 153—162.

Dunn E.J. Geology of gold. London, Charles Griffin, 1929.

Giusti L. The morphology, mineralogy and behaviour of «fine-grained» gold from placer deposits of Alberta: Sampling and implications for mineral exploration // Canad. J. Earth Sci., 1986, v. 23, p. 1662—1672.

Knight J.B., Mortensen J.K., Morison S.R. Lode and placer gold composition in the Klondike district, Yukon Territory, Canada: implications for the nature and genesis of Klondike placer and lode gold deposits // Econ. Geol., 1999, v. 94, p. 649—664.

Minter W.E.L., Goedhart M., Knight J., Frimmel H.E. Morphology of Witwatersrand gold grains from the Basal reef: Evidence for their detrital origin // Econ. Geol., 1993, v. 88, № 2, p. 237—248.

Поступила в редакцию
7 июля 2017 г.