ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, 2022, том 64, № 2, с. 165–190

УДК 553.411

ЗОЛОТОНОСНЫЕ РОССЫПЕОБРАЗУЮЩИЕ ФОРМАЦИИ ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2022 г. З. С. Никифорова[a], *, А. В. Толстов[b], **

[a] *Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, проспект Ленина, 39, Якутск, 677980 Россия*
[b] *Научно-исследовательское геологическое предприятие АК АЛРОСА (ПАО), Чернышевское шоссе, 16, Мирный, 678170 Россия*

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

***e-mail: tolstovav@alrosa.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2019 г.
После доработки 13.07.2021 г.
Принята к публикации 30.07.2021 г.

Впервые, на основе изучения типоморфных особенностей россыпного золота и закономерностей его распределения, обоснован прогнозный потенциал золотоносности востока Сибирской платформы. Выявленные морфологические и минералого-геохимические индикаторные признаки в россыпном золоте позволили установить генезис россыпей (аллювиальные, эоловые и др.) и прогнозировать типы коренных источников. Золотоносные россыпи формировались за счет рудных формаций, не образующих пластовые россыпи. Этим объясняется наличие непромышленных россыпей, рекомендуемых для комплексной добычи алмаза, золота и платины. Обнаружение золотоносных конгломератов типа Витватерсранд проблематично, поскольку в регионе отсутствуют геологические предпосылки для их образования. Для востока Сибирской платформы выделены следующие формационные типы коренных источников золота: малосульфидная золотокварцевая, золотожелезисто-кварцитовая, золотомедно-порфировая, золотоплатиноидная докембрийского и золотосеребряная, золоторедкометальная, золотосульфидно-кварцевая – мезозойского этапов рудообразования. Все они соответствуют определенным геолого-структурным позициям, и их выделение способствует более корректному подбору методов поиска месторождений. Прогнозируемые типы коренных источников, кроме золотоплатиноидной, не связаны с базитовым магматизмом. Установлен новый источник рудного золота в ультраосновном щелочном карбонатитовом комплексе массива Томтор. Перспективными объектами являются золотосульфидные кварцевые рудные проявления типа Карлин, прогнозируемые в терригенных карбонатных толщах, пространственно тяготеющих к глубинным разломам, неоднократно подновляемым в мезо-кайнозойское время, а также золотосеребряные – типа Крипл-Крик в Вилюйском и Уджинском палеорифтах, где проявлен андезит-дацитовый вулканизм.

Ключевые слова: минералогия и геохимия россыпного золота, россыпи, коренные источники, золоторудные формации, золоторудные месторождения, геолого-структурная позиция, восток Сибирской платформы

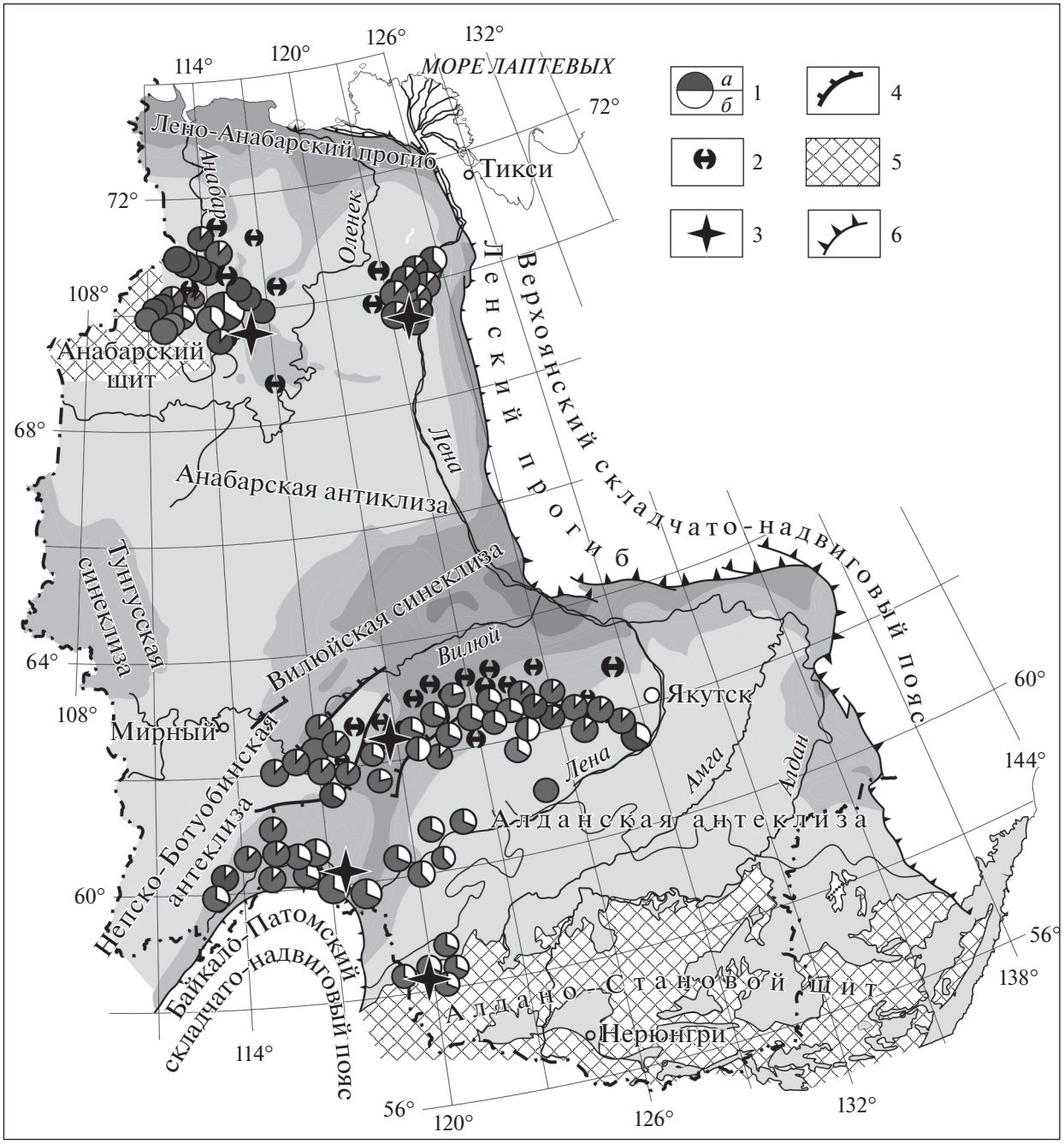
DOI: 10.31857/S0016777022020022

ВВЕДЕНИЕ

В пределах восточной части Сибирской платформы до сих пор не выявлены и не определены типы коренных источников золота, вследствие чего невозможна оценка рудного потенциала исследуемой территории. Данная территория перекрыта мощным чехлом мезо-кайнозойских отложений, где традиционные методы прогнозирования и поисков не дают положительных результатов. Поэтому вопросы о предпосылках образования обширной знаковой россыпной золотоносности, выявление генетического типа коренных источников золота и их геологической приуроченности уже более полутора веков остаются остро дискуссионными.

В статье рассмотрены основные районы россыпепроявлений золота и, на основе изучения особенностей россыпного золота (морфологии, геохимии, закономерностей его распределения, а также анализа геологических обстановок), впервые прогнозируются потенциальные формационные типы золоторудных источников.

Территория исследований: северо-восток Сибирской платформы (Лено-Анабарское междуречье – восточное обрамление Анабарского щита и южное – Оленёкского поднятия), Лено-Вилюйское междуречье (Сунтарский свод, Якутское поднятие и др.), юго-восток Сибирской платформы (бассейн средней Лены – северное обрамление Бай-



Фиг. 1. Схема территории исследования и распространения эолового и двух типов золота на востоке Сибирской платформы: 1 – эоловое золото; 2 – 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‰; 3 – места обнаружения рудного золота; 4 – разломы; 5 – области выходов пород кристаллического фундамента; 6 – фронт фанерозойских поясов.

кало-Патомского складчатого пояса) и северная часть Алдано-Станового щита (фиг. 1).

История изучения золотоносности восточной части Сибирской платформы началась еще в первой половине прошлого века. Авторами систематизированы точки зрения различных исследователей о предполагаемых источниках золота на данной территории (табл.1).

Обширная золотоносность аллювиальных отложений востока Сибирской платформы характеризуется значительными вариациями содержаний золота – от знаковых до весовых (Зверев, 1925; Ржонсницкий, 1918; Обручев, 1923; Билибин, 1938; Черский, 1957; Тимофеев, 1965; Масайтис и др., 1970ф[1]; Родионов, 1973; Трушков и др., 1975; Шпунт и др., 1976; Избеков, 1985, 1995 и др.).

[1] Здесь и далее буквой “ф” помечены производственные отчеты, хранящиеся в ГУП “Геологический информационный фонд Республики Саха (Якутия)”.

Таблица 1. Предполагаемые типы золоторудных проявлений по данным различных исследователей (восток Сибирской платформы)

№	Коренные источники	Авторы
1	Сульфидизированные метаморфические породы AR, приуроченные к минерализованным зонам дробления древних выходов фундамента с содержанием Au до 2.7 г/т	Рожков и др., 1936ф.; Рабкин, 1959ф.; Тимофеев, 1965; Шпунт, 1976; Толстов, 2002; Смелов и др., 2004; Кравченко и др., 2010
2	Золотоносные архейские железистые кварциты с содержанием Au 0.6 г/т	Родионов, Блажкун, 1965ф.; Кассандров, Маринич, 1979
3	Кварц-карбонатные жилы PR_1 с содержанием Au до 2 г/т	Левин, 1958ф.; Петров, 1961ф.; Тимофеев, 1965, 1970; Трушков и др., 1975; Шпунт, 1976
4	Пиритизированные траппы с содержанием Au 0.8 г/т	Обручев, 1923; Зверев, 1925; Родионов, 1961ф.; Еловских, 1962ф.; Масайтис и др., 1969ф., 1970ф.
5	Лимонитизированные, брекчированные породы кембрия и мезозоя вблизи даек основного и кислого состава, локализованные в пределах зон тектонических нарушений, с содержанием Au до 1.5 г/т	Коробков, Степанов 1963ф.; Наварнов, Шаталов, 1964ф.; Фишер, Самохвалов, 1964ф.; Иванов и др., 1965ф.; Михайлов, Филатов, 1966ф.; Дукарт и др., 1966ф.; Блажкун, 1967ф.; Чумак и др., 1967ф.; Еловских, 1967ф.; Огиенко и др., 1969ф.; Шпунт, 1970; Тимофеев и др., 1970; Трушков и др., 1975; Петров, 1978
6	Кварц-кальцитовые, кварц-баритовые и кварц-пиритовые жилы, а также сидериты гидротермального происхождения в меловых и юрских отложениях в зоне Кемпендяйской дислокации и в долине р. Вилюй с содержанием Au до 1.4 г/т	Леонов и др., 1956ф; Колпаков и др., 1958ф; Ченцов, 1960ф.; Охлопков, 1962ф.; Ганин, 1965ф.; Выриков и др., 1965ф.; Тимофеев, 1965; Кирина, 1966ф.; Филатов, 1967ф.; Выриков, 1968ф.; Киселев, 1970ф.; Бадарханов и др., 1977ф.

Существует множество точек зрения на первоисточники россыпей золота этой территории. Рассмотрим основные из них (табл. 1).

А.Г. Ржонсницкий (1918), В.А. Обручев (1923), В.Н. Зверев (1925) увязывали россыпную золотоносность юго-востока Сибирской платформы с привносом золота с Байкало-Патомского надвигового пояса и, в частности, с базитами.

Ю.Н. Трушков и др. (1975), Б.Р. Шпунт и др. (1976) считали, что коренными источниками являлись местные кварц-карбонатные золотоносные жилы раннепротерозойского возраста и метаморфизованные протерозойские конгломераты, приуроченные к выходам кристаллического фундамента. Образование современных аллювиальных россыпей они объясняют многократным переотложением золота из древних золотоносных коллекторов в более молодые.

В.И. Тимофеев (1965) и В.А. Михайлов (1990), анализируя историю геологического развития Вилюйской синеклизы, высказали мнение об образовании россыпей за счет поступления золота из докембрийских золотоносных толщ и, частично, из коренных источников, сформированных в результате проявленной мезозойской тектономагматической активизации.

Анализ литературы показал, что колоссальные объемы поисковых работ, проведенных крупнейшими организациями (ВСЕГЕИ, НИИГА, ИГАБМ СОРАН) с применением традиционных методов поиска золоторудных объектов на территориях, перекрытых мощным чехлом мезо-кайнозойских отложений, не принесли положительных результатов, а позволили выявить небольшие россыпи и коренные золотопроявления. Это обусловило необходимость изучения типоморфных особенностей золота россыпей и закономерностей его распределения, в которых кроется ключевая информация об истории образования россыпей и генезисе рудных источников.

Детальное изучение россыпного золота и закономерности его распределения на востоке Сибирской платформы позволило установить, что на отдельных участках оно существенно различается по минералого-геохимическим особенностям (Никифорова и др., 2011, 2013).

Это послужило основанием для выделения двух типов золота, обладающих типоморфными признаками и соответствующих двум этапам – **докембрийскому и мезозойскому** (табл. 2). Золото I типа формирует широкий ореол в обрамлении кристаллического фундамента и связано с докембрийским этапом рудообразования, а золото II типа приурочено к Уджинскому и Вилюйскому палеорифтам, и его генезис связан с мезозойским этапом рудообразования (фиг. 1).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу статьи положены результаты многолетних полевых наблюдений авторов, а также экспериментальных работ и аналитических исследо-

Таблица 2. Типоморфные признаки двух типов россыпного золота Сибирской платформы

	Размеры	Формы	Поверхность	Пробность и элементы-примеси	Сростки	Микровключения	Внутреннее строение
I тип	–0.5 мм	Чешуйчатые, пластинчатые, комковидные	Шагреневая, нередко с отпечатками вдавливания минералов	900–1000‰; Cu – 0.2–1.2%, Hg – 0.1–0.2%	Псевдосростки с окатанными минералами (ильменит, циркон, кварц)	Кварц, пирит, арсенопирит	Полная рекристаллизация, линии пластических деформаций, мощные высокопробные оболочки (20–30 мкм)
II тип	–0.1–0.5 мм; 0.5–1 мм; 1 мм и >	Таблитчатые, комковидные, комковидно-угловатые рудного облика	Грубошагреневая, ямчато-бугорчатая, пористая	От 800–899‰ – до 30–70%; от 700–799‰ – до 10–35%; от 600–699‰ – до 15%; Hg – до 6.2%; As – 0.1%, Pb – 0.005%; Sn – 0.02%, Sb – 0.0008%; Fe – 0.1%, Pt – до 0.1%	Сростки с халцедоновидным кварцем	Кварц, альбит, пирит, арсенопирит, теллуриды (пецтит)	Неизмененное моно- или крупнозернистое строение с четкими границами зерен, неяснозональные структуры, тонкие высокопробные оболочки (первые мкм), иногда структуры эндогенных преобразований – грануляции и дезинтеграции

ваний по минералогии самородного золота востока Сибирской платформы. Полевые работы проводились на территории Лено-Вилюйского междуречья (более 200 объектов), Средней Лены и ее левобережных притоков (около 100 объектов), на северо-востоке платформы – по 50 объектам. Шлиховые ореолы рассеяния четвертичных отложений (эоловых) и аллювиальных золотоносных россыпей опробовались традиционными методами (в основном – лотковое, иногда бутарное для взятия крупно-объемной пробы). Кроме этого, в ходе выполнения хоздоговорных работ авторами изучен представительный материал по россыпной золотоносности восточной части Сибирской платформы – северо-востока Лено-Анабарского междуречья (совместно с ООО “Алмазы Анабара” – 320 проб) и юго-востока Лено-Витимского междуречья (ГУП РС (Я) ЯПСЭ с ИГАБМ СО РАН – 100 проб). Исследованы коллекции золота Оленекского поднятия северо-востока Сибирской платформы Амакинской, Чернышевской и Тематической экспедиций ПГО “Якутскгеология” (всего более 1200 проб из водотоков Лено-Анабарского междуречья: рр. Большая Куонапка, Половинная, бассейн р. Анабар и коренных пород массива Томтор).

Основной метод исследования – моделирование процесса формирования россыпной золотоносности. *Цель* – обоснование коренных источников золота на основе проведения минералого-геохимических, геолого-структурных, полевых наблюдений и других методов анализа. Экспериментальным путем, совместно с В.Е. Филипповым, изучено преобразование формы зерен золота при воздействии на них песчано-воздушного потока в эоловых условиях (Филиппов, Никифорова, 1988), а также литостатического давления вышележащих толщ на золотоносные отложения (коллекторы) (Никифорова, Филиппов, 1990), формирование эоловых и древних россыпей. Кроме этого, использован широкий комплекс известных минералого-геохимических методов изучения типоморфных особенностей россыпного золота. Все аналитические работы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН.

Исследование морфологии и поверхности золотин выполнено с применением сканирующего электронного микроскопа ISM-6480 LV фирмы JEOL, стереоскопического микроскопа LEICA

MZ6 и рудного микроскопа JENAVERT SL 100. Внутренние структуры самородного золота изучались по общепринятой методике (Петровская и др., 1980). Пробность золота и элементы-примеси анализировались в основном в центральных частях золотин (12000 определений) на микроанализаторе JSA-50A. Содержание элементов-примесей в золоте (навеска 5 мг) исследовалось атомно-эмиссионным спектральным методом по 112 пробам.

Для выявления формационного типа рудного источника были изучены микровключения в золотинах размером 3–4 мкм при помощи современного прибора – энергетического спектрометра OXFORD INCA-sight (приставка к сканирующему электронному микроскопу JEOL ISM-6480 LV). Действительно, с появлением новых современных приборов появилась возможность определять микровключения размером 3–4 мкм в россыпном золоте, выявлять их состав и на основе полученных результатов разработать метод прогнозирования формационного типа золоторудного источника (Важнейшие достижения РАН, Науки о Земле, 2014). Исследования по данной проблеме являются пионерскими в области геологии, минералогии золотоносных россыпей и золоторудных месторождений.

Изучение вмещающих пород и руд массива Томтор, в которых впервые выявлено золото, выполнялось на электронном сканирующем микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450+ и детектором XMax-80 (Oxford Instruments Ltd) в Центре коллективного пользования (ЦКП) ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), на рентгеноспектральных микроанализаторах JXA-8100, CAMEBAX-Micro, JXA-8230 (Jeol X-ray Analizer) (НИГП АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный).

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ РОССЫПЕЙ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

На основании проведенных экспериментальных, минералогических и полевых исследований авторами впервые показано, что россыпная золотоносность востока Сибирской платформы формировалась под влиянием не только гидродинамических, но и эоловых процессов, обусловивших образование обширного ореола рассеяния золота (Филиппов, Никифорова, 1998; Никифорова и др. 2005). В связи с этим, на исследуемой территории выделены два основных *генетических типа золотоносных россыпей – аллювиальные косовые и эоловые*. Эоловые проявления широко распространены на востоке Сибирской платформы в истоках рек Лено-Анабарского и Лено-Вилюйского междуречий и могут образовывать высокие концентрации золота (1–3 г/м^3). Они представлены базальными горизонтами в кайнозойских отложениях и сформированы в сартанскую и каргинскую эпохи четвертичных оледенений. Продуктивный пласт плащеобразно перекрывает дефляционную поверхность, осложнен веерами струй, имеет малую мощность (не более 15–30 см) и представлен галечно-гравийным материалом с низким содержанием глинистой фракции. В нем присутствуют ветрогранники золота и сопутствующих минералов с признаками эоловой обработки. Места находок эолового золота хорошо коррелируют с фрагментарно развитыми поверхностями дефляционных палеопустынь, ореол которых может быть реконструирован по находкам ветрогранников (Колпаков, 1970). Выявлено, что тороиды (чешуйки золота с валиком по периферии) размером 0.1–0.25 мм имеют обширный ореол рассеяния (транзитное золото) по сравнению с эоловыми золотинами крупнее 0.25 мм (дефляционное), поскольку последние из-за массивности (аэрокрупности) не транспортируются на большие расстояния. Следовательно, обнаружение дефляционной россыпи возможно по ореолу распространения золота тороидальной и шаровидно-пустотелой форм, которые могут служить поисковым морфогенетическим критерием эолового типа россыпей. На данной территории установлены эоловые (автохтонные и аллохтонные) россыпи, а также гетерогенные (эолово-пролювиальные, эолово-аллювиальные и т.д.).

Автохтонные россыпи обнаружены на Лено-Вилюйском междуречье в четвертичных отложениях рек Намана и Кемпендяй, характеризуются специфическим строением продуктивного горизонта мощностью 10–30 см с галечно-гравийным материалом (ветрогранники) и золотин с признаками эоловой обработки.

Аллохтонные эоловые россыпи наблюдаются на северо-востоке и в центральной части востока Сибирской платформы. Они отличаются высокой дифференциацией эолового золота (тороидальной и чешуйчатой формы с тонким валиком по периферии), галечно-гравийного материала по размеру, шлиховых минералов по плотности и располагаются, как правило, в котловинах и желобах выдувания. Аллохтонные дюнные россыпи золота отмечаются на всей территории востока Сибирской платформы, которые образуют широкий ореол рассеяния золота в четвертичных отложениях с содержанием 5–25 мг/м^3 и не представляют промышленного интереса.

Полевыми исследованиями во всех аллювиальных косовых россыпях территории установлено, что россыпное золото представлено хорошо окатанными золотинами дальнего сноса с признаками вдавливания на поверхности минералов вмещающих отложений, свидетельствующих о неоднократном переотложении из древних уровней в более молодые. Переотложенное золото (I тип) имеет чешуйчатые формы размером 0.1–0.25 мм, высокую пробность, отсутствие эле-

ментов-примесей, а также перекристаллизованные внутренние структуры и мощные высокопробные оболочки.

Наряду с золотом дальнего сноса (I тип) авторами в процессе полевых работ выявлено золото рудного облика (II тип) ближнего сноса (до 50% и более), которое обнаружено на северо-востоке Сибирской платформы Лено-Анабарского междуречья в бассейнах рек Эекит, Эбелях (Моргогор), среднего течения р. Анабар, а также Лено-Вилюйского междуречья (истоки рек Намана, Кемпендяй, Чебыда) и в бассейне средней Лены (устье рек Бол. Патом, Каменка, рек Токко, Торго и др.). Золото II типа, как пылевидное, так и крупное >0.25–2 мм, низкой и средней пробности (600–800‰), имеет широкий набор элементов-примесей и первичное внутреннее (моно-, крупнозернистое, неясно-зональное) строение. Наличие в водотоках золота рудного облика позволяет предположить его поступление из близлежащего источника. Примером формирования россыпи за счет близлежащего коренного источника, приуроченного к зоне разлома, служит россыпь руч. Моргогор, правый приток р. Эбелях, а также аллювиальные россыпи истоков рек Намана, Тонгуо, Чебыда (Лено-Вилюйское междуречье) и устья рек Бол. Патом, Каменка и другие (бассейн р. Средней Лены).

В целом при изучении закономерности распределения россыпного золота нами обосновано, что образование обширной знаковой россыпной золотоносности на востоке Сибирской платформы происходило не только за счет проявления эоловых процессов, но и за счет многократного переотложения золота из древних уровней в более молодые.

На северо-востоке Сибирской платформы россыпное золото широко проявлено во всех водотоках и встречается совместно с алмазами и минералами платиновой группы (МПГ). Россыпепроявления в большинстве своем относятся к аллювиальным косовым россыпям, а на некоторых участках (бассейн р. Уджа, Эбелях и др.) – к эоловым. Золото в россыпях (рр. Анабар, Куонамка, Эбелях, Оленек и др.) представлено в основном первым типом (I тип) (докембрийского этапа рудообразования), чешуйчатой и пластинчатой формами, размером 0.1–0.25 мм, высокой пробности, с малым набором элементов-примесей. В некоторых россыпях рр. Уджа, Сололи, Половинная и др., наряду с золотом I типа, обнаружено золото II типа мезозойского этапа рудообразования. Оно, как правило, более крупное, имеет различную пробность и широкий диапазон элементов-примесей. Содержание золота в россыпях колеблется от 10–20 мг/м^3 до 2–3 г/м^3.

В ходе поисково-ревизионных работ на золото под руководством автора (Толстов, 2002, 2006) были выявлены три наиболее перспективных золотоносных участка в россыпях бассейна реки Анабар: Половинный, Куонапка и Бороску.

Участок Половинный расположен в нижнем течении р. Половинная (приток первого порядка реки Анабар). Река дренирует территорию сплошного развития субгоризонтально залегающих мезокайнозойских отложений. Золото (I тип) обнаружено во всех отложениях. В раннеюрских базальных горизонтах отмечаются единичные знаки, а в русловом песчано-гравийно-галечном материале содержание золота достигает 2 г/м^3. Протяженность россыпи составляет несколько десятков километров, а ресурсы – первые сотни килограмм. Все золотины имеют чешуйчатую и пластинчатую форму, размер – 0.25 мм (99%), хорошей окатанности, что свидетельствует об удаленности свыше сотни километров от коренного источника. Пробность золота, вследствие многократного переотложения, весьма высокая и, как правило, достигает максимальных значений 950–999‰.

Участок Куонапка находится на левой составляющей р. Анабар – р. Бол. Куонапка, приурочен к восточной границе Анабарского щита, в пределах территории, сложенной интрузивными образованиями (граниты, амфиболиты, долериты, ультраосновные породы дунит-перидотитового состава, а также кимберлиты и конвергентные породы). Содержание золота в аллювиальных отложениях р. Бол. Куонапка изменяется от десятков мг/м^3 до 2 г/м^3 при крайне неравномерном распределении. Ресурсы, определенные на отрезке долины вблизи устья р. Хапчан, составляют около 1 т. Общие запасы золота по р. Большая Куонапка не определялись, но могут достигать несколько тонн. На участке по результатам валового опробования (более 100 м^3) количество окатанных золотин представлено фракцией – 0.25 мм (до 50%), около 10% золота сосредоточено во фракции +0.5 мм. Россыпное золото (II типа) характеризуется комковатыми формами, средней окатанности, что свидетельствует об удаленности от коренного источника в десятки километров. Пробность золота колеблется в диапазоне 900–950‰, в качестве постоянной примеси присутствует Ag (до 2–5%) и Cu (до 1%), отмечены следы Bi и Hg.

Участок Бороску выделен в истоках левобережных притоков р. Джилинда водотока третьего порядка – ручей Бороску-Унгуохтах. Участок находится непосредственно в центре Анабарского щита, на западном контакте Билляхского массива гранодиоритов. Водотоки участка в различной степени золотоносны, максимальное содержание золота в аллювии ручья до 2 г/м^3, подсчитанные запасы золота в россыпи достигают несколько тонн (Толстов, 2002, 2006). В настоящее время ведется переоценка россыпи предприятием АО “Алмазы Анабара”, в ходе которой запасы увеличены в несколько раз. По гранулометрии золото участка существенно отличается от двух предыдущих. Золото

здесь крупнее и представлено преимущественно фракциями +0.5 мм (45%), –0.5–0.25 мм (35%), и лишь 20% золота сосредоточено в классе –0.25 мм. Во всех фракциях, особенно в крупных, россыпное золото (II типа) имеет рудный облик. Золотины, как правило, угловатые, слабоокатанные, свидетельствующие о близости коренного источника (первые километры). Пробность золота имеет широкий диапазон (от 780 до 920‰), помимо постоянной примеси серебра отмечаются также элементы-примеси: медь до 2–4%, висмут и ртуть (0.001–0.10%).

На востоке Сибирской платформы (Вилюйская синеклиза) перспективные золотоносные россыпи с высоким содержанием установлены в долинах рек Вилюй, Намана, Нюя, Кенкеме и другие. К наиболее значимым объектам относятся косовые золотоносные россыпи бассейна р. Вилюй с притоками Тонгуо, Чебыда, Кемпендяй и другие, которые, по данным В.А. Михайлова (1990), являются комплексными россыпями. В этих россыпях, помимо золота (от 0.2–0.3 до 3 г/м^3) и платины (от 0.01 до 0.1 г/м^3, редко до 0.3 г/м^3), содержатся ильменит (20–30 кг/м^3), циркон (3 кг/м^3), гранат и другие полезные компоненты, а также цветные и поделочные камни (халцедон). В связи с этим рентабельность добычи золота из таких россыпей при комплексном их освоении существенно возрастает. Наиболее значимыми для добычи золота и платины являются косовые россыпи русловых фаций низкой поймы рек Вилюй и Кенкеме. Так, на косе Хангалас р. Вилюй и объекте “Газопровод” р. Кенкеме концентрации золота достигают промышленных значений и могут представлять интерес для золотодобывающих компаний. Кроме этого, коса Хангалас характеризуется высокой степенью платиноносности (отношение платины к золоту 2 : 1). Золотины имеют чешуйчатую форму, размеры 0.1–0.25 мм, высокую пробность (900–1000‰), при практическом отсутствии элементов-примесей.

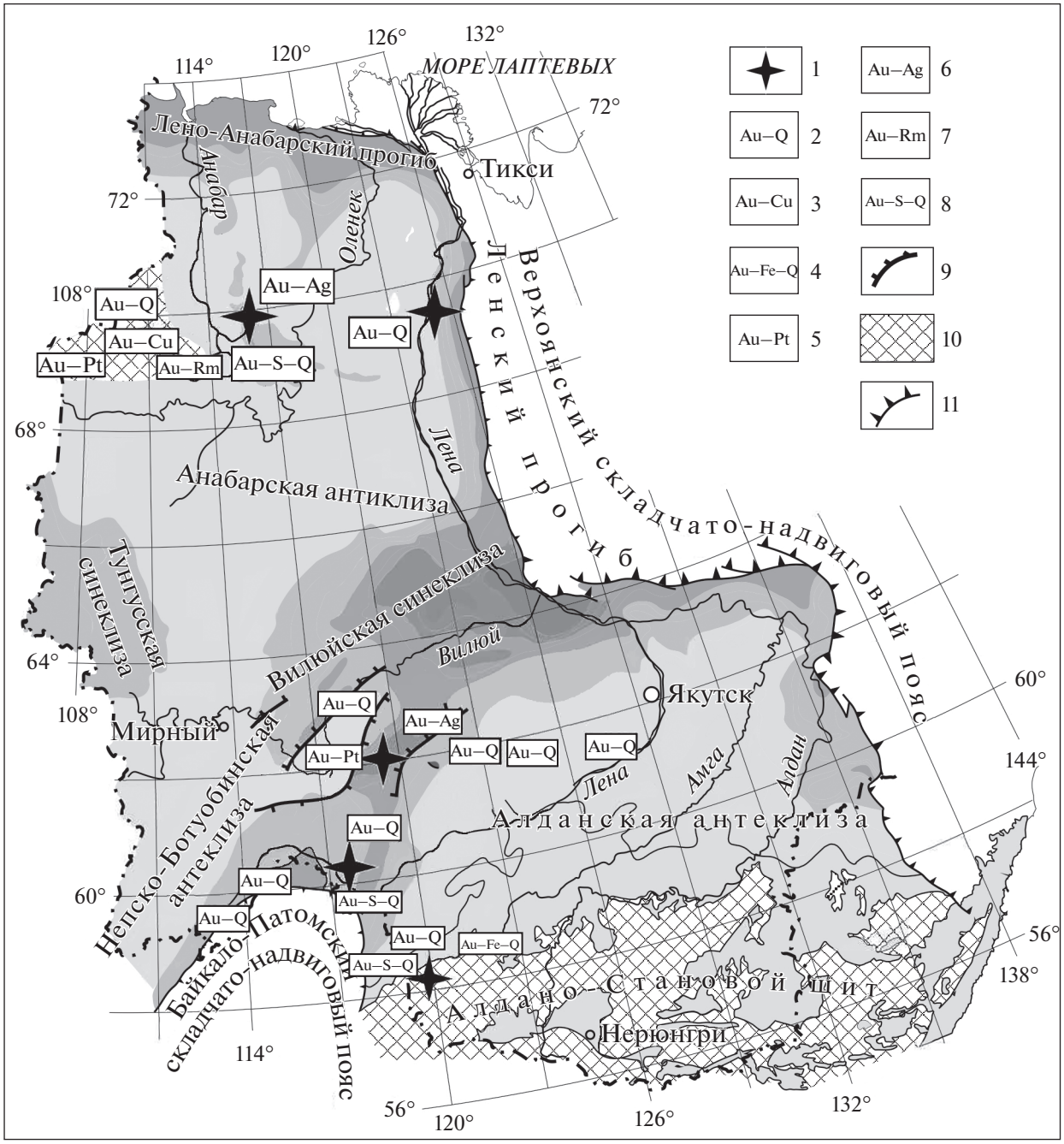
На юго-востоке Сибирской платформы наиболее перспективной территорией является Средне-Ленский район, в пределах которого имеются объекты, по геолого-промышленным параметрам отвечающие современным требованиям по добыче золота. Россыпное золото здесь встречается в более крупном классе, благоприятном для извлечения существующими технологиями. К промышленным объектам относятся бассейны рек Витим с притоками, а также река Средняя Лена с левобережными (рр. Каменка, Романовский, Халаманда, Харса) и правобережными притоками (рр. Бол. Патом и Чара). Эти объекты находятся на территории с относительно благоприятными географо-экономическими характеристиками, развитой инфраструктурой и могут рассматриваться как первоочередные объекты для добычи старательскими артелями.

Массовые поиски золотоносных конгломератов и их опробование (протерозойских, кембрийских, юрских конгломератов и неоген-четвертичных галечников) показало содержание золота в них до 2 г/т. В позднепротерозойских пиритизированных породах торгинской свиты содержание золота выявлено до 5 г/т (Родионов, 1965ф). Это послужило основанием для поисков золотоносных конгломератов типа Витватерсранд на территории востока Сибирской платформы (Тимофеев и др., 1970ф; Шпунт, 1970; Петров, 1978). В водораздельных конгломератах юрского возраста и плиоцен-четвертичных галечниках установлено содержание россыпного золота до 1 г/т (Дукарт и др, 1964ф; Иванов и др., 1965ф; Огиенко и др., 1969ф). В песчаниках позднепротерозойского возраста обнаружено содержание золота до 0.5 г/т, а в осадочных отложениях юрского и мелового возраста 10–65 мг/м^3.

Формационные типы прогнозируемых золоторудных источников докембрийского этапа рудообразования и перспективные объекты

Выявленные индикаторные признаки россыпного золота позволили прогнозировать *формационные типы* коренных источников, характерные для определенных геолого-структурных обстановок (фиг. 2; табл. 3, 4). Поскольку каждая золоторудная формация предполагает геолого-структурный контроль, это дает возможность более корректно подобрать методы поиска коренных месторождений, особенно на закрытых территориях.

Малосульфидная золотокварцевая формация. Обнаруженные характерные индикаторные признаки россыпного золота на востоке Сибирской платформы позволили прогнозировать коренные источники малосульфидной золотокварцевой формации. Золото характеризуется чешуйчатыми формами, мелкими размерами (0.1–0.25 мм), высокой пробностью при отсутствии элементов-примесей. В нем наблюдаются перекристаллизованные внутренние структуры, высокопробные оболочки, следы пластических деформаций и микровключения сульфидов, кварца, полевого шпата и карбонатов. Изучение закономерностей распределения данного золота позволило установить, что предполагаемые докембрийские золоторудные месторождения больших глубин малосульфидной золотокварцевой формации пространственно приурочены к выходам фундамента на северной окраине Байкало-Патомского надвигового пояса в обрамлении Анабарского и Алданского щитов, а также вблизи выходов поднятий – Оленекского, Билиро-Уджинского, Якутского и Сунтарского сводов и других (см. фиг. 2). Рудопроявления представлены минерализованными зонами дробления в метаморфических породах архея и раннего протерозоя (табл. 4). Рудовмещающие породы – терригенно-карбонатные и вулканогенные толщи, кристалли-



Фиг. 2. Схема расположения предполагаемых рудных источников на основе выявления индикаторных признаков россыпного золота – показателя рудогенеза (восток Сибирской платформы): 1 – места обнаружения рудного золота; 2–8 – формационные типы коренных источников: 2 – малосульфидная золотокварцевая, 3 – золотомедно-порфировая, 4 – золотожелезисто-кварцитовая, 5 – золотоплатиноидная, 6 –золотосеребряная, 7 – золоторедкометалльная, 8 – золотосульфидно-кварцевая; 9 – разломы; 10 – области выходов пород кристаллического фундамента; 11 – фронт фанерозойских орогенных поясов.

ческие сланцы, гранито-гнейсы и гранитоиды, в которых обнаружены сульфидные кварц-карбонатные жилы с содержанием золота до 2 г/т. Подтверждением этого вывода служат данные предшественников. В.И. Тимофеев (1965) еще в 60-х годах прошлого столетия высказал мнение, что россыпная золотоносность бассейна р. Вилюй сформировалась за счет поступления золота из коренных источников, локализованных в докембрийских горстовых поднятиях. Позднее Ю.Н. Трушков и др. (1975) на Лено-Вилюйском и Б.Р. Шпунт (1970) на Анабаро-Оленекском междуречьях также объяснили образование россыпей за счет коренных золоторудных источников раннепротеро-

Таблица 3. Индикаторные признаки россыпного золота рудных формаций докембрийского этапа рудообразования

Типы золоторудных формаций	Характеристика россыпного золота					
	Гранулометрия (мм)	Форма	Пробность (‰)	Элементы-примеси	Микровключения	Внутренние структуры
Мало-сульфидная золото-кварцевая	–0.1–0.25, реже >0.25	Чешуйчатая, пластинчатая	900–999	Ag < 20%, Cu – 0.1%	Пирит, арсенопирит, кварц, карбонат	Перекристаллизованные, рекристаллизованные, линии деформаций, высокопробные оболочки до 20 мкм и более
Золото-медно-порфировая	–0.1–0.25; >0.25	Чешуйчатая (80%), пластинчатая	950–999	Cu от 0.5 – 1% до 4%	Не обнаружены	То же
Золото-платиноидная	–0.1–0.5	Чешуйчатая, пластинчатая	950–999	Pt – 96 г/т, (в ед-х пробах 630 – 1130 г/т), Pd – 5–570 г/т (до 7%) (в ед-х случаях >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%)	»
Золото-железистокварцитовая	–0.1–0.25	Чешуйчатая	950–999	Fe – 68 г/т >	Гематит, магнетит, корунд	»

Примечание. Элементы-примеси Ag, Cu, Hg – определены рентгеноспектральным микроанализом (%), Fe, Pt, Pd, Ni, Bi – атомно-эмиссионный спектральный анализ (г/т). Прибор PGS-1, условия: α – 10.87; *щ* – 20; *д* – 1.2; “ ohne”; t^0 – 20^0; t' – 3 мин. Отдел физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН. Аналитики: С.Ю. Коркина, Е.Л. Нарышкина.

зойско-архейского возраста (см. табл. 1). По их данным, кварц-карбонатные жилы раннего протерозоя содержат до 2 г/т Au. Более того, В.А. Михайлов, Н.Н. Гаврильев (1976) установили, что золотоносные коллекторы Вилюйской синеклизы содержат комплекс минералов, аналогичный минеральным парагенезисам метаморфических пород субганского AR_3 и удоканского PR_1 возраста.

Золотожелезисто-кварцитовая формация. Формирование коренных источников данной формации возможно на окраине северо-западного склона Алданского щита, поскольку в бассейнах рек исследуемой территории в чешуйчатом высокопробном золоте установлены характерные индикаторные признаки (повышенное содержание железа, микровключения – гематит, ильменит, корунд). Возможность формирования рудопроявлений этой формации прогнозируется в бассейнах рек Торго, Токко, Чара. Ранее, Н.Т. Родионовым, Д.В. Блажкуном (1965ф), в архейских железистых кварцитах Алданского щита с содержанием Au до 0.6 г/т, обнаружено высокопробное чешуйчатое золото размером 0.1–0.25 мм. Коренные источники этого золота, по-видимому, приурочены к метаморфогенным отложениям архея, а рудовмещающей является терригенно-вулканогенная толща с железистыми кварцитами, несущими вкрапленную минерализацию (см. табл. 4), что подтверждается присутствием золота до 10 г/т в известных железорудных месторождениях Тарыннахское и Ылымахское в Южной Якутии.

Золотомедно-порфировая формация коренных источников прогнозируется в Билляхской зоне глубинных разломов в бассейне р. Анабар (участок Бороску) на основании выявления А.В. Толстовым (2002, 2006) в россыпном золоте устойчивой примеси меди (свыше 4%), характерной для золотомедно-порфировых рудопроявлений. Коренной источник золота, вероятнее всего, приурочен к Билляхской зоне диафтореза. Наличие высокомедистого Au и повышенный кларк Mo в зоне диафтореза позволяют предположить возможность формирования на территории Анабарского щита золоторудного месторождения мед-

Таблица 4. Геолого-структурная характеристика предполагаемых золоторудных источников докембрийского этапа рудообразования (восток Сибирской платформы)

Формация	Основные индикаторные минералы и элементы-примеси в золоте	Геологические позиции	Потенциально рудоносные образования	Структурная позиция нахождения руд	Характерные рудовмещающие породы	Морфологический тип рудных тел	Местонахождение предполагаемых золоторудных источников
Малосульфидная золотокварцевая	Кварц, пирит, арсенопирит, карбонаты	Выходы фундамента поднятия, своды, выступы	Метаморфические породы архея и раннего протерозоя	Минерализованные зоны дробления древних выходов фундамента	Терригенно-карбонатная толща, вулканогенные породы, кристаллические сланцы, гранитогнейсы, гранитоиды	Сульфидные кварц-карбонатные жилы, с содержанием Au до 2.7 г/т	Анабарский щит, Оленекское и Билиро-Уджинское поднятие, Сунтарский свод, Верхнесинский, Баппагайский, Якутский выступы и др; зона сочленения с Байкало-Патомским складчатым надвиговым поясом
Золото-медно-порфировая	Среднее содержание Cu от 0.5 до 4%, иногда до 25% , сульфиды	Анабарский щит	Магматические-породы	Гранитоидные массивы, штокверки, линейные зоны	Диориты, гранодиориты, плагиогнейсы, гранитогнейсы кристаллические сланцы	Кварцевые жилы, сульфидная вкрапленная минерализация с содержанием Au до 2.5 г/т	Анабарский щит, Котуйканская и Билляхская зоны
Золото-железисто-кварцитовая	Гематит, магнетит, корунд, ильменит	Алданский щит	Метаморфогенные породы архея	Стратиграфические уровни формаций железистых кварцитов	Базальтовая терригенно-вулканогенная толща с железистыми кварцитами	Залежи вкрапленного оруденения	Обрамление Алданского щита, бассейн рр. Торго, Токко
Золото-платиноидная	Срастание Au с Pt, элементы-примеси в золоте Pt, Pd, Ni.	Анабарский щит и обрамление Сунтарского свода	Магматические породы, базиты	Гранитоидные массивы, интрузии	Анортозиты, габбро-долериты	Прожилково-вкрапленные сульфидные руды	Анабарский щит (Котуйкан-Монхолинская зона); обрамление Сунтарского свода.

но-порфирового типа, что прогнозировалось нами ранее в ряде публикаций и требует проведения более тщательных исследований (Толстов, 2002, 2006). Подтверждением этому служат также данные А.П. Смелова и др. (2004), которые в породах гранитоидного массива в Билляхской зоне смятия (во вмещающих плагиогнейсах, гранито-гнейсах, кристаллических сланцах) установили содержание Au до 2.5 г/т, что позволило авторам прогнозировать на исследованной территории месторождения золотомедно-порфирового типа. А.А. Кравченко с соавторами (2010) также пришли к выводу, что образование такого типа рудной минерализации возможно в Билляхской и Котуйканской зонах тектонического меланжа. Ими выявлено содержание Au до 2.7 г/т в рассланцованных гранитоидах и во вмещающих гнейсах с сульфидной минерализацией. Позднее повышенные содержания Cu от 0.5 до 4% обнаружены нами в высокопробном россыпном золоте р. Большая Куонапка (р. Анабар), что послужило также основанием предполагать существование золотомедно-порфирового типа рудоносности в гранитоидных массивах Анабарского щита и его обрамления на северо-востоке Сибирской платформы (Никифорова и др., 2018). Рудные источники золотомедно-порфирового типа, вероятнее всего, представляют собой штокверки и линейные зоны в гранитоидных массивах, приуроченных к зонам тектонического меланжа (см. табл. 4). Рудовмещающими породами являются диориты, гранодиориты, плагиогнейсы, гранитогнейсы и кристаллические сланцы с кварцевыми жилами с сульфидной минерализацией.

Золотоплатиноидная формация. Коренные источники с золотоплатиноидной минерализацией впервые прогнозируются нами на основании выявления в россыпном золоте повышенных содержаний Pt, Pd и Ni, а также присутствия в золоте минеральной фазы платины и обнаружения срастания золота с платиной (Никифорова и др., 2018). В обрамлении Сунтарского свода в правобережных притоках р. Вилюй по результатам спектрального анализа (более 100 объектов) в высокопробном чешуйчатом золоте впервые было установлено 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) (Никифорова, 1988). Доказательством наличия рудных источников Au–Pt-минерализации на исследуемой территории является обнаружение в ряде золотин включений экзотической минеральной фазы группы Pt (Каженкина, Никифорова, 2018). Кроме того, по результатам 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 (от 6–52 г/т) и Ni (40 г/т) (Глушкова, 2009).

По данным Б.Б. Герасимова, В.И. Павлова (2015), в россыпном золоте из аллювия среднего течения р. Бол. Куонапка (северо-восток Сибирской платформы, восточное обрамление Анабарского щита) обнаружена палладистая золотина в срастании с железистой платиной, что свидетельствует о едином источнике МПГ и палладистого золота. Кроме этого, в высокопробном золоте в аллювии бассейна р. Бол. Куонапка выявлены элементы-примеси Pt до 260 г/т, Pd до 700 г/т и Ni до 110 г/т (Герасимов, Никифорова, 2016_1).

Более того, в золоте из Гулинского массива впервые были обнаружены включения МПГ (Баданина и др., 2010), представленные мончеитом ($PtTe_2$), сперрилитом ($PtAs_2$) и изомертиитом ($Pd_{11}Sb_2As_2$). На основании вышеизложенного, на востоке Сибирской платформы в обрамлении Сунтарского свода, Анабарского щита и в бассейне р. Чара прогнозируется наличие золотоплатиноидной минерализации. Прогнозируемые источники на северо-востоке, вероятно, связаны с расслоенными анортозитовыми плутонами Котуйкан-Монхолинской минерагенической зоны Анабарского щита, где в интрузиях анортозитов и габбро-долеритов отмечаются прожилково-вкрапленные сульфидные руды (табл. 4). В этих породах установлено Au до 0.5 г/т, Pd до 0.17 г/т и Pt 0.11 г/т (Додин, 2002). Доказательством наличия золотоплатиноидых источников в обрамлении Сунтарского свода и бассейне р. Чара, служат данные В.Л. Масайтиса с соавторами (1970ф.), которыми установлены золоторудные проявления с содержанием Au до 1 г/т и Pt до 0.3 г/т, парагенетически связанные с базитовым магматизмом.

Формационные типы прогнозируемых золоторудных источников мезозойского этапа образования и перспективные объекты

Орудения золоторедкометалльной формации прогнозируются нами в восточном обрамлении Анабарского щита. Близповерхностные месторождения золотосеребряной формации – в зоне Кемпендяйских дислокаций и на Уджинском поднятии; золотосульфидно-кварцевой формации вкрапленного типа – в метасоматических зонах, пространственно приуроченных к глубинным разломам (Баппагайскому, Кемпендяйскому, Хоринскому) и на севере – к Молодо-Попигайской системе разломов. Образование прогнозируемых месторождений обусловлено, очевидно, мезозойской тектономагматической активизацией в зонах внутриконтинентальных палеорифтов (Вилюйский и Уджинский) (табл. 5, 6).

Золоторедкометалльная формация прогнозируется на территории Анабарского щита в бассейне р. Большая Куонапка на основании выявления Б.Б. Герасимовым в золоте из аллювия индикаторных признаков: широкий диапазон изменения пробности 400–990‰, микровключения са-

Таблица 5. Индикаторные признаки россыпного золота рудных формаций мезозойского этапа рудообразования

Типы золоторудной формации	Характеристика россыпного золота					
	Гранулометрия (мм)	Форма	Пробность (‰)	Элементы-примеси	Микровключения	Внутренние структуры
Золото-серебряная	–0.25–1; 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, ед. Te 40 г/т и др.	Стронциевый барит, арсенопирит, пирит, кварц, адуляр кальцит	Двухфазное золото, пористое строение
Золото-редкометалльная	–0.25; 0.25–0.5>	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, ясно-зональные
Золото-сульфидно-кварцевая	–0.1–0.25; 1–2>	Пластинчатая, таблитчатая, комковидная	750–999	Hg до 5%	Пирит, арсенопирит, кальцит, теллуриды, минералы с редкоземельными элементами	Крупнозернистые, среднезернистые, неясно зональные

Примечание: Элементы-примеси Ag, Cu, Hg – микрозондовый анализ (%), Pb, Zn, As, Sb, Te, Bi, Fe, Cu – атомно-эмиссионный спектральный анализ. Прибор PGS-1, условия: α – 10.87; *щ* – 20; *д* – 1,2; “ ohne”; t^0 – 20^0; t' – 3 мин. Отдел физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН. Аналитики: Коркина С.Ю., Нарышкина Е.Л.

мородного висмута, мальдонита, арсенопирита и теллуридов серебра, характерных для данного типа рудной минерализации (Герасимов, Никифорова, 2016_1). Образование коренных источников такого типа связано с магматической деятельностью в мобильной зоне Восточно-Анабарского разлома (Никифорова и др., 2018). Вмещающие породы – массивы гранитоидов и протерозойские карбонатные осадочные отложения; потенциально золотоносными могут быть зоны ороговикования и калиевые метасоматиты, в которых наблюдаются кварцевые жилы (см. табл. 5).

Золотосульфидно-кварцевая формация. Рудоносность данной формации прогнозируется в бассейнах рек Анабар и Эбелях, а также в устье рек Большой Патом и Каменка (Уринский антиклинорий) на основании выявления характерных индикаторных признаков золота для золотосульфидно-кварцевой формации. Золото отличается широким диапазоном гранулометрического состава – от пылевидного (0.1 мм – до 90%) до крупных фракций (0.5–1 мм и более – до 10%), пробность высокая, реже – средняя. Типоморфной особенностью золота является повышенное (до 5%) содержание Hg, наличие микровключений сульфидов, теллуридов, кальцита, редкоземельных минералов (флоренсита и монацита). При проведении тематических и геолого-поисковых работ в бассейне Средней Лены и ее притоков (Пеледуй, Нюя, Намана, Джерба, Куболах, Чара и др.) среди терригенно-карбонатных толщ предшественниками обнаружены минерализованные зоны дробления, окварцевания и лимонитизации с многочисленными рудопроявлениями, с содержанием Au 0.1–2 г/т, приуроченные к глубинным разломам разрывных нарушений (Михайлов, Филатов, 1966ф.; Огиенко и др., 1969ф; см. табл. 3).

Наличие коренных источников золота данного типа *прогнозируется на северо-востоке Сибирской платформы <u>в бассейнах рек Анабар и Эбелях в Молодо-Попигайской системе разломов</u>*. Их локализация увязывается с зонами метасоматитов (ожелезнение и окварцевание), развитых по палеозойским терригенно-карбонатным породам, пространственно связанным с глубинными разломами, подновленными в мезозое (см. табл. 5) (Никифорова и др., 2006; Герасимов, Никифорова, 2016_2).

На северо-востоке Сибирской платформы нами выделяется участок руч. Моргогор, правый приток р. Эбелях, с россыпным золотом, коренным источником которого, вероятно, является золотосульфидная минерализация (Никифорова и др., 2006). Исследуемая территория приурочена к Молодо-Попигайской системе разломов, где заложение рек происходило в мезозойское время по тектоническим нарушениям (фиг. 3). В русле руч. Моргогор обнажаются кембрийские терригенно-карбо-

Таблица 6. Геолого-структурная характеристика предполагаемых золоторудных источников мезозойского этапа рудообразования (восток Сибирской платформы)

Формация	Основные индикаторные минералы	Позиция металлогенетических зон	Потенциально-рудоносные образования	Структурная позиция нахождения руд	Характерные рудовмещающие породы	Морфологический тип рудныхтел	Местонахождение предполагаемых золоторудных источников
Золото-редкометалльная	Висмут, мальдонит, теллуриды серебра	Анабарский щит, Восточно-Анабарский разлом	Зоны орговикования и К-метасоматиты	Около интрузивная, надинтрузивная, внутриинтрузивная	Гранитоиды и прилегающие ороговикованные осадочные	Жилы и прожилковые зоны	Анабарский щит, бассейн р. Бол. Куонапка
Золото-сульфидно-кварцевая	Пирит, арсенопирит, кальцит, теллуриды, минералы с редкоземельными элементами	Молодо-Попигайская система разломов, глубинные разломы – Баппагайский, Кемпендяйский и другие	Зоны метасоматитов	Минерализованные зоны дробления, брекчирования, окварцевания, ожелезнения	Терригенно-карбонатные толщи	Залежи вкрапленного оруденения, содержание золота от 2 до 10 и более г/т	Бассейн рек Эбелях, Моргогор, Каменистый и др.Устье рек Большой Патом и Каменка
Золото-серебряная	Кварц, кальцит, халцедон, барит, адуляр, теллуриды	Внутриконтинентальные палеорифты (Уджинский Вилюйский)	Вулканиты, андезит-дациты, риолиты и др.	Флюидно-эксплозивные структуры, кальдера	Песчаники	Кварц-баритовые, кальцитовые жилы до 1 г/т	Бассейн р. Уджа, истоки рек Кемпендяйской дислокации

натные породы, в которых наблюдаются разрывные нарушения по зонам брекчирования, ожелезнения и окварцевания, шириной от 3 до 50 м.

Изучение минералого-геохимических особенностей россыпного золота руч. Моргогор позволило выявить в отрабатываемой алмазоносной россыпи на протяжении 25 км наличие золота рудного облика размером 1–2 и более 2 мм. Судя по особенности распределения золота рудного облика, дифференциация металла не происходила ни по крупности, морфологии или степени окатанности, ни по пробности (фиг. 4, 5). Золото рудного облика присутствует как в истоке, так и в устье, что свидетельствует о его поступлении на протяжении всей долины из единого источника, расположенного непосредственно в русле реки. Предполагаемое золоторудное проявление, видимо, пространственно связано с разрывными нарушениями мезозойского возраста и находится в зоне метасоматитов кембрийских терригенных отложений.

Россыпное золото бассейнов рек Анабар и Эбелях характеризуется широким диапазоном гранулометрического и химического состава (Герасимов, Никифорова, 2016_2). При этом рудное золото представлено как пылевидными (0.1 мм – до 90%), так и иногда крупными фракциями (0.5–1 мм и более – до 10%) с широкими вариациями пробности (от 500 до 999‰). Потенциальный коренной источник связан, вероятно, с гидротермально-метасоматическими образованиями в карбонатных толщах и прогнозируется в узлах пересечения зон разломов субмеридионального и субширотного направлений в верхнем течении р. Биллях. Это предположение подтверждается обнаружением в бассейне р. Эбелях золотосульфидной минерализации вкрапленного типа, приуроченной к зоне субмеридионального разлома. По мнению М.М. Константинова (2006), такие терригенно-карбонатные толщи платформенных областей, а именно зоны метасоматитов, пространственно приуроченные к глубинным разломам, заслуживают особого внимания при поиске месторождений карлинского типа.

Следующим *перспективным объектом* на выявление золоторудного источника золотосульфидно-кварцевой формации является *устье рек Бол. Патом и Каменка* (бассейн средней Лены, Уринский антиклинорий). Долины устьев рек Бол. Патом и Каменка заложены по зоне глубинного Баппагайского разлома, который неоднократно подновлялся в мезозойское время (фиг. 6).

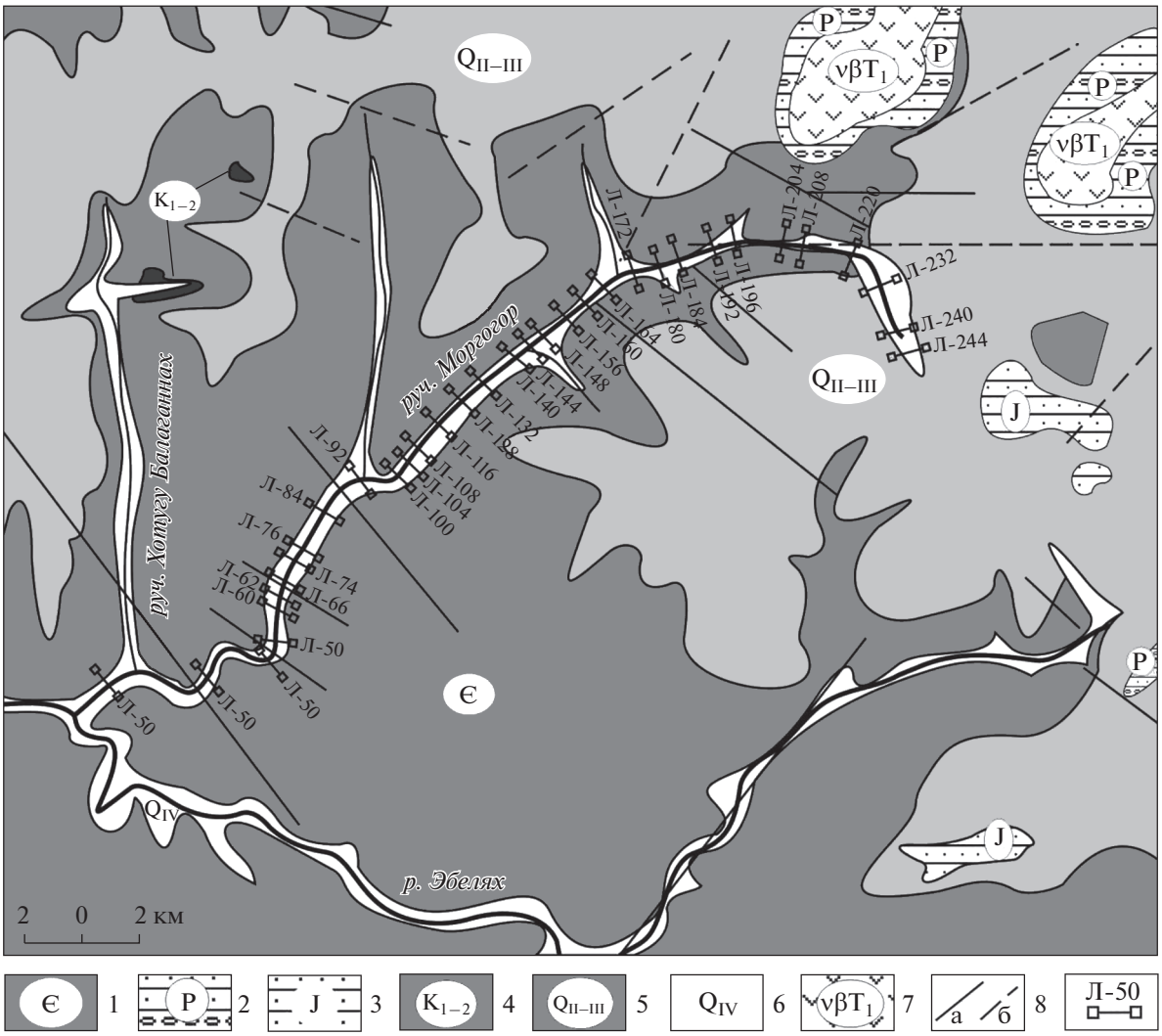
Россыпное золото данного участка представлено пластинчатыми и комковидными формами, размером от пылевидного до >0.25 мм и более, пробностью 600–900‰, с содержанием Hg от 0.12 до 6.2%. В нем обнаружены микровключения кварца, кальцита, пирита, арсенопирита, теллуридов, селенидов и редкоземельных фосфатов (фиг. 7). Наряду с этим обнаружены (до 40%) губчатые хрупкие агрегаты, состоящие из сростков мелких частиц золота (до 0.01 мм) с гидроксидами железа. Присутствие в аллювии такого хрупкого губчатого золота однозначно свидетельствует о близости коренного источника, пространственно приуроченного к зоне глубинного разлома.

По результатам изучения минералого-геохимических особенностей россыпного золота выдвинуто предположение о наличии на данном участке золоторудной минерализации типа Куранах. Доказательством этого является сходство типоморфных признаков россыпного золота рек Бол. Патом и Каменка (Уринский антиклинорий) с золотом Куранахского рудного поля, а именно: наличие губчатых форм золота, обнаружение в золотинах микровключений теллуридов, селенидов, фосфатов и силикатов с редкоземельными элементами, и примесей Hg, Se, Te, Pb, Fe, Mn, Cr, Sn, Cl (Глушкова, Никифорова, 2013). Сходство минералого-геохимических признаков геологического развития россыпного золота Уринского антиклинория с золотом Куранахского рудного поля позволяет впервые прогнозировать на исследуемой территории золоторудные источники куранахского типа, характерные для месторождений Центрального Алдана.

Золотосеребряная формация коренных источников прогнозируется *в истоках рек в зоне Кемпендяйской дислокации (Вилюйский палеорифт) и в бассейне р. Уджа (Уджинский палеорифт)*, где россыпное золото по выявленным индикаторным признакам соответствует золоту золотосеребряных месторождений. Оно имеет высокое содержание Ag до 40–60%, широкий диапазон элементов-примесей (Hg, Pb, Zn, As, Sb), обнаружены микровключения стронцевого барита, адуляра, кварца, кальцита и сульфидов. Такой набор индикаторных признаков позволяет увязывать золотосеребряную минерализацию с субвулканическими или вулканическими аппаратами, как на Вилюйском, так и на Уджинском палеорифтах (см. табл.5).

Для рудных источников золотосеребряной формации характерна следующая геолого-структурная обстановка: развитие вулканической деятельности андезит-дацитового состава в палеорифте, наличие кальдеры, проявление рудной минерализации в виде кварц-кальцит-баритовых жил с содержанием золота 0.6–1.4 г/т (см. табл. 5).

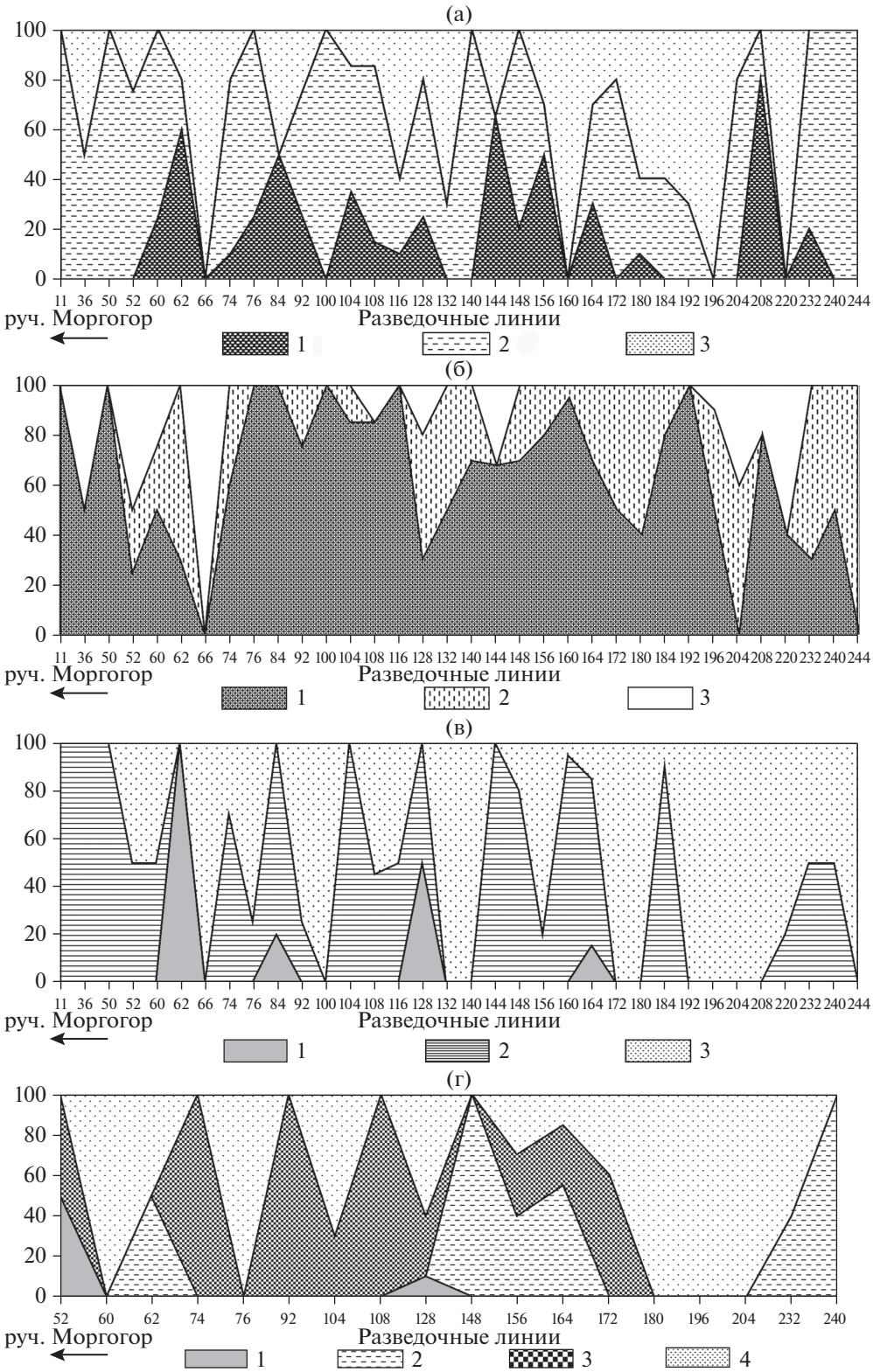
По мнению Е.Е. Милановского (1983), древние рифтовые зоны востока Сибирской платформы (Вилюйский и Уджинский палеорифты) неоднократно подновлялись в мезокайнозойское время, где проявился вулканизм андезит-дацитового состава. Действительно, данные предшественников (Кирина, 1966ф; Киселев, 1970ф, см. табл. 2) свидетельствуют о проявлении такого типа вулканизма и формировании золотосеребряной рудоносности в пределах Вилюйского палеорифта. Ими же в отложениях ранней юры и мела



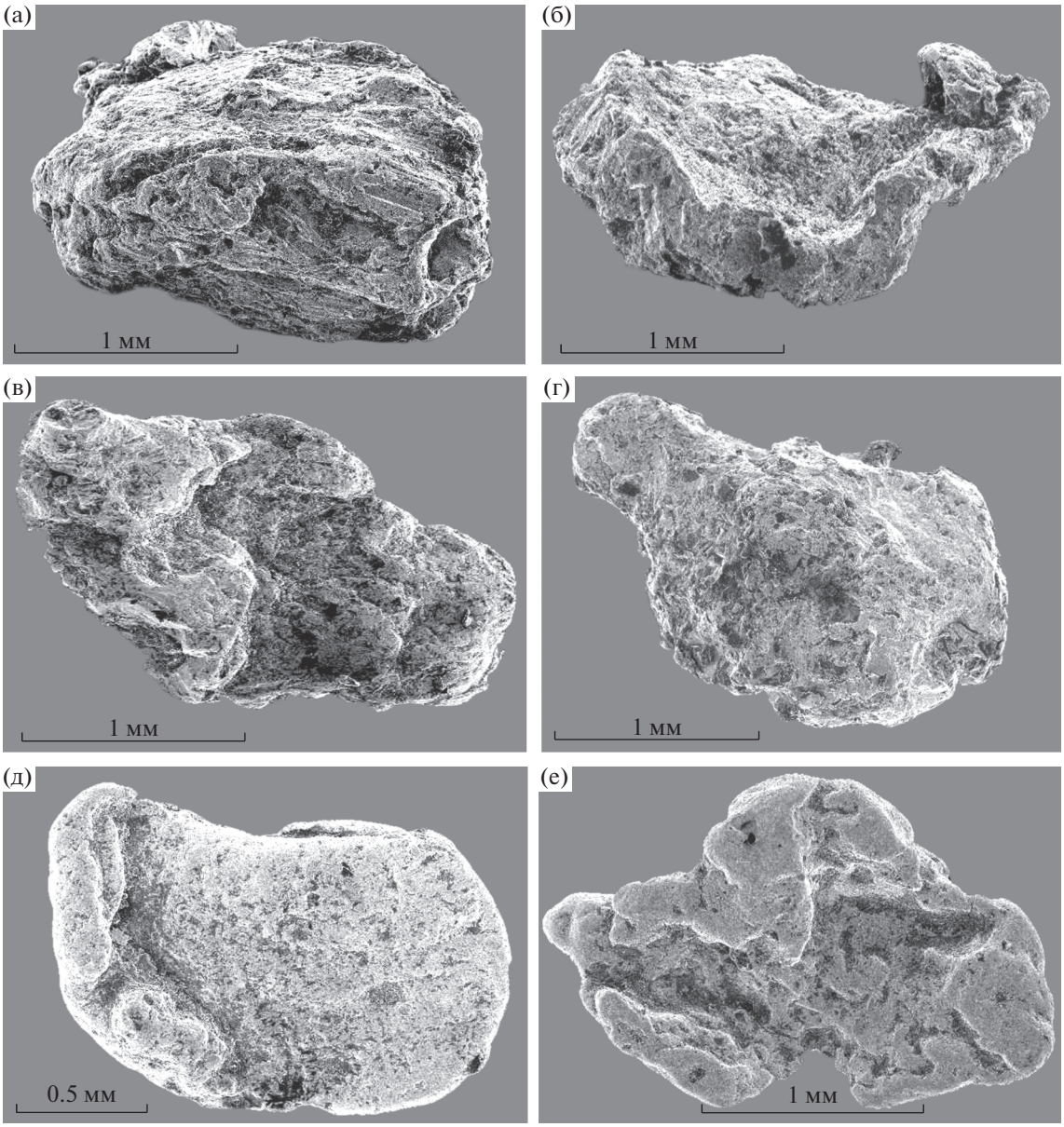
Фиг. 3. Схема геологического строения бассейна руч. Моргогор: 1 – кембрийские отложения; 2 – песчаники, линзы и прослои аргиллитов, алевролитов, конгломератов и гравелитов пермского возраста; 3 – юрские алевролиты и песчаники; 4 – рыхлые песчаники, алевролиты, линзы гравелитов мелового возраста; 5 – неоплейстоценовые галечники, пески, илистые суглинки и супеси; 6 – голоценовые аллювиальные образования; 7 – раннетриасовые интрузии долеритов; 8 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 9 – разведочные линии.

обнаружены кварц-кальцит-баритовые жилы с содержанием золота до 1.4 г/т, происхождение которых они связали с кислым вулканизмом. Доказательством этого положения служат данные В.И. Тимофеева (1965). По результатам анализа истории развития Вилюйской синеклизы и центральной части Алданского щита им впервые была обоснована синхронность тектонического режима и магматизма в мезозойское время. Это дало ему основание связать рудную золотоносность Кемпендяйской дислокации с позднеюрским-раннемеловым магматизмом.

Позднее В.А. Михайлов (1990), анализируя минеральные ассоциации шлихового ореола рассеяния и петрографический состав галечно-гравийного материала Лено-Вилюйского междуречья, пришел к выводу, что рудная золотоносность мезозойского возраста связана с магматизмом кислого состава. По его мнению, потенциальными источниками рудоносных гидротерм являлись раннеюрские-меловые флюидно-эксплозивные структуры (ФЭС), проявленные в виде трубочных тел, а также минерализованные зоны разрывных нарушений, гидротермальные аргиллизиты и тела дайкового типа, что было подтверждено нашими полевыми исследованиями. *В зоне Кемпендяйских дислокаций нами впервые обнаружены вулканиты андезит-дацитового состава* (Nikiforova et al., 2007) и установлена приуроченность максимальных концентраций россыпного золота к полям развития вулканических образований андезит-дацитового состава, залегающих на нижнемеловых отложениях. По результатам спектрального анализа вулканитов нами выявлена устойчивая Ag–Pb–Zn–Cu геохимическая ассоциация в вулканитах и в низкосреднепробном золоте. Это поз-



Фиг. 4. Типоморфные особенности золота из аллювиальных отложений руч. Моргогор: а – распределение гранулометрического состава золота: 1 – 0.5–1 мм; 2 – 1–2 мм; 3 – > 2 мм; б – распределение золота по морфологии: 1 – пластинчатая; 2 – комковидная; 3 – таблитчатая; в – степень обработанности золотин: 1 – необработанная; 2 – слабообработанная; 3 – обработанная; г – распределение пробности золота: 1 – 600–699‰; 2 – 700–799‰; 3 – 800–899‰; 4 – 900–1000‰.



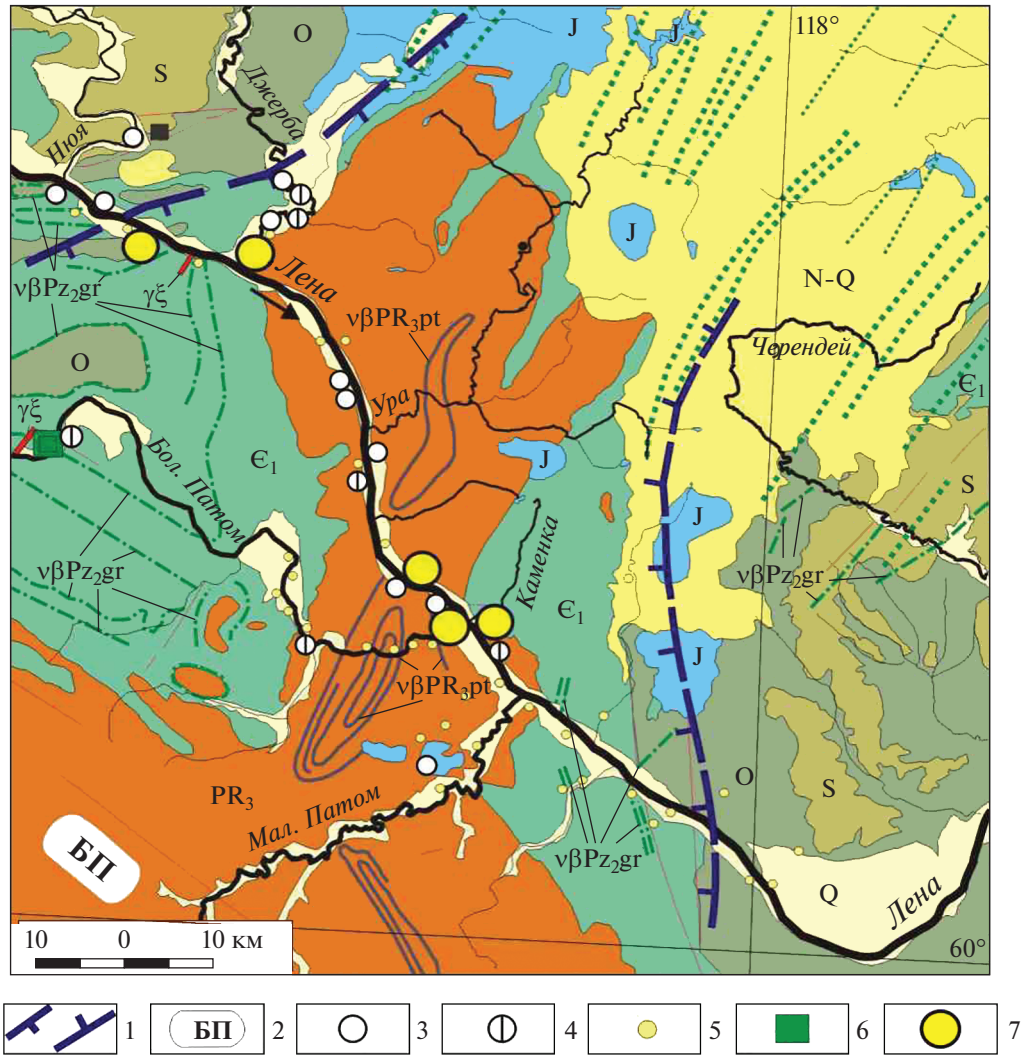
Фиг. 5. Морфологические особенности золота руч. Моргогор: а–б – слабообработанная золотина комковидной формы с микропористой поверхностью (разв. лин. 128. 92); в–г – необработанная золотина рудного облика с микропористой поверхностью (разведочные линии 62.60); д – хорошо обработанная пластинчатая золотина с валиком по периферии с микропористой поверхностью (разв. лин.156); е – среднеобработанная золотина с завальцованными выступами с микропористой поверхностью (разв. лин. 164).

волило установить парагенетическую связь эпитермальной золотосеребряной рудоносности с вулканизмом и обосновать образование в зоне Кемпендяйской дислокации месторождений золотосеребряной формации (Никифорова, Ивенсен, 2008).

Подтверждением этому служат данные предшественников (Ченцов, 1960ф.; Охлопков, 1962ф.; Ганин, 1965ф.; Выриков и др.,1965ф.; Кирина, 1966ф.; Киселев, 1970ф.), которые в отложениях ранней юры и мела обнаружили золотоносные кварц-кальцит-баритовые жилы (Au до 1.4 г/т). Происхождение жил они объясняли процессами проявления кислого вулканизма раннеюрского и мелового возраста. В этих жилах обнаружены рудные минералы – пирит, магнетит, галенит, сфалерит, халькопирит и др. В русловом аллювии, наряду с аномально высокими содержаниями золота, установлено большое количество неокатанных зерен барита, гематита и халцедоновидного кварца, что дополнительно доказывает наличие коренного источника золотосеребряного типа.

Перспективным объектом для поисков коренного источника золотосеребряной формации явля-

Геологичекая карта-схема Уринского антиклинория
(на основе Государственной геологической карты СССР м-ба 1 : 10000000 лист P-50)



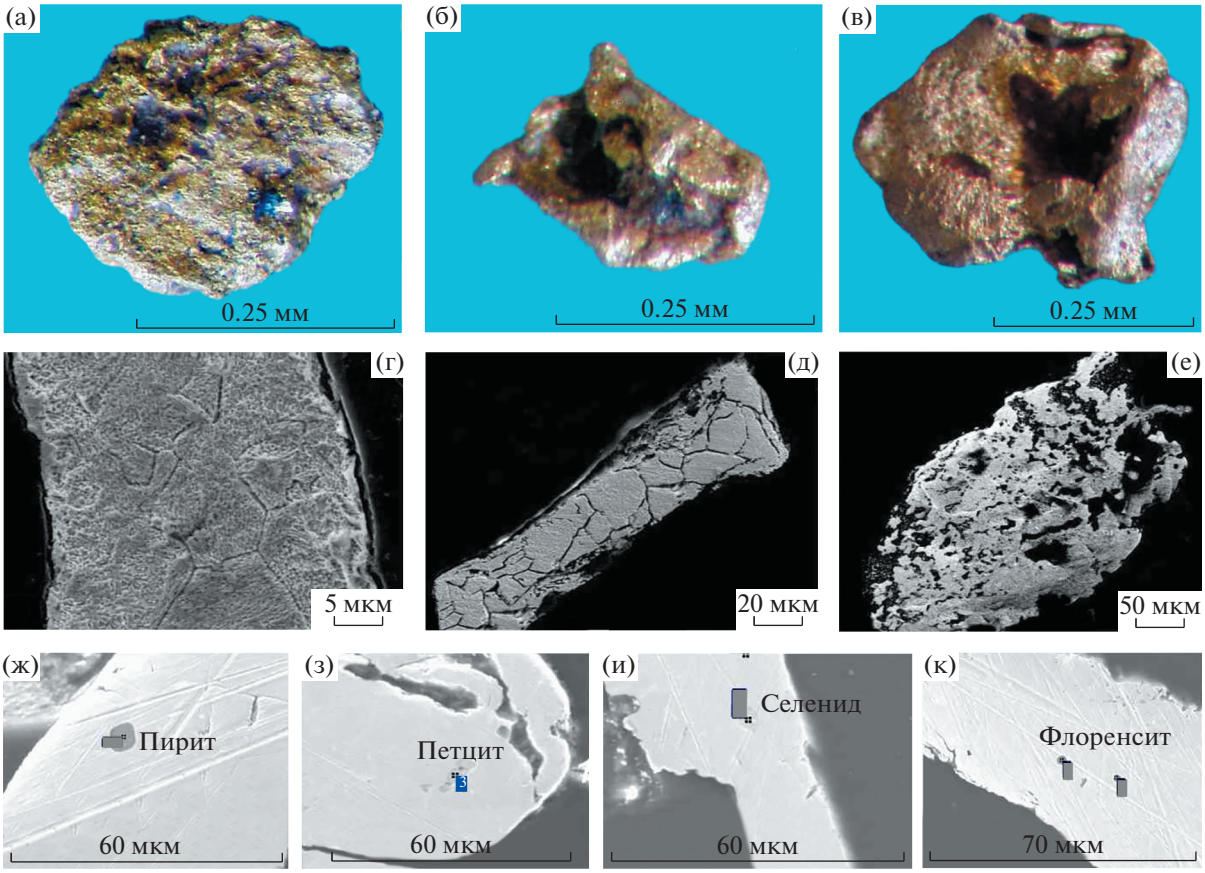
Фиг. 6. Схема расположения предполагаемого оруденения золотосульфидно-кварцевой формации в устье Б. Патом и Каменка, заложенного по глубинному Баппагайскому разлому: 1 – границы Уринского антиклинория; 2 – Байкало-Патомский складчато-надвиговый пояс; 3–5 – содержание россыпного золота в россыпных проявлениях (по данным В.Л. Масайтиса и др., 1970ф): 3 – 100–200 мг/м^3, 4 – 50–100 мг/м^3, 5 – знаковое <50 мг/м^3; 6 – рудопроявление золотосодержащего магнетита (по данным Масайтиса и др., 1970ф); 7 – места шлихового опробования россыпного золота.

ется территория Кемпендяйской дислокации (центральная часть востока Сибирской платформы).

О наличии золоторудных источников золотосеребряной формации в зоне Кемпедяйских дислокаций (фиг. 8) свидетельствует обнаружение в аллювиальных отложениях Лено-Вилюйского междуречья (истоки рек Намана, Кемпендяй, Чебыда, Тонгуо, Ботомоу) крупного, до 2 мм, низкопробного золота с широким диапазоном элементов-примесей.

Выявленные типоморфные признаки россыпного золота – низкая и средняя пробность (600–800‰), большое разнообразие элементов-примесей (Pb, As, Sb, Zn, Cu и др.), микровключения адуляра, стронциевого барита, кальцита, пирита, галенита, неизмененное внутреннее строение (монозерна, крупнозернистое и др.). Выделенные индикаторные признаки характерны для руды золотосеребряной формации (фиг. 9), что позволяет прогнозировать на исследуемой территории перспективный участок на поиски месторождений данного типа.

Сравнение истории геологического развития территории востока Сибирской платформы (Вилюйский палеорифт) с Северо-Американской (Скальный палеорифт), где аналогично во внутриконтинентальном рифте проявлена вулканическая деятельность андезит-дацитового состава и образовалось крупное месторождение золотосеребряной формации Крипл-Крик, послужило основанием для предположения о формировании



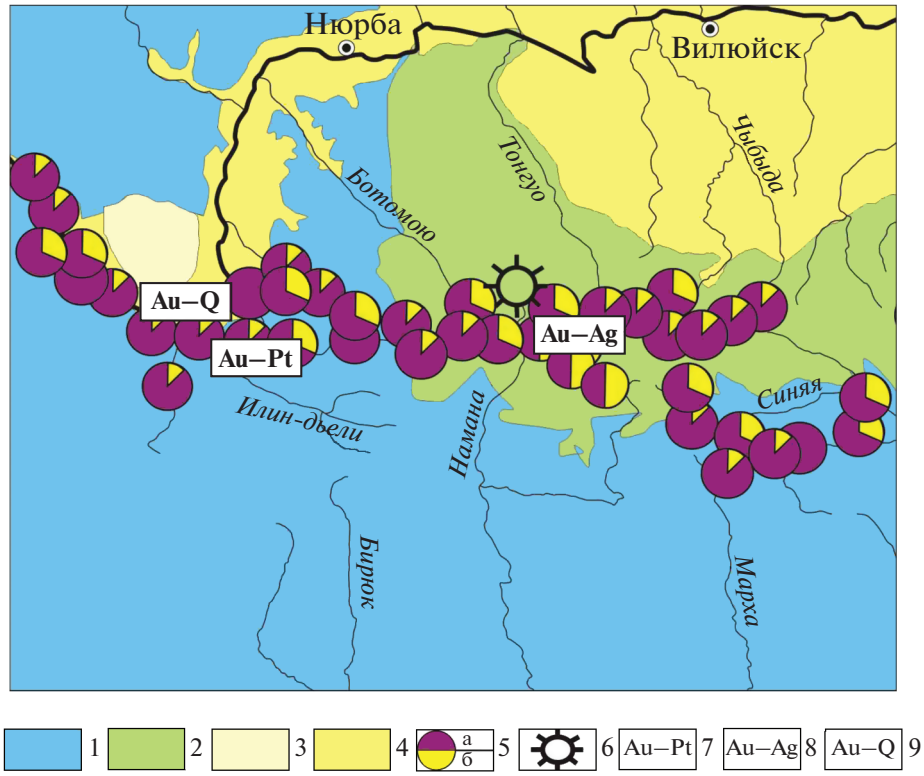
Фиг. 7. Типоморфные особенности россыпного золота устья Бол. Патом: а–в – морфология россыпного золота: а – пластинчатое, б, в – комковидное; г–е – внутренние структуры золота: г – среднезернистая, д – межблоковая, е – губчатая; ж–к – микровключения в россыпном золоте.

такого же типа месторождений в зоне Кемпендяйских дислокаций.

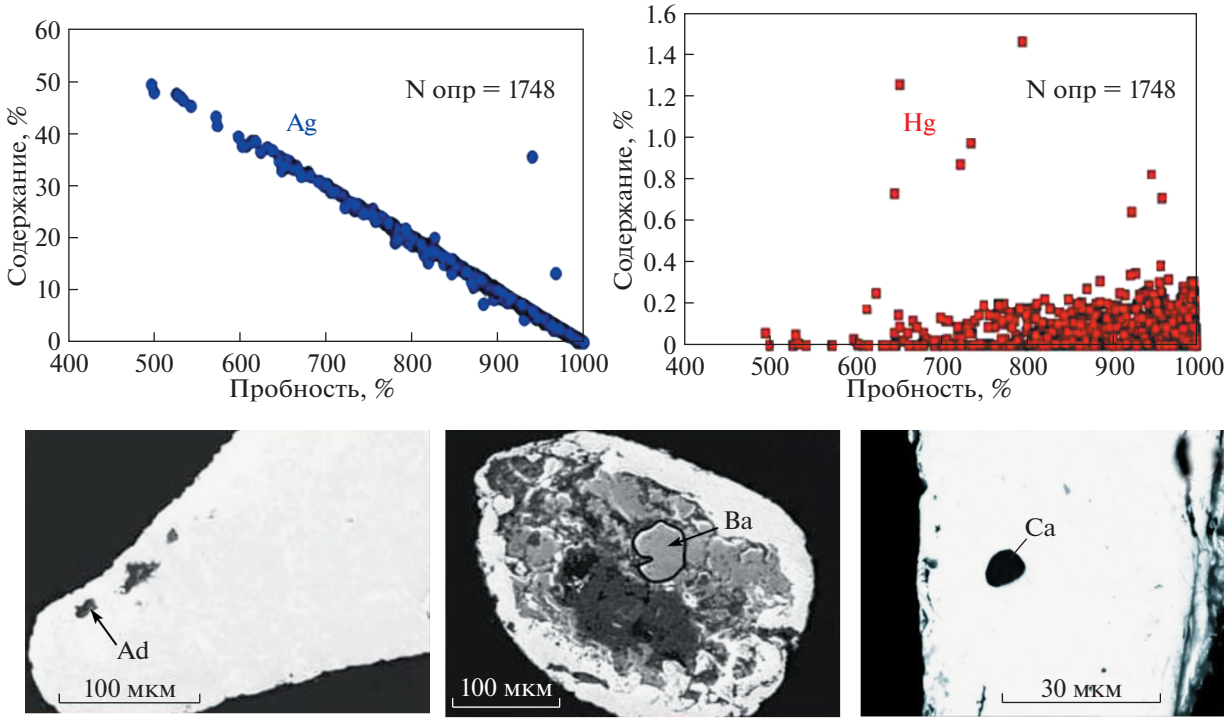
Возможность формирования **золоторудных месторождений в ультраосновных щелочных карбонатитовых комплексах** (УЩК) впервые обоснована Л.Н. Когарко (Когарко и др., 1994). Первые находки рудного золота в ультраосновных щелочных карбонатитовых комплексах были сделаны Л.Н. Когарко, В.Г. Сениным (2011) на Гулинском массиве, а на Томторском массиве – авторами (Баранов, Толстов, 2018). Широкое распространение благородных металлов в россыпях в непосредственной близости от Уджинской и Маймеча-Котуйской УЩК позволяют рассматривать данные комплексы в качестве одного из источников золотоносной руды на востоке Сибирской платформы. В зоне распространения УЩК периодически встречаются россыпное золото и платиноиды (Виноградов и др., 1967; Когарко, Сенин, 2011; Толстов, 1999, 2006; Баранов и др., 2018).

В качестве *перспективного объекта прогнозируется УЩК Томтор* (фиг. 10), расположенный на *северо-востоке Сибирской платформы (Уджинская провинция УЩК)*, в пределах которого выявлено рудное золото в силикатных породах (щелочные сиениты) массива Томтор, золото и платина в сульфидах из камафоритов (апатит-магнетитовые руды). Массив Томтор имеет концентрически-зональное строение. Центральное ядро его диаметром 6 км сложено породами карбонатитового комплекса (карбонатитами и карбонатно-силикатными породами). Внешнее кольцо слагают щелочные, нефелиновые сиениты и нефелин-пироксеновые породы (фоидолиты). Дайки и трубки взрыва пикритов и альнеитов прорывают породы массива и относятся к наиболее поздним образованиям. Полезные компоненты руд массива Томтор: РЗЭ, ниобий, иттрий, скандий, железо, апатит. Попутные компоненты: титан, ванадий, алюминий, цирконий, стронций, уран, торий.

При изучении пород массива Томтор с помощью сканирующего электронного микроскопа было обнаружено два зерна золота. Первое зерно – субидиоморфное овальное включение размером 1 мкм (фиг. 11а; табл. 7) установлено в карбонате апатит-магнетитовых руд (скв. 801, глубина 59.5 м). Включающий золото карбонат характеризуется повышенным содержанием Sr и РЗЭ, содержит щелочи, F, Cl, Br и S. По данным электронной сканирующей микроскопии в нем обнаружены



Фиг. 8. Схема распространения двух типов россыпного золота и прогнозируемые золоторудные формации коренных источников на Вилюйской синеклизе: 1–4 – отложения: 1 – юрские, 2 – меловые, 3 – неогеновые, 4 – четвертичные; 5 – типы золота и их соотношение (%): а – I тип, б – II тип; 6 – ФЭС(?); 7–9 – рудные формации: 7 – золото-платиноидная, 8 – золото-серебряная, 9 – малосульфидная золото-кварцевая.



Фиг. 9. Элементы-примеси и микровключения россыпного золота Лено-Вилюйского междуречья.

Таблица 7. Состав золота из карбоната апатит-магнетитовых руд

Скв. 801/59.5	Total	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Ba	Sr	Cu	Au	Ag	Cl	O
	83.86	0.74	0.3	0.31	0.1	13.83	0.89	0.26	0.73	2.24	2.89	29.82	4.03	0.11	27.59

(мас. %): Au 74.67; Ag 5.53; Cu 2.33; Si 0.26; Al 0.1; Fe 0.22; Mg 0.03; Ca 7.03; Na 0.26; K 0.13; Ba 1.27; Sr 2.5; Cl 0.05; O 5.61.

Петрогенные элементы (Ca, O и др.) в связи с малым размером зерна, по-видимому, заимствованы из вмещающего карбонат субстрата. Нормализованный состав, приведенный к самородному серебро-медистому золоту, имеет формулу $Au_{90.5}Ag_{6.7}Cu_{2.8}$.

Второе микровключение золота пластинчатой формы длиной ~5 мкм при толщине 0.5 мкм обнаружено в прожилке, выполненном пиритом (фиг. 11б; табл. 8), в щелочных сиенитах из скв. 7217. В этом зерне рентгеноспектральным микроанализом определены (мас. %): Au 44.47, Ag 27.55, Fe 15.41, S 26.52. Низкие абсолютные содержания во включении золота и значительное количество Fe и S, скорее всего, обусловлены заимствованием их из пирита, но при пересчете содержаний Au и Ag на 100% получен низкопробный состав $Au_{62}Ag_{38}$.

Принимая во внимание первые находки рудного золота, насыщенность карбонатитового флюида HCl, судя по анализу включений в карбонате, учитывая высокие содержания сульфидов в камафоритах и карбонатитах (Белов и др., 2008; Булах, Иванников, 1984), а также выявленные нами закономерности, изложенные выше, можно предположить наличие благороднометалльной минерализации, приуроченной к массиву Томтор. Наиболее вероятно, что из всего комплекса пород массива золотая минерализация приурочена к щелочным сиенитам и карбонатитам, пространственно и генетически связанным с апатит-магнетитовыми рудами (Баранов и др., 2018).

Подобная минерализация прогнозируется в поле развития карбонатитовых трубок в северо-восточной части Анабарского щита, о чем свидетельствует обнаружение во фракции 0.1 мм низкопробного россыпного золота до 100% на речке Орто Ырыгах. По-видимому, данное золото поступило из коренных источников мезозойского возраста, развитых в Орто-Ырыгахском карбонатитовом поле.

Выявление золота в УЩК Томтор позволяет впервые прогнозировать на востоке Сибирской платформы наличие источников золота, приуроченных к щелочным сиенитам и карбонатитам, пространственно и генетически связанным с апатит-магнетитовыми рудами.

Таблица 8. Результаты анализа состава золота в пирите нефелиновых сиенитов массива Томтор

Скв. 7217	Total	Fe	Cu	Au	Ag	S
	113.95	15.41	0	44.47	27.55	26.52
	114.26	21.11	0.54	33.79	26.51	32.31

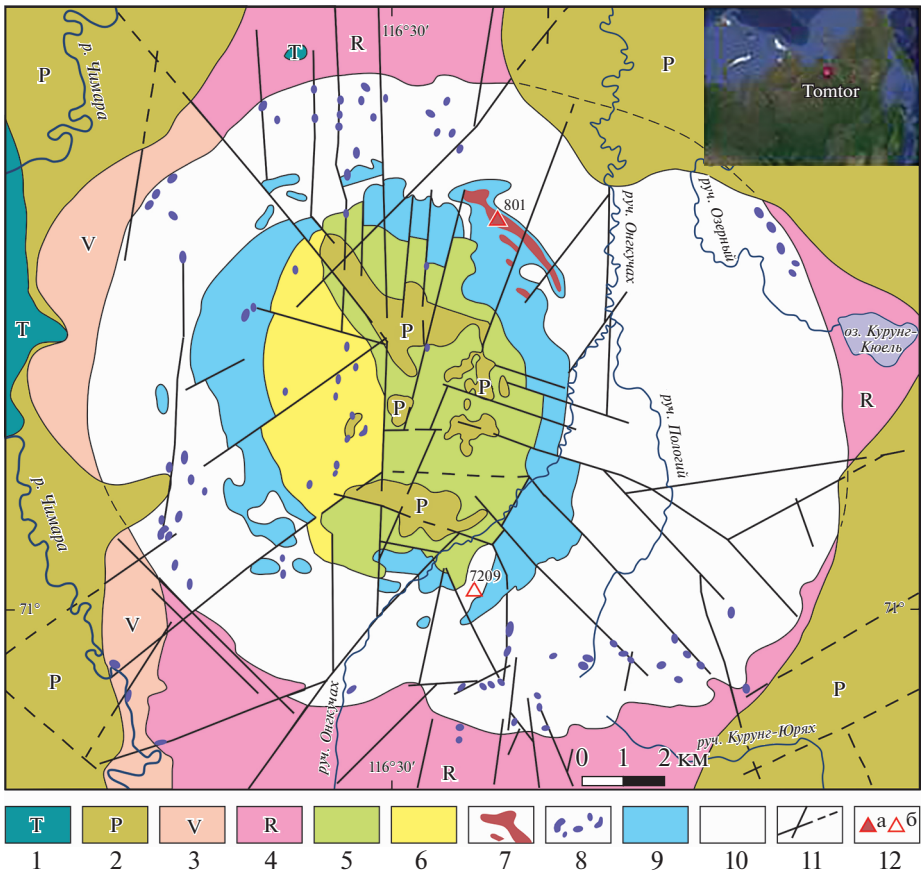
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прогнозный потенциал россыпной золотоносности

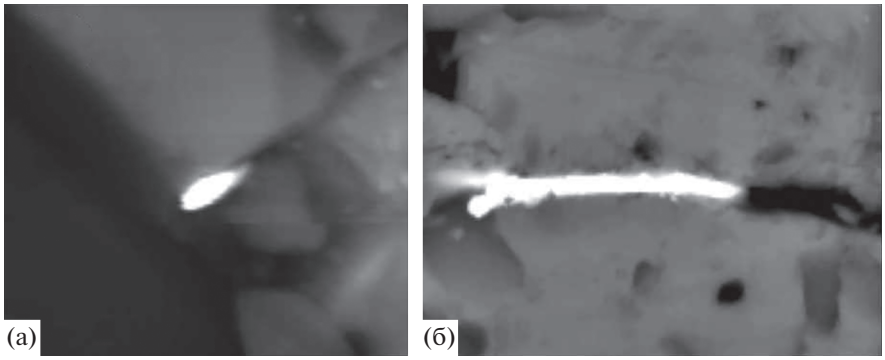
На основе исследования закономерностей распределения двух типов золота в осадочных коллекторах востока Сибирской платформы построена модель формирования россыпной золотоносности (Никифорова, 2014). На примере россыпей бассейна р. Эекит (Оленекское поднятие) прослежена последовательность переотложения россыпного золота от древних (докембрийских) коллекторов до современных четвертичных образований. Показано, что образование знаковой золотоносности происходило за счет поступления золота из рудных источников докембрийского, а на отдельных территориях – мезозойского возраста (Никифорова и др., 2013). Установлен факт неоднократного переотложения мелкого и тонкого золота из докембрийских источников с разубоживанием металла.

В результате изучения минералого-геохимических особенностей россыпного золота и выявления в нем индикаторных признаков, характерных для определенных формационных типов коренных источников, впервые обосновано, что образование россыпей происходило при поступлении золота из различных типов коренных источников (Никифорова и др., 2018). Выявлено, что золотоносные россыпи образовались за счет формаций, не образующих пластовые россыпи (золото-железисто-кварцитовая, золото-платиноидная, золотосульфидно-кварцевая и золотосеребряная), а формирующих лишь площадной ореол рассеяния мелкого и тонкого золота. По данным наших исследований и предыдущих работ (Протопопов и др., 2002ф), обширная россыпная золотоносность в аллювиальных отложениях востока Сибирской платформы характеризуется широкими вариациями содержаний золота – от знаковых (<25 мг/м^3) до весовых (2 г/м^3 и более), образуя мелкие и, в редких случаях, средние по запасам россыпи. Золото в этих россыпях в основном мелкое 0.1–0.25 мм и относится к классу трудно извлекаемого. Образование крупных пластовых россыпей на востоке Сибирской платформы объясняется отсутствием коренных проявлений золотокварцевой формации, являющейся источником формирования пластовых промышленных аллювиальных россыпей.

С 50-х годов прошлого века на востоке Сибири проводились поисковые, поисково-оценочные и



Фиг. 10. Схематическая геологическая карта Томторского массива: 1 – нижнетриасовые туфы, лавы платобазальтов, T; 2 – пермские конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, угли, P; 3 – песчаники, гравелиты, алевролиты венда, V; 4 – доломиты, сланцы, алевролиты, песчаники рифея, R; 5–7 – карбонатитовый комплекс: 5 – редкометалльные, 6 – безрудные карбонатиты и 7 – камафориты; 8–10 – комплекс силикатных пород: 8 – мелкие секущие тела щелочно-ультраосновных пород, 9 – фоидолиты, 10 – щелочные и нефелиновые сиениты; 11 – тектонические нарушения; 12 – места отбора исследованных образцов: а – из керна скважин (с номером скважин), б – из коренных выходов и эллювиально-делювиальных развалов пород на поверхности (с номером обнажений).



Фиг. 11. а – образец 801/59.5. Вкрапленность золота в кальците апатит-магнетитовых руд; б – образец 7217. Пластинка золота в пирите щелочных сиенитов. Сканирующий электронный микроскоп, съемка в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE).

ревизионные работы на золото в аллювиальных отложениях (Чёрный, 1956ф; Вишневский, 1962ф; Крючков, 1965ф, 1967ф; Новиков, 1986ф; Толстов, 1996ф; Румянцев и др., 2003ф), в результате которых установлено всего два участка перспективных золотоносных россыпных проявлений и 11 пунктов золоторудной минерализации. Содержание золота в отдельных пробах россыпей достигало 2 г/м^3, штуфное опробование выявило лишь признаки золоторудной минерализации. В течение всей истории изучения района не было обнаружено коренных источников золота, как и

россыпных месторождений, пригодных для промышленного освоения.

На северо-востоке Сибирской платформы *россыпи бассейна р. Анабар (р. Половинная, отдельные отрезки р. Большая Куонапка)* представляют промышленный интерес. К перспективной территории можно отнести ископаемые золото-редкометалльные *россыпи Оленекского поднятия*. Однако отрицательным фактором является то, что они находятся на территории с неблагоприятными географо-экономическими показателями и с неразвитой транспортной схемой, поэтому она со значительной долей условности отнесена к высокоперспективным районам (Протопопов и др. 2002ф).

Определенными перспективами обладает *Уэле-Уджинский район Уджа-Оленекской провинции*, россыпепроявления которой относятся к промышленным россыпям с мелким и тонким золотом. При применении новых технологий добычи они могут успешно разрабатываться, поскольку по содержаниям близки к современным промышленным требованиям. Ресурсы золота здесь могут быть востребованы при развитии нового района, который может быть организован на базе Томторского и Попигайского месторождений. Исключением являются россыпные алмазные месторождения Приленского (южное обрамление Оленекского поднятия, р. Молодо с притоками) и Анабарского (восточное обрамление Анабарской антеклизы, р. Анабар с притоками – рр. Талахтах, Хара-Мас, Кычкин, Федор, Уджа, Эбелях, Биллях, Маят, Моргогор) районов.

Широко распространенные докембрийские конгломераты, по мнению И.С. Рожкова и Г.В. Писемского (1966), Б.Р. Шпунта (1970), а позднее Э.Д. Избекова и др. (2012), рассматривались как перспективные на золото и сопоставлялись с конгломератами Витватерсранда, Тарква, Жакобина. Результаты опробования грубообломочных отложений от рифея до кайнозоя показали их низкую продуктивность – содержание Au в них составило от первых мг до 2 г/м^3. По мнению авторов, образование месторождений типа Витватерсранд на данной территории маловероятно по причине отсутствия высокой рудной продуктивности зеленокаменных поясов и аналогичных троговых структур, в которые происходил бы однонаправленный снос терригенного материала на протяжении миллиарда лет.

Прогнозный потенциал рудной золотоносности

На территории востока Сибирской платформы в настоящее время не установлено ни одного проявления рудного золота, которое можно было отнести к перспективным объектам для разведочно-добычных работ. По геолого-структурным предпосылкам территория Средне-Ленского золотороссыпного района весьма благоприятна для формирования золоторудных месторождений в метасоматитах, обусловленных региональными разломами надвигового характера (Протопопов и др., 2002ф). Об этом свидетельствует наличие в зоне сочленения Байкальского орогена и приплатформенного крыла Сибирской платформы крупного пологого разрывного Пилкинского надвига, сопровождающегося сложноскладчатыми нарушениями. Открытие новых золоторудных месторождений в последние годы свидетельствует, что региональные разломы такого типа способствуют формированию золоторудных источников, в которых минерализация, в зависимости от состава вмещающих толщ, локализуется в разнообразных метасоматитах. Ближайшими аналогами такого типа являются месторождения золота, приуроченные к Угуйскому грабену и другим архейским структурам Алданского щита, где геолого-съемочными работами в зонах разрывных нарушений, сопровождающих Пилкинский надвиг, установлены многочисленные проявления золота с содержаниями до 0.3 г/т.

Золоторудная минерализация установлена в маломощных кварцево-жильных телах и в гидротермально-измененных породах (метасоматитах). В аллювиальных отложениях, дренирующих эти зоны, отмечается более крупное золото с содержаниями до 1 г/т и неокатанные зерна галенита, сфалерита, смитсонита. На этих площадях установлены также вторичные ореолы рассеяния золота, приуроченные к зонам тектонических нарушений. Все это свидетельствует о наличии в этом районе еще не изученных золоторудных проявлений, связанных с метасоматитами. Исходя из этого авторы считают, что данный регион требует геологического доизучения с постановкой на нем ревизионно-металлогенических исследований и геологической съемки, с целью оценки потенциала золотоносности данной территории.

Потенциальной рудной золотоносностью обладает территория Анабарского щита, где практически все выявленные в процессе многолетних поисков (Шпунт, 1970; Новиков, 1986ф; Толстов, 1995ф; Толстов, 1999) проявления, пункты минерализации и литохимические ореолы золота пространственно связаны с раннепротерозойскими разломами, зонами диафтореза, мигматизации и гранитизации. Золото наблюдается в пирит-кварц-полевошпатовых и сульфид-альбит-хлорит-кварцевых метасоматитах, локализующихся в полях и зонах катаклазитов и ультрамилонитов. Предполагается, что поля метасоматитов связаны с надапикальными зонами невскрытых эрозией тел порфиробластических гранитов билляхского комплекса. В совокупности рудная минерализация, выявленная в гранитоидах билляхского комплекса, может рассматриваться как аналог медно-порфирового проявления (Толстов, 2006; Кравченко и др., 2010).

На территории Анабарского щита прогнозируются месторождения золотокварцевой формации,

которые приурочены к зонам интенсивной милонитизации и катаклаза. В качестве возможного источника золота может быть золотокварцевый тип месторождений, связанный с черносланцевой формацией (аналогичный месторождению Мурунтау), однако масштабы его, вероятнее всего, будут скромнее. Высокие перспективы выявления данного типа месторождений имеет Котуйкан-Монхолинская тектоническая зона (Толстов, 2006).

В целом на основе изучения минералогии россыпного золота и закономерностей его распределения на востоке Сибирской платформы впервые выделены территории, перспективные на выявление крупных докембрийских и мезозойских золоторудных месторождений, пространственно приуроченных к определенным геолого-структурным позициям (см. фиг. 2). На территории древних выходов фундамента (Анабарский и Алданский щит, на сводовых поднятиях – Оленекском, Сунтарском и др.) можно прогнозировать рудоносность малосульфидной золотокварцевой формации и месторождения докембрийского возраста типа Поркъюпайн и Керкленд-Лейк. Кроме того, нами впервые выделяются территории, перспективные на поиски крупных мезозойских золоторудных месторождений золотосульфидно-кварцевой формации типа Куранах, Карлин, пространственно связанных с глубинными разломами, а также месторождений золото-серебряной формации типа Крипл-Крик, образованных в результате проявления вулканической деятельности андезит-дацитового состава в зонах внутриконтинентальных палеорифтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образование россыпной золотоносности востока Сибирской платформы происходило за счет неоднократного переотложения мелкого и тонкого золота из рудных источников докембрийского возраста, а на некоторых объектах – за счет дополнительного поступления из проявлений мезозойского возраста в более молодые отложения. Установлено, что эти процессы приводили не к концентрации, а разубоживанию металла, чем объясняется отсутствие россыпей с высокими содержаниями металла. Образование крупных пластовых россыпей при этом невозможно, поскольку россыпные проявления формировались за счет коренных источников, как правило, не россыпеобразующих формаций. Промышленные пластовые россыпи золота, как известно, образуются за счет коренных источников золотокварцевой формации. Показано, что россыпная золотоносность обусловлена не только гидродинамическими, но и эоловыми процессами, проявленными в сартанскую, каргинскую и другие эпохи оледенения, что способствовало формированию столь обширного ореола рассеяния золота. Это позволило выделить на данной территории два основных генетических типа золотоносных россыпей – аллювиальные косовые и эоловые. Образование месторождений типа Витватерсранд на исследуемой территории проблематично по причине отсутствия высокой рудной продуктивности зеленокаменных поясов и троговых структур, которые могли бы служить областью концентрации терригенного материала на протяжении миллиарда лет.

На северо-востоке Сибирской платформы наиболее перспективными объектами для добычи россыпного золота являются участки Половинный, Куонапка и Бороску. В некоторых алмазоносных россыпях Приленского и Эбеляхского районов возможна попутная добыча благородных металлов, золота и платины.

На востоке (Вилюйская синеклиза) перспективными объектами являются золотоносные комплексные россыпи Лено-Вилюйского междуречья (долины рек Вилюй, Намана, Нюя, Кенкеме и др.) с содержанием золота до 3 г/м^3 и платины до 0.1 г/м^3, ильменита до 30 кг/м^3, циркона до 3 кг/м^3, граната и других полезных компонентов.

На юго-востоке самой перспективной территорией является Средне-Ленский район – бассейн реки Витим с притоками, река Средняя Лена с левобережными (руч. Каменка, Романовский, Халаманда, Харса и др.) и правобережными (рр. Бол. Патом и Чара) притоками. Перспективные объекты находятся на территории с благоприятными географо-экономическими характеристиками, развитой транспортной схемой и могут рассматриваться как первоочередные участки для добычи старательскими артелями.

Сопоставление минералого-геохимических особенностей россыпного золота и закономерностей его распределения, особенностей развития геологии востока Сибирской платформы и Северо-Американской платформы, позволили впервые прогнозировать на Анабарском щите перспективные площади на поиски крупных месторождений докембрийского возраста типа Поркьюпайн и Керкленд-Лейк. По аналогии со Скальным рифтом, образование месторождения типа Крипл-Крик мезо-кайнозойского возраста золотосеребряной формации возможно на Вилюйском палеорифте в зоне Кемпендяйских дислокаций, где также проявлен вулканизм андезит-дацитового состава с образованием кальдеры, к которой приурочена золотосеребряная рудная минерализация. Месторождения типа Карлин Mz-Kz возраста золотосульфидно-кварцевой формации прогнозируются в Молодо-Попигайской системе разломов, а типа Куранах (Карлин) – в зоне сочленения Уринского антиклинория с северо-восточной частью Байкало-Патомского надвигового пояса (Вилюйский палеорифт).

Впервые для востока Сибирской платформы в массиве УЩК Томтор обнаружена золоторудная минерализация, являющаяся новым коренным источником рудного золота. Это дает основание

рассматривать территорию Уджинской минерагенической провинции, включая карбонатитовую зону Чимаара, массив Богдо, а также невскрытые интрузии Чюэмпе, Уэле и Буолкалах, в качестве перспективной на поиски нового генетического типа золоторудных и комплексных Au–Pt-месторождений в массивах УЩК (Толстов, 1999, 2006).

Таким образом, в результате разработанного авторами метода изучения минералого-геохимических особенностей россыпного золота на исследуемой территории установлен генезис россыпей и обоснован прогнозный потенциал золотоносности для поисков золоторудных месторождений различных формаций докембрийского и мезокайнозойского этапов рудообразования. Полученные результаты дают основание оценить перспективы золоторудного потенциала востока Сибирской платформы. Выделенные индикаторные признаки россыпного золота позволили впервые установить формационные типы коренных источников, характерные для определенных геолого-структурных обстановок, что способствует более корректному подбору методов поиска золоторудных месторождений, особенно на закрытых территориях. Прогнозирование коренных источников золота на основе изучения типоморфизма россыпного золота и закономерностей его распределения требует дальнейшего совершенствования и детальных исследований с привлечением комплекса металлогенических, геохимических, геофизических и других методов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны анонимным рецензентам за полезные замечания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания ИГАБМ СО РАН; НИГП АК АЛРОСА (ПАО) и по гранту РНФ 18-17-00120.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баданина И. Ю., Малич К. Н., Гончаров М. М., Туганова Е.В. Благороднометалльные россыпи Гулинского массива (север Сибирской платформы): новые данные о необычных минеральных ассоциациях золота и платиноидов // Типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Матер. Всеросс. Конф. к 100-летию Н.В. Петровской. Самородное золото: ИГЕМ РАН. Москва, 2010. С. 56–59.

Баранов Л.Н., Толстов А.В., Округин А.В., Слепцов А.П. Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, Северо-Восток Сибирской платформы // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 42–54.

Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 537 с.

Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. Москва: Изд-во АН СССР, 1938. 471 с.

Булах А.Г., Иванников В.В. Проблемы минералогии и петрологии карбонатитов. Л.: Недра, 1984. 220 с.

Виноградов В.А., Красильщиков А.А., Горина И.Г. Об источниках золота на Оленекском поднятии // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Якутск, 1967. Вып. 15. С. 114–119.

Герасимов Б.Б., Павлов В.И. Минералогия россыпного золота восточного обрамления Анабарского щита // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Матер. V Всеросс. науч.-практ. конф:. Якутск, 2015. С. 113–116.

Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. Индикаторные признаки россыпного золота как критерий прогнозирования различных типов золотоносных рудопроявлений (на примере Анабарского района) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Матер. VI Всеросс. науч.-практ. конф.:. Якутск, 2016_1. С. 41–44.

Герасимов Б.Б., Никифорова З.С. О наложенной рудной минерализации на россыпное проявление р. Каменистый (северо-восток Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2016_2. № 6. С. 62–67.

Глушкова Е.Г. Типоморфные признаки самородного золота россыпных проявлений бассейна средней Лены (юго-восток Сибирской платформы): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2009.

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.

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

Доклад о состоянии фундаментальных наук в Российской федерации и о важнейших научных достижениях российских ученых в 2014 году// Важнейшие достижения, Науки о Земле. Москва, 2014. С.181.

Зверев В.Н. Условия золотоносности Вилюйского района // Изв. Геолкома. 1925. Т. 44. № 5. С. 539–562.

Избеков Э.Д. Образование и эволюция россыпей. Новосибирск: Наука, 1985. 190 с.

Избеков Э.Д. Система коренной источник–россыпь. Якутск: Якутский научный центр СО РАН, 1995. 202 с.

Избеков Э.Д., Разин Л.В., Старостин В.И. Минерагенические критерии и характерные особенности геологической истории образования гигантских золотых комплексных месторождений Витватерсранда на Южно-Африканской платформе, показательные для обнаружения аналогов таких месторождений в северном сегменте восточной части Сибирской платформы // Изв. секции наук о Земле РАЕН. 2012. Вып. 22. С. 138–147.

Каженкина А.Г., Никифорова З.С. Прогнозирование возможных коренных источников золото-платиноидной минерализации на территории Лено-Вилюйского междуречья (восток Сибирской платформы) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 520–532.

Кассандров Э.Г., Маринич В.А. О золотоносности железистых кварцитов Алданского щита // Геология и геофизика. 1979. Т. 20. № 2. С. 87–91.

Когарко Л.Н., Уханов А.В., Никольская Н.Е. Новые данные о содержании элементов группы платины в горных породах ийолит-карбонатитовой формации (массивы

Гули и Кугда, Маймеча-Котуйская провинция, Полярная Сибирь) // Геохимия. 1994. № 1. С. 1568–1577.

Когарко Л.Н., Сенин В.Г. Первая находка золота в коренных породах Гулинского массива (Полярная Сибирь) // ДАН. 2011. Т. 441. № 1. С. 81–82.

Колпаков В.В. Об ископаемых пустынях нижнего течения Лены // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Наука, 1970. № 37. С. 76–82.

Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 355 с.

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.

Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли: Рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 1983.

Михайлов В.А. Источники питания металлоносных отложений Вилюйской синеклизы: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Томск: ТГУ, 1990.

Михайлов В.А., Гаврильев Н.Н. Роль орогенных комплексов Вилюйской синеклизы в золотоносности ее платформенного чехла // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1976. № 12. С. 110–118.

Никифорова З.С. Типоморфные особенности чешуйчатого золота и его эволюция в экзогенных условиях // Топоминералогия и типоморфизм минералов. Якутск, 1988. С. 83–93.

Никифорова З.С. Типоморфизм россыпного золота как показатель россыпей и коренных источников (восток Сибирской платформы): Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2014.

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., Ивенсен Г.В. К вопросу формирования эпитермальных месторождений золота на территории Лено-Вилюйского междуречья // Рудогенез: Матер. междунар. конф. Миасс, 2008. С. 203–206.

Никифорова З.С., Филиппов В.Е. Золото псевдорудного облика в древних конгломератах // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. № 2. С. 455–457.

Никифорова З.С., Филиппов В.Е., Герасимов Б.Б. Влияние эоловых процессов на образование золотоносных россыпей в различные эпохи развития Земли // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 5. С. 517–528.

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., Каженкина А.Г. Золотоносность востока Сибирской платформы: россыпи-коренные источники // Геология руд. месторождений. 2013. Т. 55. № 4. С. 305–319.

Никифорова З.С., Герасимов Б.Б., Глушкова Е.Г., Каженкина А.Г. Индикаторные признаки как показатель формационных типов золоторудных месторождений (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика. 2018. № 10. С. 1643–1657.

Никифорова З.С., Филиппов В.Е. Золото псевдорудного облика в древних конгломератах // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. № 2. С. 455–457.

Обручев В.А. Олекминско-Витимский золотоносный район. Геологический обзор золотоносных районов Сибири. Восточная Сибирь. М., 1923. Ч. III. Вып. 2. 128 с.

Петров А.Ф. Объяснительная записка к государственной геологической карте СССР масштаба 1 : 200000 (лист О-50-XVIII – Серия Бодайбинская). М.: Госгеолтехиздат, 1978. 116 с.

Петровская Н.В., Новгородова М.И., Фролова К.Е. О природе структур и субструктур эндогенных выделений самородного золота // Минералогия самородных элементов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 10–20.

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

Родионов Н.Т. Геоморфология и россыпная золотоносность Среднего Приленья: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Казань, 1973.

Рожков И.С., Писемский Г.В. Проблемы золотоносности древних конгломератов // Геология руд. месторождений. 1966. Т. 8. № 5. С. 116–118.

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. Улан-Удэ, 2004. С. 279–281.

Тимофеев В.И. О россыпной золотоносности р. Вилюй // Разведка и охрана недр. 1965. № 6. С. 1–5.

Толстов А.В. Минералогия и геохимия золота Северо-запада Якутии и перспективы золоторудности Анабарского щита // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 1999. № 8. С. 194–197.

Толстов А.В. Перспективы золотоносности Анабарской антеклизы // Вестник госкомгеологии. 2002. № 1. (2). С. 44–49.

Толстов А.В. Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. М.: ИМГРЭ, 2006.

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

Филиппов В.Е., Никифорова З.С. Преобразование частиц самородного золота в процессе эолового воздействия // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299. № 5. С. 1229–1232.

Филиппов В.Е., Никифорова З.С. Формирование россыпей золота под воздействием эоловых процессов. Новосибирск: Наука, 1998. 160 с.

Черский Н.В. Богатство недр Якутии. Якутсккнигиздат, 1957. 164 с.

Шпунт Б.Р. Генетические типы проявлений золота в северо-восточной части Сибирской платформы // Уч. Зап. НИИГА. Региональная геология. 1970. С. 5–15.

Шпунт Б.Р., Шамшина Э.А., Шаповалова И.Г. и др. Докембрий Анабаро-Оленекского междуречья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 142 с.

Nikiforova Z.S., Ivensen G.V., Filippov V.Ye. Manifestations of volcanic activity in the Lena-Vilyui interfluve and its association with gold mineralization // International Symposium Large igneous provinces of Asia, mantle plumes and metallogeny. Novosibirsk, 2007. С. 182–184.