

УДК 553.2:551.243

В.И. Старостин¹, Э.Д. Избеков², Л.В. Разин³, Д.Р. Сакия⁴

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КРУПНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Приводится информация о геолого-поисковых признаках, указывающих на перспективы обнаружения в пределах Сибирской платформы крупных и уникальных месторождений благородных металлов витватерсрандского типа, попутно содержащих платину, иридий, осмий, родий, уран и алмазы. Выявлены перспективные площади естественного обогащения самородного золота на северо-востоке Сибирской платформы. Основа металлогении золота этого региона образовалась в раннем докембрии и ассоциирует с зеленокаменными поясами и гранулит-гнейсовыми комплексами. Прогнозная на благородно-металльное оруденение площадь охватывает обширную территорию в области сочленения тектонических провинций.

Ключевые слова: бассейн Витватерсранд, месторождения золота, россыпи, Северо-Азиатский кратон, Сибирская платформа.

Geological prospecting indicators of the potential presence of the Witwatersrand-type large and superlarge noble metal deposits containing optional Pt, Ir, Os, Rh, U, and diamond are presented. Perspective areas of native gold enrichment in the northeastern Siberian Platform are indicated. Gold metallogeny of this region was basically developed in Early Precambrian in association with greenstone belts and granulite-gneiss complexes. Promising zones with noble metal mineralization encompass large areas at the junction of tectonic provinces.

Key words: gold deposits, placers, North Asian Craton, Siberian Platform, Witwatersrand basin.

Введение. Крупнейшие в мире месторождения золота Витватерсранда поражают своим богатством при попутной металлоносности в виде минералов платиновой группы и урана, а также алмазов. С начала промышленной эксплуатации этих южноафриканских месторождений в 1886 г. здесь добыто свыше 50 000 т золота и столько же еще предполагается в недрах. Изначальное рабочее содержание золота в этих месторождениях достигало 17–20 г/т, а максимальный уровень годовой добычи золота пришелся на 1970 г. и составил более 1000 т. Ныне здесь обрабатываются горизонты со средним содержанием золота 5 г/т, за год добывается свыше 20 т золота. Попутно добывается также 250 кг металлов платиновой группы, суммарное содержание которых колеблется от 3 до 28 г/т [Старостин и др., 2010].

Рассматриваемые территории Южно-Африканской и Сибирской платформ характеризуются сходной геологической эволюцией. Об этом свидетельствует 60-летняя эпопея их сравнения в связи с поисками алмазов на Сибирской платформе с середины XX в. Как известно, не только подтверж-

дена идентичность происхождения алмазов на обеих платформах, но они обнаружены на Сибирской платформе в ассоциации с кимберлитовыми трубками. Однако на Сибирской платформе аналогичные золотоносные конгломераты до настоящего времени не вскрыты, так как перспективные для их нахождения площади погребены под толщей фанерозойских и рифейских образований на глубине 300–500 м. Металлоносные железистые кварциты и кристаллические сланцы архея и нижнего протерозоя установлены в западной части северного сегмента Сибирской платформы — на Алданском щите. В них подсчитаны запасы только железа, а масштабы золотоносности не оценены, хотя здесь выделено несколько золотоносных железокремнистых формаций. Золотоносность железистых кварцитов отмечена также на Восточно-Европейской платформе [Старостин и др., 2007].

Примечательно, что на 300 км западнее алданского железорудного объекта разведано крупнейшее вендское золотое месторождение Сухой Лог с прогнозными запасами 1300 т, что сопоставимо с запасами в ныне эксплуатируемых месторождениях

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, заведующий кафедрой, профессор, докт. геол.-минерал. н.; *e-mail:* univ05@ya.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, ст. консультант, докт. геол.-минерал. н.; *e-mail:* star@geol.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, консультант, канд. геол.-минерал. н.; *e-mail:* star@geol.msu.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; *e-mail:* univ05@ya.ru

Витватерсранда, причем в Сухом Логе 50% самородного золота тонкодисперсного типа, как и в Витватерсранде, а содержание попутных элементов платиновой группы гораздо выше.

Нами проанализирован большой объем опубликованных данных об отечественных и зарубежных целевых исследованиях по поискам и оценкам их результатов на предмет обнаружения золотых месторождений типа Витватерсранда [Избеков и др., 2006; Сакия, Старостин, 2010; Старостин и др., 2007, 2010]. Впервые В.И. Тимофеев [1965], В.А. Кудрявцев с соавторами. [1973], Ю.Н. Трушков и др. [1975] указали на элементы структурно-металлогенического сходства ряда геологических структур в восточной части Сибирской платформы со структурами золоторудных полей Витватерсранда и заключили, что на территории Якутии есть большая вероятность наличия золоторудной минерализации витватерсрандского типа.

В.И. Тимофеев [1965] отметил сходство геологического строения и магматизма на выступах древнего платформенного фундамента в Вилуйском (Сибирская платформа) и Трансваальском (Южно-Африканская платформа) бассейнах. Он указал, что Сунтарский погребенный выступ Сибирского платформенного фундамента в юрское время размывался и в настоящее время находится на глубине около 200 м от дневной поверхности. Он, возможно, был источником древних литифицированных металлоносных конгломератов, обогащенных самородным золотом. В.А. Кудрявцев с соавторами [1973] предположили возможность обнаружения докембрийской золотоносной толщи витватерсрандского типа в восточной части Сибирской платформы. По данным работы [Трушков и др., 1975], в районе кровли Якутского погребенного поднятия на глубине 0,5 км вблизи границы кварцитов и кристаллических сланцев находятся мезозойско-кайнозойские ореолы рассеяния самородного золота.

Напомним, что Ю.А. Косыгин впервые рассмотрел кристаллический фундамент Сибирской платформы и Верхояно-Чукотской складчатой области в объеме единой тектонической единицы — Северо-Азиатского кратона, сформированного 1,6–1,7 млрд лет назад [Косыгин и др., 1964]. Позднее О.М. Розен ввел понятие о Сибирском кратоне, возникшем в конце палеопротерозоя в результате слипания архейских микроконтинентов в единое целое, границы которого практически соответствуют Сибирской платформе [Розен и др., 2006].

На сравниваемых платформах сохранились остатки зеленокаменных поясов. В восточной части Сибирской платформы в них зафиксировано сингенетичное самородное золото (0,1–0,4 г/т) преимущественно чешуйчатой морфологии со структурами распада. Такое же содержание золота известно и в верхнеархейских породах на Южно-

Африканской платформе. Налицо относительная однородность источников самородного золота на начальных этапах развития Земли. Ю.Н. Трушков с соавторами [1975] выяснили, почему у подавляющего большинства золотых россыпей отсутствуют источники, соизмеримые с ними по запасам и содержанию. По их мнению, большое (до стократного) расхождение между содержанием золота в коренных источниках и россыпных месторождениях Витватерсранда (0,1 и 10,0 г/т соответственно) связано с тем, что россыпь формировалась как проекция источника на тальвег долины, и самородное золото в каждый пункт долины поступало с разных расстояния и высоты денудации.

Коэффициент естественного обогащения россыпи, рассчитанный для каждой промышленно ценной фракции самородного золота, а также минералов платиновой группы и алмазов, достигает двух- или трехзначных величин. Конечно, современные условия едва ли можно сравнивать с начальными этапами развития Земли, как и говорить об аллювиальном переносе самородного золота в раннем протерозое, когда сток был временным. Классический аллювий появился только в среднем палеозое с зарождением почв и растительности, после образования гидросети с постоянным водооттоком. Постоянство стока обязано формированию постоянных устойчивых почв. Без почвы (или ее подобия) все стоки были временными и, конечно, характеризовались иными закономерностями россыпеобразования.

Рассмотрим особенности благородной минерализации на сравниваемых территориях Южно-Африканской платформы и восточной части Сибирской платформы.

Бассейн Витватерсранд. Бассейн Витватерсранд имеет северо-восточное–юго-западное простирание и приурочен к древнему Каапваальскому кратону (рис. 1). В его строении принимают участие верхнеархейско-нижнепротерозойские образования. Кристаллический фундамент сложен архейскими зеленокаменными породами и комагнитовыми (местами подушечными) лавами, которые обнажаются вокруг гранитного купола Йоганнесбург. Гранодиоритовые и гранитные магмы, проникшие в две фазы (около 3,2 и 3,0 млрд лет назад) обнажаются в форме небольших холмов. Хребет Витватерсранд сложен кварцитами. Хотя рудоносные слои тонкие, они достаточно устойчивы и падают на юг под углом 30–40°, что связывают с падением в районе Вредефорт крупного метеорита (диаметр ~10 км) около 2,02 млрд лет назад. Бассейн Витватерсранд представляет собой северную каемку импактного кратера, все слои погружены внутрь, что способствовало сохранению золотоносных слоев от эрозии.

Фундамент перекрыт вулканитами и осадками группы Доминион (3,07 млрд лет). Основная масса золота заключена в образованиях супергруппы

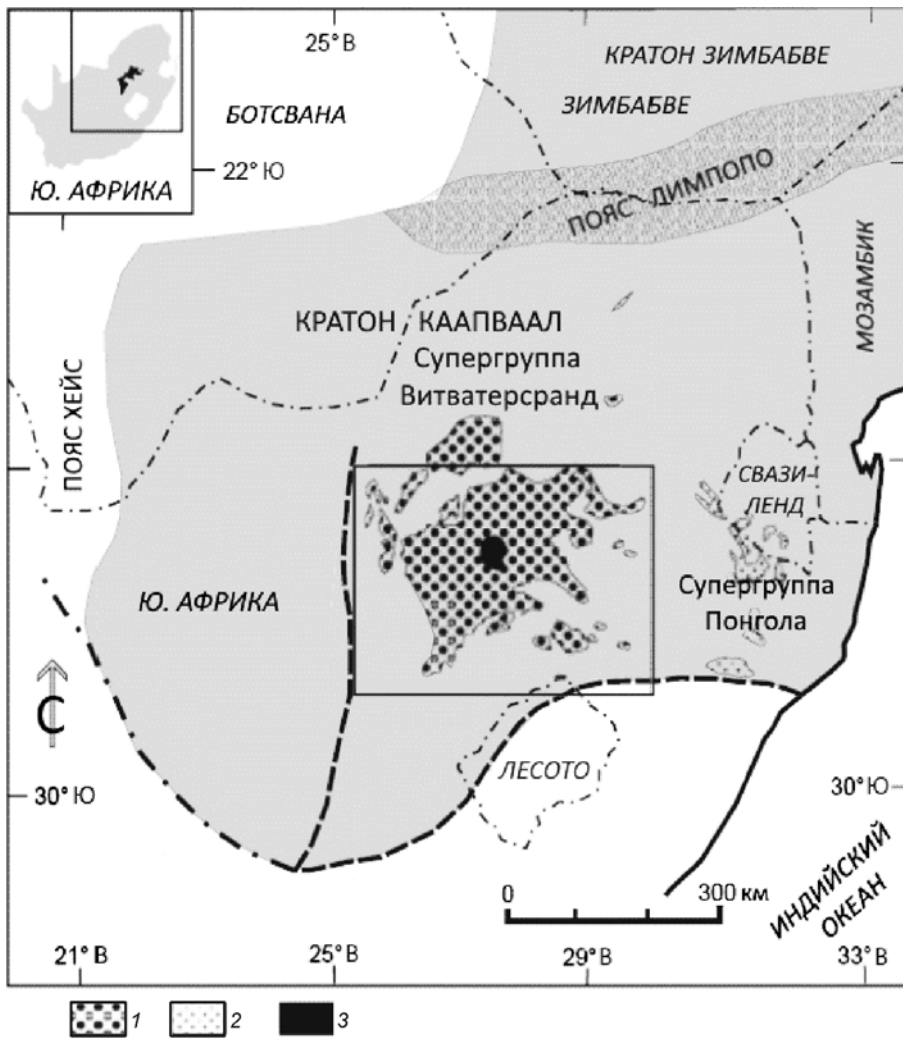


Рис. 1. Общий вид бассейна Витватерсранд, по данным [Frimmel, Minter, 2002]: 1 — супергруппа Витватерсранд, 2 — супергруппа Пангола, 3 — купол Вредефорт

Витватерсранд мощностью ~8 км. Ее разрез подразделяется на две толщи: более ранняя группа Вест Ранд (~2,95 млрд лет) сложена сланцами и песчаниками, перекрывающая группа Централ Ранд (около 2,85 млрд лет) представлена в основном аллювиальными песчаниками и золотоносными конгломератами [Robb, Robb, 1998].

Золотое оруденение в основном приурочено к группе Централ Ранд, сложенной конгломератовыми толщами, выделяемыми местными геологами как рифы. Золотоносные рифы здесь содержат большое количество пластов керогена или биологического угля, ассоциирующихся с периодами трансгрессивного осадконакопления. Эти образования несогласно перекрыты ультраосновными и основными породами, а также вулканитами и осадками позднеархейской супергруппы Вентерсдорп (~2,7 млрд лет). Формирование этого вулканического комплекса мощностью до 3,6 км сопровождалось широкомасштабными разрывными и складчатыми процессами на северной окраине бассейна Витватерсранд. Следующая толща сложена обломочными и карбонатными отложениями

раннепротерозойской супергруппы Трансваал (2,6 млрд лет) мощностью ~4,0 км. Комплексная осадочная толща в бассейне Витватерсранд метаморфизована в фацию зеленых сланцев [Шеглов, 1994; Jolley et al., 2004].

Рудоносны конгломераты с подчиненным количеством песчаников и кварцитов. Округленные в разной степени кварцевые гальки заключены в кремнистой матрице кварцевых зерен. Микроскопические частицы золота ассоциируют с пиритовыми зернами. Наиболее золотоносны конгломераты, сложенные окатанными и хорошо отсортированными по размеру гальками. Существует следующая зависимость: чем выше сортировка галечного материала в конгломератах, а также его сгруженность, тем выше в них содержание золота. Мощность рудных конгломератов колеблется от нескольких дециметров до нескольких метров; снизу они ограничены поверхностями размыва, часто с угловым несогласием, сверху — горизонтальным контактом с кварцевыми песчаниками или алевrolитами. Сравнение

мощности рифов и содержания в них золота показывает, что золото концентрируется в палеоруслах с максимальной мощностью конгломератов. Золото наряду с пиритом и уранинитом тесно ассоциирует с кластогенными минералами — окатанным цирконом и хромитом, высокие концентрации которых приурочены к поверхностям размыва [Frimmel, Minter, 2002]. Главный минерал матрикса конгломератов — кварц. Из нерудных минералов в цементе присутствуют серицит и хлорит, а также пирофиллит и хлоритоид, отмечены кальцит и доломит. Промышленные компоненты представлены золотом, уранинитом, урановой смолкой, тухолитом. Среди сульфидов в цементе преобладает пирит, в подчиненном количестве присутствуют пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, кобальтин, арсенопирит, линнеит. В тяжелой фракции обычны хромит, ильменит, гранаты, шпинели, монацит, циркон, турмалин, пирохлор, рутил, касситерит.

Золото очень разнообразно по форме и размеру выделений — отмечаются округлые, сфероидальные, дискообразные и тороидальные

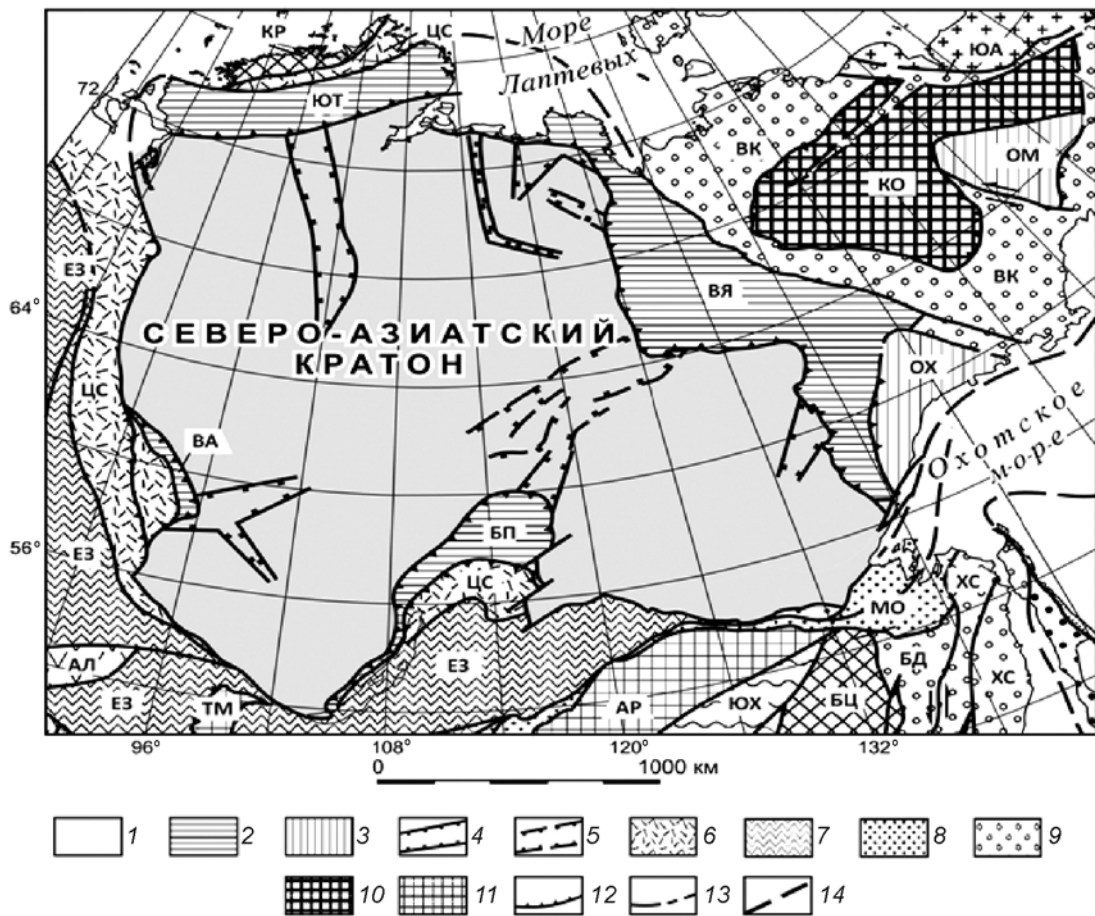


Рис. 2. Схема Северо-Азиатского кратона и его обрамления. Модифицирована по данным [Парфенов и др., 2003]: 1–2 — фрагменты кратона: 1 — Сибирская платформа, 2 — опущенная окраина кратона (складчато-надвиговые пояса); 3 — микроконтинент; 4–5 — авлакогены: 4 — рифейские, 5 — девонские; 6–9 — орогенные пояса: 6 — позднерифейский, 7 — позднекембрийско-раннеордовикский, 8 — позднепалеозойско-раннемезозойский, 9 — среднемезозойский; 10 — древний массив; 11 — супертеррейн; 12 — надвиги; 13 — сдвиги; 14 — прочие разломы. Буквенные обозначения: ВЯ — Верхоянский, БП — Байкало-Патомский, ЮТ — Южно-Таймырский, ВА — Восточно-Ангарский; орогенные пояса различного возраста: ЦС — Циркумсибирский, ЕЗ — Енисей-Забайкальский, АЛ — Алтайский, МО — Монголо-Охотский, ВК — Верхояно-Колымский, ЮА — Южно-Ануйский, БД — Баджалский, ХС — Хонсю-Сихотэалинский; КО — Колымо-Омолонский, ОХ — Охотский, ОМ — Омолонский, АР — Аргунский, ТМ — Тувино-Монгольский, БЦ — Буреинско-Цзямусинский, КР — Карский

зерна (присутствие последних свидетельствует об эоловых условиях транспортировки). Размеры кластогенных зерен достигают 1 мм. Наряду с этим обычны выделения неправильной формы, дендритовые агрегаты, выполнение трещин, эвгедральное нарастание на пирите или включение во вторичный пирит. Основная масса золота заключена в нижней части рифов вблизи контактов с лежащим боком. Однако форма золотин и общая структура золотоносных слоев не обнаруживают типичных осадочных признаков, по-видимому, в связи с тем, что последующий метаморфизм привел к заметным структурным изменениям вмещающих пород и замаскировал первичный аллювиальный характер оруденения.

Главнейшие золотоносные образования — маломощные (толщина не более 1–1,5 м) толщи Майн-Риф Лидер и Саут, а также мощная толща собственно Майн-Риф, которую сначала игнорировали из-за малого содержания золота. Во многих других слоях также рассеяно очень тон-

козернистое золото, перспективы его дополнительной добычи (причем в весьма существенном количестве) — вопрос всего лишь стоимости его извлечения.

Вопрос происхождения золота Витватерсранда активно обсуждается вот уже в течение свыше 100 лет, с момента его открытия. Месторождения изучали очень многие зарубежные (Х. Фриммел, Д. Халлбауэр, С. Джолли, М. Шидловски др.) и отечественные (В.И. Смирнов, Н.А. Шило, М.С. Сахарова, А.Д. Щеглов, М.М. Константинов, М.И. Симанович, Ю.Г. Сафонов и др.) исследователи. Среди взглядов на генезис месторождений выделяются два крайних — осадочный (П. Рамдор и др.) и гидротермальный (К. Дэвидсон и др.).

Многие исследователи признают, что большая часть или даже все золото — поздний продукт. Одни ученые считают, что золото было изначально обломочным и затем местами ремобилизовано на незначительное расстояние, другие, наоборот, рассматривают его как гидротермальный продукт

с золотом, заимствованным из рассеянного материала или источника вне бассейна. В связи с этим отметим работы одного из первых исследователей Витватерсранда Л. Де Лонэ [De Launay, 1896]. Он обобщил все предложенные к тому времени гипотезы происхождения золота на этом месторождении и объединил их в три модели: 1) россыпную; 2) осадочную; 3) инфильтрационную.

Противоречия в интерпретации происхождения золота Витватерсранда могут быть разрешены на базе модифицированной россыпной модели Де Лонэ [1903], согласно которой золото сначала концентрируется в рифах как обломочный тяжелый минерал, затем ремобилизуется и переотлагается в процессе поздних гидротермальных процессов [Master, 2003]. Эта модель была успешно использована для прогноза местоположения и продолжения промышленных рудных залежей.

Возраст частиц первичного золота из вентерсдорпских гранитов, определенный Re—Os изотопным методом [Kirk et al., 2001], оценивается в 3,1 млрд лет, что древнее рудовмещающих пород и указывает на обломочное происхождение этого металла. Следовательно, золото Витватерсранда имеет мантийное происхождение. Однако существуют также свидетельства связи золоторудной и платиноидной минерализации с гидротермальной ремобилизацией в период между 2,5 и 2,2 млрд лет назад, когда рассматриваемый регион подвергался катастрофическим геотектоническим воздействиям. Иными словами, преобразование золота происходило на разных этапах метаморфизма осадочных отложений в раннем протерозое, пики которых совпадают, например, с вентерсдорпским вулканизмом (~2,7 млрд лет назад), внедрением Бушвельдского интрузивного комплекса (~2,05 млрд лет назад) и вredefortским импактным событием (~2,02 млрд лет назад). Присутствие новообразованных маккинавита и хлоритоида в конгломератах указывает, что эти преобразования происходили при температуре не менее 210–250 °С. Довольно хорошая окатанность и дифференциация обломочной составляющей конгломератов Витватерсранда обусловлена, по-видимому, речной, прибрежно-морской или эоловой обработкой [Избеков и др., 2006]. Характер распространения золота однозначно указывает на его первично аллювиальное происхождение и дальнейшую прибрежно-морскую транспортировку, но структура золотоносных слоев обычно лишена типичных осадочных черт из-за указанных преобразований.

Северо-Азиатский кратон. Северо-Азиатский кратон представляет собой сформированный в докембрии крупный (несколько миллионов квадратных километров) участок земной коры континента (рис. 2). Этот кратон включает древнюю Сибирскую платформу и внешние зоны (складчато-надвиговые пояса) обрамляющих

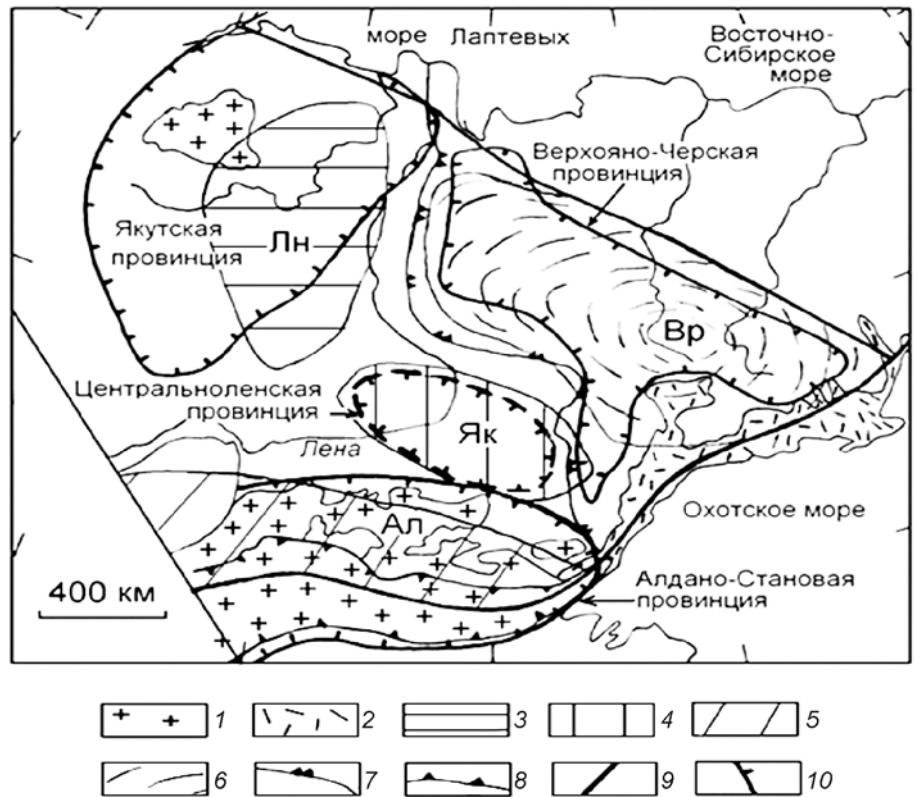
орогенных поясов. Внешние зоны отделены от платформы фронтальными надвигами или моноклиналями, в палеотектоническом отношении они соответствуют пассивным континентальным окраинам [Косыгин и др., 1964; Парфенов и др., 2003; Стогний, Стогний, 2005].

В пределах Северо-Азиатского кратона, описываемого также как Анабаро-Алданский кратон [Избеков и др., 2006], или Сибирский кратон [Розен и др., 2006], выделяются Тунгусская, Анабарская, Маганская, Оленекская, Байкальская, Алданская и Становая тектонические провинции. Они сложены архейской, протерозойской и палеозойско-мезозойской геологическими формациями. На западном и восточном флангах территории по геофизическим данным выделяют две глобальные структуры — Сибирский палеоплюм на западе и Верхоянский — на востоке. Между ними в фанерозое формировались Алданская коро-мантийная область деструкции литосферы, Верхоянская верхнемантийная астенолинза, а также Ленский и Якутский литосферные корни. Эволюция Верхоянского палеоплюма на восточной окраине Северо-Азиатского кратона обусловила развитие рифтогенных структур и их последующий переход в осадочный бассейн.

Уникальность минерации Северо-Азиатского кратона заключается в полярных закономерностях размещения крупных месторождений в Якутской алмазонасной и Алдано-Становой и Верхояно-Черской золотоносных провинциях. Восточная часть Северо-Азиатского кратона содержит месторождения золота Алдано-Становой и Верхояно-Черской провинций, приуроченные к юго-восточному и восточному флангам кратона соответственно, в центральной части которого расположена Якутская алмазонасная провинция (рис. 3). Анализ элементов литосферы в этом регионе показывает, что в контурах Ленского литосферного корня расположена Якутская алмазонасная провинция, в контурах Верхоянской верхнемантийной астенолинзы — Верхояно-Черская золотоносная провинция, а в контурах Алданской коро-мантийной области деструкции литосферы — Алдано-Становая золотоносная провинция. Таким образом, намечается определенная роль литосферных элементов в размещении месторождений золота и алмаза в пределах Северо-Азиатского кратона [Стогний, Стогний, 2005].

В металлогении этого региона выделяют три главных этапа, повлиявших на закономерности размещения месторождений: позднеархейский, раннепротерозойский и мезозойский. В позднеархейский этап возникли зеленокаменные пояса в континентальной гранит-зеленокаменной коре с проявлениями золота в железистых кварцитах и метабазах. Оруденение раннепротерозойского этапа ассоциирует с метабазовыми комплексами. Таким образом, основа металлогении золота этого

Рис. 3. Схема рудоконтролирующих геодинамических систем литосферы восточной части Сибирского кратона, по [Стогний, Стогний, 2011]: 1 — выходы метаморфических раннедокембрийских пород; 2 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 3–6 — рудоконтролирующие геодинамические системы литосферы: 3 — Ленский (Лн) литосферный корень, 4 — Якутский (Як) литосферный корень, 5 — Алданская (Ал) область деструкции, 6 — Верхоянская (Вр) верхнемантийная астенولينза; 7 — восточная граница Сибирской платформы; 8 — границы Станового гранулит-гнейсового пояса; 9 — глубинные ограничения восточной части кратона; 10 — контуры золоторудных провинций



региона образовалась в раннем докембрии и ассоциирует с зеленокаменными поясами и гранулит-гнейсовыми комплексами с metabазитами.

Месторождения мезозойского этапа в связи с благоприятным эрозионным срезом наиболее продуктивны на золотое оруденение в настоящее время не только в пределах Алданского щита, но всего Северо-Востока России. В это время в обстановке деструкции коро-мантийной области и гранитизации в возникших ранее гранитогнейсовых куполах проявился щелочной магматизм, мобилизовавший золото из раннедокембрийских пород и переотложивший его в породах платформенного чехла. Локальные модели металлогенических зон, сформировавшихся в мезозое в Алдано-Становой и Верхояно-Черской провинциях, базируются на следующих параметрах рудогенеза: 1) межблоковые разломы, к которым часто приурочены прогибы с черносланцевыми формациями; 2) наличие блоков высокоплотных пород верхоянского комплекса, фиксируемых локальными гравитационными максимумами; 3) присутствие гранитогнейсовых куполов в кристаллическом фундаменте, выделяющихся в контурах гравитационных минимумов [Стогний, Стогний, 2011].

Деструктивные процессы на восточной и юго-восточной окраинах Северо-Азиатского кратона в мезозойский тектоно-магматический этап, вызванные функционированием Верхоянской верхнемантийной астенولينзы и Алданской коро-мантийной области разуплотнения литосферы, стали благоприятными факторами для формирования высокой золотоносности в этих провинциях. Выявленные

в литосфере этого региона разноглубинные рудоконтролирующие структуры (литосферный корень, плюм, астенولينза, гранитогнейсовый купол, массивы магматических пород) отвечают как за образование месторождений золота, так и за распределение золоторудных провинций. Например, все рудопроявления и месторождения золота в пределах Верхояно-Черской золотоносной провинции находятся внутри контура Верхоянского гравитационного минимума, приуроченного к системе глубинных разломов (рис. 4). Выделяемые в этом регионе Алдано-Становая и Верхояно-Черская золотоносные провинции приурочены к юго-восточному и восточному флангам кратона соответственно, в центральной части которого расположена Якутская алмазоносная провинция. Имеющиеся данные указывают на взаимосвязь золоторудных месторождений этих провинций с глубинными элементами литосферы [Стогний, Стогний, 2005].

Перерыв в геологическом разрезе в восточной части Сибирской платформы между археем и более поздними отложениями свидетельствует о неоднократном размыве фундамента. Тяжелая фракция осадков от разрушения фундамента отлагалась вблизи районов денудации на склонах погружающихся структур и захоронена последующими отложениями, а также бронирована лавами основного состава. В Северо-Азиатском кратоне рассматриваемые золотоносные толщи, вероятно, погребены вблизи Анабарского щита, Оленекского поднятия, Якутского и Сунтарского выступов (рис. 5).

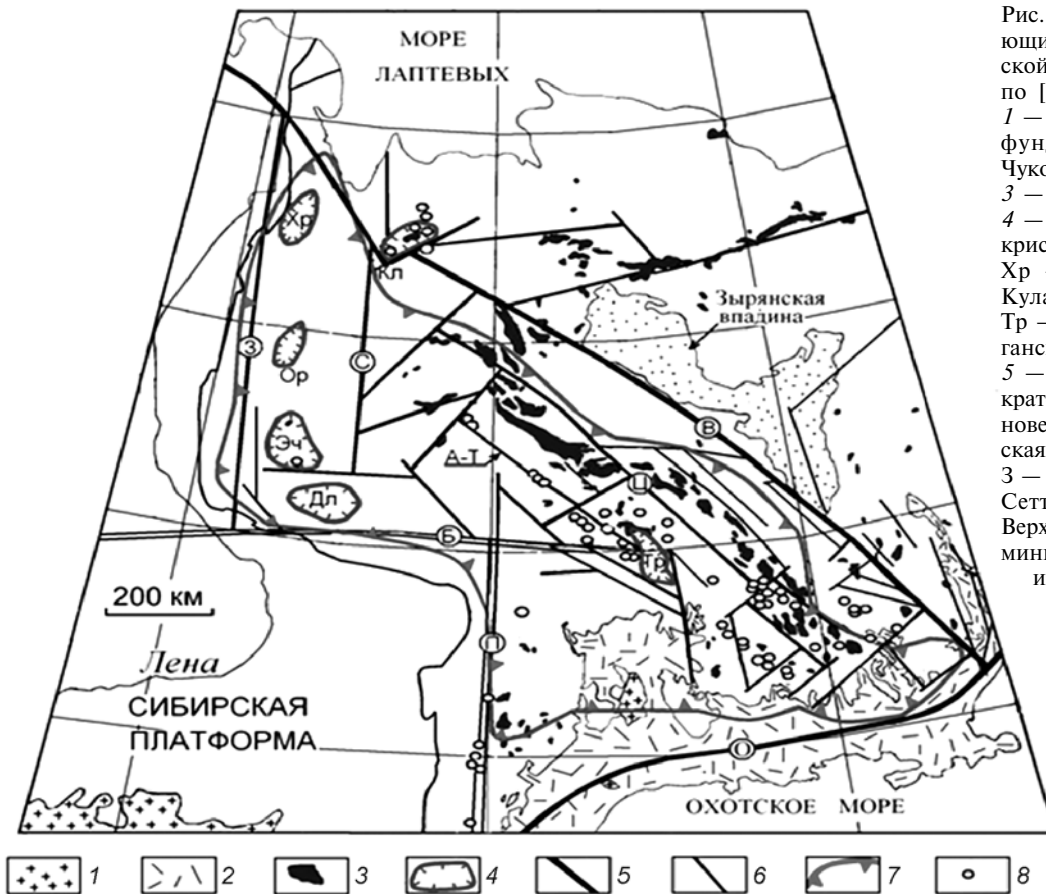


Рис. 4. Схема рудоконтролирующих структур Верхояно-Черской золотоносной провинции, по [Стогний, Стогний, 2011]: 1 — выходы кристаллического фундамента; 2 — Охотско-Чукотский вулканический пояс; 3 — мезозойские гранитоиды; 4 — гранитогнейсовые купола кристаллического фундамента: Хр — Хараулахский, Кр — Куларский, Эч — Эчийский, Тр — Тарынский, Ор — Орулганский, Дл — Дулганахский; 5 — глубинные ограничения кратона (сутуры): В — Восточноверхоянская, О — Охотоморская; 6 — глубинные разломы: 3 — Западноверхоянский, П — Сеттедабанский; 7 — контур Верхоянского гравитационного минимума; 8 — месторождения и рудопроявления золота

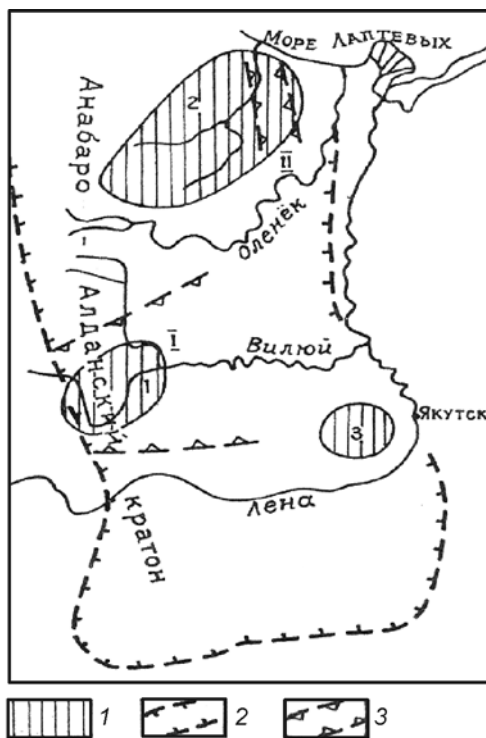


Рис. 5. Размещение ореолов рассеяния самородного золота с попутной платиноидной минерализацией в Северо-Азиатском кратоне: 1 — ореолы рассеяния с самородным золотом; 2 — примерные границы Анабаро-Алданского кратона; 3 — границы рифтов: I — Вилуйского, II — Уджинского

Прогнозная на благородно-металльное оруденение площадь охватывает обширную территорию в области сочленения 5 тектонических провинций: Магаданской, Анабарской, Оленекской, Байкальской и Алданской. В пределах этой территории мы выделяем три перспективные зоны с ореолами рассеяния самородного золота с попутными минералами платиновых металлов [Избеков и др., 2006]: Сунтарская в Вилуйской впадине, Анабаро-Уджинская на Анабарском щите и Якутская в западной части Якутского выступа фундамента Сибирской платформы.

В тяжелой фракции шлихов из мезозойско-кайнозойских россыпей проявлений Вилуйской впадины доминирует метаморфический комплекс аксессуаров — дистен, ставролит, циркон, эпидот, ильменит, лейкоксен, т.е. минералов протопород древнего платформенного фундамента. Так, тяжелая фракция шлихов из четвертичного россыпей проявления Далыгыр представлена ильменит-альмандин-цирконовой ассоциацией, которая весьма устойчива к выветриванию и перетолжению.

Сортировка частиц самородного золота на этой территории в целом и совершенство обработки здесь золотин в частности свидетельствуют о пребывании их в прибрежно-морской или золовой обстановке [Избеков, 1972]. Особо отметим, что среди «шлихового» золота Вилуйской впадины встречаются сростки окатанных

золотин, весьма характерные для ископаемых конгломератов.

Косвенное подтверждение наличия богатых источников самородного золота в основании платформенного фундамента рассматриваемых перспективных участков Сибирской платформы — оценка громадных потенциальных ресурсов самородного золота с попутной платиновой металлоносностью в укугутской свите раннеюрского возраста в Вилюйской впадине.

Результаты исследований и их обсуждение. Для восточной части Сибирской платформы, т.е. для прогнозируемых нами перспективных площадей следует смоделировать строение сибирских «рандов» — протяженных гряд, сложенных золотоносными рудными залежами. Согласно модели одна сторона такой гряды постепенно, с цикличностью 30–40 млн лет, опускается, при этом формируются осадочные толщи, включая металлоносные, а противоположная (архейская) сторона с такими же цикличностью, скоростью и денудацией выветрелых металлоносных пород поднимается. Указанное происходит несколько раз приблизительно за 3 млрд лет. Наиболее благоприятным критерием для поисков и разведки аналогов Витватерсранда считается присутствие рядом с ними краевых гранитных куполов позднеархейского возраста, а также перемещение гидротерм (флюидов) из нижних этажей золотоносных горизонтов в верхние толщи.

Сравниваемые объекты расположены в центральных частях субмеридиональных Анабаро-Алданского и Южно-Африканского кратонов соответственно. На ранних этапах развития они были рассечены субдиагональными подвижными поясами, выделенными как Вилюйский и Трансваальский рифты, с многократными излияниями эффузивных и интрузивных траппов. Внутри обоих рифтов есть выступы фундамента — Сунтарский и Якутский в Вилюйском и Вредефортский и Эвандер в Трансваальском рифтах. В пределах кратонов выделяются ранне- и древнеархейские зеленокаменные пояса. В обоих кратонах нижнепротерозойские отложения насыщены толщами амигдалоидов, в некоторых местах они перекрывают золотоносные рифы (горизонты). Интрузивные и эффузивные основные магматиты характерны для всей геологической истории развития обоих кратонов, особенно по границам рифтов, прогибов и поднятий.

На северо-восточном замыкании рифта Витватерсранд расположен гигантский Бушвельдский расслоенный массив, с которым генетически связаны крупнейшие месторождения платиновых металлов, включая риф (горизонт) Меренского, а также гигантские месторождения хромитов и железо-титано-ванадиевых руд, попутные платиновым металлам, уникальные по запасам месторождения золота и медно-никелевых сульфидных руд

и других полезных ископаемых [Разин, Избеков, 1998]. Геофизические данные указывают на наличие в северо-восточном торце Вилюйской впадины (в бассейне р. Тюнг) погребенного аналога Бушвельдского массива [Мишнин, Истомина, 2002].

В геологическом разрезе Витватерсранда присутствует большое количество пластов кварцита и долеритов (амигдалоидов), а в пределах Северо-Азиатского кратона отмечены олигомиктовые конгломераты. В мезозойско-кайнозойских отложениях Вилюйской впадины и ее обрамления в значительном количестве зафиксированы отлично окатанные обломки кварцитов в составе конгломератов и галечников, залегающих на обширных площадях и контролирующих золотоносность с попутной платиновой металлоносностью поздних эпох. Присутствие в большом количестве гальки такого состава дает основание утверждать, что здесь имел место частичный и даже полный размыв золотоносных кварцитовых толщ нижнего протерозоя.

Кроме того, весьма сходен и гранулометрический состав частиц самородного золота на металлоносных полях рассматриваемых древних платформ. Сортировка частиц самородного золота на территории Вилюйской синеклизы свидетельствует о том, что они пребывали в прибрежно-морской или эоловой обстановке, что отмечают также и для формирования золотоносных рифов Витватерсранда за счет размыва шельфовых россыпей [Minter, 1999]. Тороидальный и пустотелый типы частиц самородного золота размером 0,1–0,16 мм, широко распространенные в разновозрастных отложениях Западной Якутии, присутствуют и в золотоносных рифах системы Витватерсранд.

Деформированные золотины выявлены на всех трех выделенных нами перспективных площадях в восточной части Сибирской платформы. Необычная стойкость и сродство древнейшего перекристаллизованного самородного золота подтверждается повышенной твердостью его индивидуализированных выделений в их торцовых частях, а химическая стойкость золотин — длительностью травления их в царской водке (100 с) при сравнении с быстрым (5 с) растворением самородного золота мезозойского возраста.

В составе самородного золота сравниваемых южноафриканских и сибирских разрезов постоянно присутствуют элементы платиновой группы и ртуть. Унаследованность тяжелых фракций золотоносных кайнозойских осадочных образований Вилюйской впадины от докембрийских отложений подтверждается их аномально повышенной радиоактивностью.

Исследования золотоносности с попутной платиновой металлоносностью в Вилюйской впадине [Избеков, 1972; Трушков и др., 1975; Разин, Избеков, 1998; Разин, 2000] выявили следующие черты сходства с золотыми месторождениями Витватерс-

ранда: а) преобладание в составе платиноидной минерализации представителей групп осмистого иридия и самородной платины при сходных размерах частиц минералов платиновой группы и золота (<0,1 мм); б) схожесть морфологии зерен распространенных минералов платиновой группы (преимущественно округлые и пластинчатые); в) особенности морфологии и гранулометрического состава частиц и золота и минералов платиновой группы, свидетельствующие о высокой степени их сортировки в результате многократных переотложений; г) аналогия типохимизма специфических примесей, прежде всего Rh и Pt в самородном золоте, Rh и иногда Ru — в изоферроплатине; д) близкий уровень максимальной концентрации «шлиховой» платины: 150–300 мг/м³ в вилуйских объектах из современных россыпей и от 1 до 20 г/т в юрских литифицированных грубообломочных конгломератах укугутской свиты; е) как правило, близкий уровень соотношения суммы элементов платиновой группы с золотом — 1:100, ж) первичное происхождение преобладающих минералов платиновой группы и их спутников — хромшпинелидов, ильменитов, пентландитов, пирротитов, халькопиритов из ультрамафитов и мафитов архейских зеленокаменных трогов, пересекаемых среднепалеозойскими и раннемезозойскими интрузивами [Разин, Избеков, 1998].

Как для золотоносных конгломератов Витватерсранда, так и для платиноидно-золоторудных россыпей и металлоносных укугутских конгломератов Вилуйской впадины весьма характерны минеральные триады, показательные для рифтогенных структур, — самородное золото + минералы платиновой группы + кластогенные алмазы. Минеральный состав главных по распространенности минералов платиновой группы во всех трех выделенных нами россыпных ореолах Анабаро-Алданского кратона близок и подобен таковому в месторождениях Витватерсранда, что свидетельствует о схожести их первичных коренных источников.

Заключение. Перспективы открытия на территории России золотоносного месторождения вит-

ватерсрандского типа не представляются безнадежными. В центре внимания исследователей должны быть древнедокембрийские (архейские) кварцевые терригенные комплексы, представляющие собой переотложенные остаточные продукты выветривания архейских гранит-зеленокаменных областей, содержащих кварцевые золотоносные жилы.

На основе анализа имеющихся данных и собственных геолого-геофизических исследований мы выделяем на востоке Сибирской платформы в пределах Северо-Азиатского (Анабаро-Алданского) кратона три крупные площади шлиховых ореолов рассеяния самородного золота с попутными минералами платиновых металлов, которые перспективны для промышленного золотого оруденения с попутной платиновой минерализацией: Сунтарскую в Вилуйской впадине, Анабаро-Уджинскую на Анабарском щите и Якутскую в западной части Якутского выступа фундамента Сибирской платформы. Первоочередным объектом исследования могла бы стать западная часть Алданского щита.

Для организации на северо-востоке Сибирской платформы полноценных геолого-поисковых работ на обнаружение аналогов крупных комплексных золотых месторождений типа Витватерсранда необходимо учитывать полихронность и полигенность перспективных объектов. В соответствии с принципом подобия при этом нужно оценивать возможность формирования на относительно небольшом пространстве довольно однородной (либо меняющейся) среды многоэтажных россыпных комплексных золотых месторождений с возрастным интервалом до 300 млн лет. Перерыв в геологическом разрезе в северо-восточной части Сибирской платформы между археем и более поздними периодами свидетельствует о неоднократном размыве фундамента. Рассматриваемые золотоносные толщи, вероятно, погребены вблизи Анабарского щита, Оленекского поднятия, Якутского и Сунтарского выступов. Они могут быть обнаружены на крутых перегибах склонов выступов фундамента на глубине до 1 км. Конкретизация их местоположения возможна лишь с помощью целенаправленных геолого-поисковых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Избеков Э.Д. Особенности россыпного золота Вилуйской синеклизы и прилегающих районов // Россыпи золота и их связи с коренными источниками в Якутии. Якутск, 1972. С. 178–199.

Избеков Э.Д., Подъячев Б.П., Разин Л.В. Проблема выявления в пределах Анабаро-Алданского кратона Сибирской платформы аналогов золотых гигантов с попутной платиновой металлоносностью — месторождений типа Витватерсранда // Изв. секции наук о Земле РАЕН. 2006. Вып. 14. С. 19–28.

Косыгин Ю.А. Докембрийская тектоника Сибири. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. 127 с.

Кудрявцев В.А., Казанский Ю.П., Тимофеев В.И. и др. Золотоносность докембрия востока Сибирской плат-

формы // Литология и осадочные полезные ископаемые докембрия Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: СНИИГГИМС, 1973. С. 157–169.

Мишин В.М., Истомина И.Н. Новые промышленные типы высококонцентрированного оруденения в глубинных структурах Якутии // Состояние и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса Республики Саха (Якутия) в современных условиях. Якутск: Госкомгеология, 2002. С. 89–92.

Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.

Разин Л.В. Россыпная платиновая металлоносность России от Урала до побережья Тихого океана // Россыпи, источники, их генезис и перспективы. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. С. 107–123.

Разин Л.В., Избеков Э.Д. Генезис платиноносности Виллюйской синеклизы (Сибирская платформа) // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления. Иркутск, 1998. С. 161–162.

Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. М.: Научный мир, 2006. 212 с.

Сакия Д.Р., Старостин В.И. Золото Витватерсранда: сто с лишним лет спустя // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. Т. 1. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 107–122.

Старостин В.И., Пельмский Г.А., Сакия Д.Р. Золотоносность железистых кварцитов Восточно-Европейской платформы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2007. № 2. С. 3–14.

Старостин В.И., Сорохтин О.Г., Сакия Д.Р. Развитие Земли и образование месторождений полезных ископаемых. М.: МАКС Пресс, 2010. 476 с.

Стогний Г.А., Стогний В.В. Структура юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона. Т. 2. М.: ГЕОС, 2005. С. 238–241.

Стогний Г.А., Стогний В.В. Региональные рудо-контролирующие геодинамические системы золотого оруденения Северо-Востока России: геолого-геофизический аспект. Современное состояние наук о Земле. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. С. 1788–1991.

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

Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Тимофеев В.И., Попова А.И. Золотоносность Виллюйской синеклизы и ее обрамления. Новосибирск: Наука, 1975. 260 с.

Щеглов А.Д. О металлогении Южно-Африканской республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранда и проблеме открытия их аналогов в России. СПб.: ВСЕГЕИ, 1994.

De Launay L. Les Mines d'or du Transvaal. P.: Baudry et Cie, 1896. 540 p.

Frimmel H.E., Minter W.E.L. Recent developments concerning the geological history and genesis of the Witwatersrand gold deposits, South Africa // Soc. Econ. Geol. 2002. Spec. Publ. 9. P. 17–45.

Jolley S.J., Freeman S.R., Barnicoat A.C. et al. Structural controls on Witwatersrand gold mineralization // J. Struct. Geol. 2004. Vol. 26. P. 1067–1086.

Kirk J., Ruiz J., Chesley J. et al. A detrital model for the origin of gold and sulfides in the Witwatersrand basin based on Re–Os isotopes // Geochim. Cosmochim. Acta. 2001. Vol. 65. P. 2149–2159.

Master S. Louis de Launay and the debate on the origin of the Witwatersrand gold (1896–1903): What has changed in a hundred years? (Economic Geology Research Institute Information Circular N 375). Johannesburg: Univ. Witwatersr., 2003. 32 p.

Minter W.E.I. Irrefutable detrital origin of Witwatersrand gold and evidence of eolian signatures // Econ. Geol. 1999. Vol. 94. P. 665–670.

Robb L.J., Robb V.M. Gold in the Witwatersrand basin // The Mineral Resources of South Africa Handbook. 1998. Vol. 16. P. 294–349.

Поступила в редакцию
07.12.2015