

УДК 553.411.068.5'499(571.61/.62)

О КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ПАЛЕОРОССЫПЕЙ ВИТВАТЕРСРАНДА (Южная Африка)

Степанов В. А.

*ФГБУН Научно-исследовательский геотехнологический центр,
г. Петропавловск-Камчатский
E-mail: vitstepanov@yandex.ru*

Рассмотрены палеороссыпи Витватерсранда, а также современные россыпи и источники их образования в Унья-Бомском районе Приамурской провинции, содержащие высокортутистое золото. В месторождениях Витватерсранда находится высокопробное золото со значительным содержанием ртути. Коренные источники не известны. В Унья-Бомском районе при разрушении рудных тел и переходе высокопробного ртутистого золота в россыпи состав его сохраняется, за исключением образующейся в россыпях высокопробной оболочки, из которой благодаря электрохимической коррозии выносятся серебро и ртуть. При транспортировке в россыпях до 25 км высокое содержание ртути в центральной части золотин отвечает рудному золоту. Сделана попытка типизировать один из возможных источников кластогенного золота палеороссыпей Витватерсранда. Им могло быть золото-кварцевое оруденение с высокортутистым золотом, аналогичное распространенному в Унья-Бомском районе Приамурья.

Ключевые слова: ртутистое золото, пробность золота, россыпи, Витватерсранд, Унья-Бомский рудно-россыпной район.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-2-14-25

ВВЕДЕНИЕ

В провинции Витватерсранд (Южная Африка) расположены крупнейшие в мире месторождения золота, которые большинство исследователей относят к метаморфизованным палеороссыпям. Золото в палеороссыпях содержит значительную примесь ртути (первые проценты). Первичный источник золота не известен. Для решения вопроса о коренных источниках Витватерсранда рассмотрены современные россыпи с ртутистым золотом и известными коренными источниками, расположенные в Унья-Бомском рудно-россыпном районе Приамурской золотоносной провинции, с дальнейшим применением принципа актуализма по отношению к палеороссыпям Витватерсранда.

РТУТИСТОЕ ЗОЛОТО ВИТВАТЕРСРАНДА

Расположенная в Южной Африке золотоносная провинция Витватерсранд является наиболее богатой в мире. Это абсолютно крупнейшее сосредоточение золота в структурах Земли, в котором находится около 70 тыс. т золота. Из них 40 тыс. т, начиная с 1886 г., уже добыто (Марфунин, 1987). Золото Витватерсранда почти целиком сосредоточено в конгломератах. Содержание в них золота составляло от 8 до 20 г/т, иногда доходило до 3000 г/т. Несмотря на более чем

стоletние исследования месторождений провинции, до сих пор не кончаются споры о генезисе золота Витватерсранда. Большинство местных геологов поддерживают гипотезу наличия здесь палеороссыпей. Но существуют и другие гипотезы, например, гидротермально-осадочная (Hutchinson, Viljoen, 1988) или гидротермально-осадочно-метаморфическая модель рудообразования (Щеглов, 1995; Константинов, 2000; Кременецкий, 2001). В отличие от них Н. А. Шило относит Витватерсранд к месторождениям гидротермально-метасоматического генезиса. Публикации по изотопии серы, кислорода и углерода не сняли вопрос об источниках поставки золота, выявили отдельные источники поставки золота и урана и подтвердили действие в архее фотосинтеза как механизма пополнения кислорода в атмосфере (Косовец, 2015). В некоторых работах обосновывается магматическая модель формирования руд месторождения (Маракушев и др., 2012; Долгушин, Долгушин, 2017). В публикациях в качестве аналога Витватерсранда рассматривается Колымский золоторудный пояс. Оруденение обеих провинций отнесено к кварцево-жильной формации. Хорошо зная золотое оруденение Центральной Колымы, автор относится к этому сравнению скептически.

Рассматриваемая провинция приурочена к крупной мульде или синклинорному прогибу в центральной части Каапвальского кратона. Прогиб вытянут в северо-восточном направлении

на 400 км при ширине около 200 км (рис. 1). Он представляет собой эрозионный останец от значительно более обширного бассейна, который формировался в течение длительного интервала времени (3074–2714 млн лет) в центральной и южной частях Каапвальского кратона (Robb, Meyer, 1995). Судя по форме бассейна и расположению в нем золотоносных районов, провинция представляет собой северо-западную половину крупной структуры центрального типа. Площадь провинции (80 тыс. км²) мала по сравнению с другими золотоносными провинциями мира, но масштабы золотого оруденения уникальны. Прогиб осложнен куполовидными структурами, в которых выходят на поверхность гранитоиды и гнейсы основания. Выше располагается толща терригенно-осадочных пород архея системы Витватерсранд, представленная ритмичным чередованием конгломератов, кварцитов, песчаников и сланцев с горизонтами основных и кислых эффузивов. Мощность ее около 8 км. Нижний отдел системы Витватерсранд (Доминион, Западный Ранд) состоит преимущественно из тонкозернистых кварцитов и сланцев, а верхний (Центральный Ранд) насыщен грубообломочны-

ми фациями, в том числе рудоносными конгломератами, именуемыми рифами. В Центральном Ранде заключены основные горизонты конгломератов – Майн, Майн Лидер, Южный и Карбон Лидер. Эти отложения разбиты многочисленными разломами, сопровождаемыми приразломной складчатостью.

В разрезе осадочных толщ конгломераты составляют не более 0.2 % мощности, слагая 16 самостоятельных горизонтов (рифов), к которым приурочено золотое и урановое оруденение с сопутствующими осмиридами и алмазами. Главные ресурсы золота располагаются в конгломератах Центрального Ранда (Central Rand Group); их добыча ведется шахтным способом в пределах семи золотоносных районов. Рудоносные конгломераты (рифы) прослежены по простиранию примерно на 350 км в дугообразно изогнутой к северо-западу полосе. Слои наклонены к центру этой полукольцевой структуры под углом от 25–30° до (реже) 70–80°. Они отрабатываются шахтами до глубины почти 4000 м.

Рудные горизонты представляют собой руслообразные в плане линзы и полосы. Мощность рудных горизонтов изменяется от не-

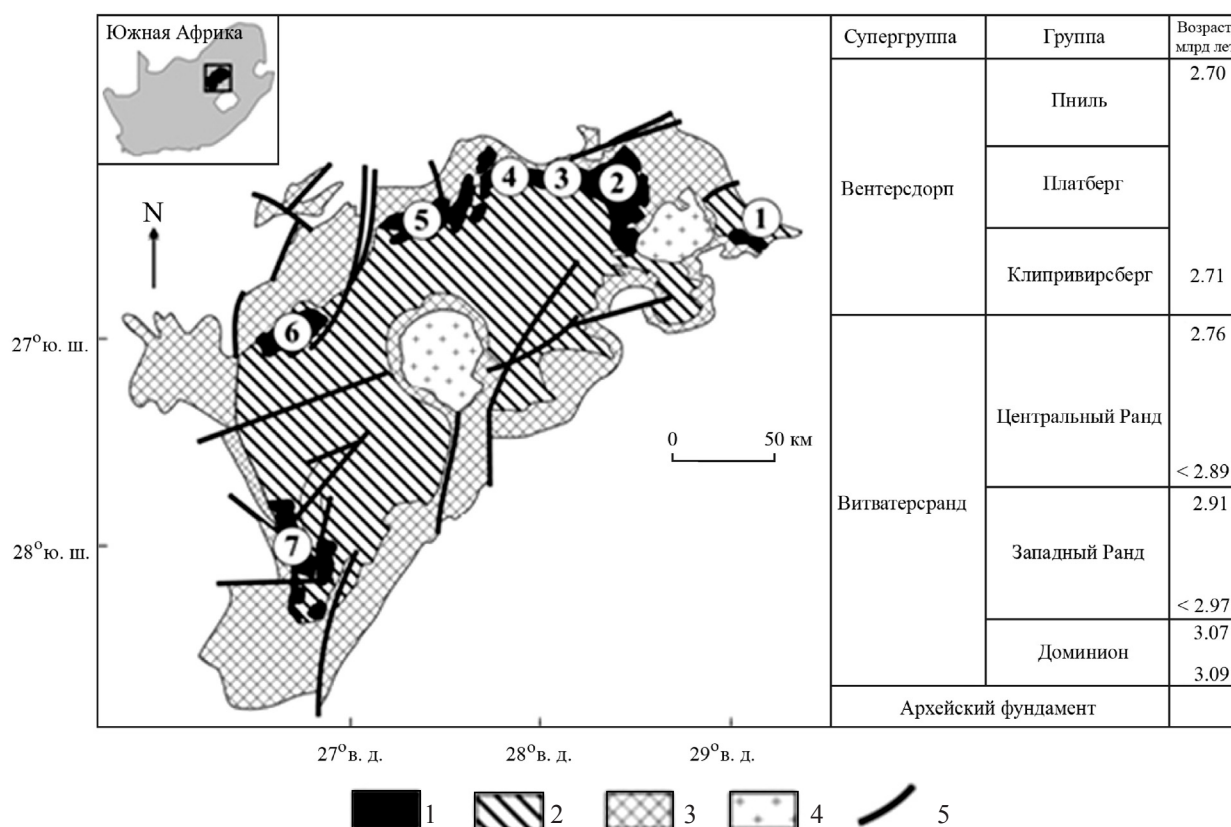


Рис. 1. Схематическая карта Витватерсрандской провинции (Frimmel, Minter, 2002): 1 – золотоносные районы и их номера (1 – Эвандер, 2 – Восточный Ранд, 3 – Центральный Ранд, 4 – Западный Ранд, 5 – Карлетонвилл, 6 – Клерксдорп, 7 – Велком), 2 – Центральный Ранд, 3 – Западный Ранд и Доминион, 4 – гранитоиды, 5 – разломы

Fig. 1. Schematic map of the Witwatersrand province (Frimmel, Minter, 2002): 1 – gold-bearing areas and their numbers (1 – Evander, 2 – Eastern Rand, 3 – Central Rand, 4 – Western Rand, 5 – Carletonville, 6 – Klerksdorp, 7 – Welkom), 2 – Central Rand, 3 – Western Rand and Dominion, 4 – granitoids, 5 – faults

скольких сантиметров до 1.5 м. Средняя мощность обычно равна 0.3 м (Кренделев, 1974). Рудные пласты группируются в разрезе в конгломератовые пачки по 2–4 пласта. Такие пачки прослеживаются на десятки километров. Приуроченность золота и урана к руслам и руслообразным струям в докембрийских осадках многие исследователи считают важнейшим доказательством россыпного генезиса Витватерсранда (Ramdohr, 1958; Нел, 1964). По их мнению, русловые фации – главное местонахождение золота. Очень часто в осадочных толщах, непосредственно подстилающих рудоносные пласты, промыты депрессии, вытянутые ложбины или русла, заполненные галечным, иногда глинистым материалом. Эти углубления впоследствии выровнены эрозией и перекрыты новыми пластами конгломератов. Однако такие депрессии содержат рудные минералы не на всем протяжении, а только локально. Наиболее крупный риф Витватерсранда вытягивается извилистой лентой на расстояние 1350 м при максимальной ширине около 360 м, что при средней мощности 0.3 м и содержании золота 10.9 г/т дает около 4 т металла. Обычно рудные тела имеют меньшие размеры. Как отмечает Л. Т. Нел (Нел, 1964), промышленные прослои в рифах Футуол залегают согласно напластованию русловых осадков и следуют извилистому направлению русел. Более высокие содержания золота и урана сосредотачиваются в базальных частях рудоносных пластов конгломератов. Минерализация не переходит из рудоносных конгломератов и русловых отложений в конгломераты, кварциты или песчаники, слагающие стенки русел, несмотря на то что по характеру этих пород нет каких-либо оснований предполагать, что они были недоступны для проникновения минерализующих растворов. Рудные скопления в конгломератах русел бывают богаче, чем в пластах, которые они предположительно размывали, что считается признаком переотложения поверхностными водами рудных минералов. К этому доказательству привлекают иногда факт уменьшения концентрации оруденения «вниз по течению» от точки, в которой русло прорезает рудные конгломераты подстилающей толщи. Там, где русловые конгломераты налегают на безрудные толщи, они также не содержат оруденения.

Конгломераты Ранда, по существу, являются мономиктными породами, гальки которых представлены только кварцем. Изредка встречаются гальки тонкозернистого кварцита и окремненного известняка; описаны единичные гальки кварцитов, кремней, кварцевых порфиров, кристаллических сланцев гранитов и джеспилитов. Источником кварцевой гальки, как показано в работах (Vennemann et al., 1992; Vollbrecht et al., 2002), служили главным образом граниты, пегматиты

и другие интрузивные породы кислого состава, в меньшей степени – кварцевые жилы гидротермального генезиса.

Среди минералов тяжелой фракции, кроме золота, обычны хромит, ильменит, гранаты, шпинели, монацит, циркон, турмалин, пироксор, рутил, лейкоксен, касситерит и др. Набор минералов в цементе конгломератов схож с комплексом минералов тяжелой фракции шлиха россыпных месторождений золота, за исключением так называемой пиритовой дробы. К «пиритовой дробы», или «картечи», относят округлые, похожие на гальки образования пирита, часто встречаемые в конгломератах. Исследование Н. А. Шило и М. Е. Захаровой показало, что сфероидальные агрегаты имеют почти правильную округлую шаровидную, иногда каплевидную форму. Размер зерен – от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Поверхность сфероидов ровная, без следов механических повреждений, типичных для минералов, подвергнутых аллювиальной обработке (Шило, Захарова, 1986). Содержание такого пирита составляет 3–5 %. С горизонтами их развития часто связаны повышенные содержания золота.

Примеси рения и осмия в самородном золоте и в «пиритовой дробы» достаточны для изотопного датирования Re-Os методом. Изохронный возраст самородного золота из рифа Вааль составляет 3033 ± 21 млн лет. $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.1079 \pm 0.0001$. MSWD = 1.06. Совпадает с ним и изохронный возраст самородного золота и округлого пирита из тех же конгломератов. Он равен 3016 ± 110 млн лет. $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0.109 \pm 0.013$. MSWD = 1.9 (Kirk et al., 2001). Более древний возраст самородного золота и «пиритовой дробы» по сравнению с таким вмещающих конгломератов указывает на обломочное происхождение этих минералов из подстилающих конгломераты гранитно-зеленокаменных пород и отрицает формирование золота из более поздних гидротермальных флюидов.

Основная часть золота сосредоточена в донных частях «рифов», главным образом вблизи контактов с подошвой (Schidlovski, 1968). Однако это не всегда так, например, при наличии тухолитов золото связано с ними и приурочено к кровле пласта (Macadam, 1931). В конгломератах Витватерсранда золото наблюдается в нескольких разновидностях. Оно очень мелкое, особенно в богатых рудах. Но в отдельных рифах присутствуют золотины размером 0.3–1.0 мм (Pretorius, 1976). Самородки, типичные для большинства современных россыпей, отсутствуют.

Округлые, овальные зерна золота считаются первично россыпными. Такое золото отмечено почти во всех рифах. Детально исследованы форма и размеры золотины из Базального рифа месторождения Витватерсранд (Minter et al., 1993). Тысячи золотины были выделены в

результате кислотного растворения кварцевых конгломератов. Размеры частиц золота колебались между 0.038 и 0.473 мм. Преобладающие формы золотин дисковидные с тороидальными краями. Они обнаруживают абразионные текстуры поверхности, которые характерны для россыпного золота. Бугристая поверхность золотин месторождения Витватерсранд схожа с поверхностью окатанных золотин как из девонских, так и из молодых россыпей, а также золотин, обработанных в барабане с песком и галькой в воде (Minter et al., 1993). Тороидальная форма некоторых золотин указывает на роль золовых процессов в переносе золота (Никифорова, 1999).

Другой разновидностью является вторичное золото, составляющее около 25 % общего содержания. Оно более мелкое, имеет интерстициальную или губчатую форму, нередко нарастает на поверхность пирита и обломочного золота, а также образует тончайшие каемки вокруг зерен пирита, уранинита, пирротина и других минералов (Minter et al., 1993).

Д. Холлбауер выделил три типа золота в золотоносных рифах Витватерсранда: детритное (detrital), «биохимически» отложенное и рекристаллизованное (Hallbauer, 1978). Детритное золото несет следы транспортировки в аллювиальных потоках, выраженные в деформации, истирании и сплющивании частиц (рис. 2). Слои углеродистого вещества слагают окаменелые маты докембрийских растений. Тонкие частицы золота задерживались на этих матах. В них наблюдалось биохимически осажденное золото в виде частиц неправильной формы, часто тонких переплетенных или разветвленных нитей, похожих на водоросли или грибковые нити. Рекристаллизованное золото является продуктом более поздних процессов, связанных с метаморфизмом осадков.

Д. Холлбауер и Т. Уттер установили связь между морфологическими особенностями и пробностью частиц золота, а также расстоянием, на которое они были перенесены. Показано, что большинство частиц золота из конгломератов Витватерсранда сохранила свою детритную морфологию. Сравнение их с частицами из молодых аллювиальных россыпей позволило оценить расстояние переноса золота Витватерсранда, которое в большинстве случаев составляло от 10 до 30 км.

Частицы золота в молодых россыпях проявляют характерный рост пробности с увеличением расстояния переноса из-за выщелачивания серебра. Но золото в россыпях Витватерсранда сохранило первичную пробность, поскольку в кислорододефицитной атмосфере архея выщелачивания серебра не происходило (Hallbauer, Utter, 1977).

Пробность золота, без разделения на детритное и вторичное, колеблется от 906 до 935 ‰, достигая в среднем для базальных рифов Витватерсрандской системы 925 ‰. Отношение $Ag/Au = 0.0812$ (Saager, 1969). Для Оранжевой Республики содержание серебра в золоте составляет 9.9–12.4 %. В слитках получено золото 882-й пробы.

Примесь ртути в золоте палеороссыпи Карбон-Лидер-Рифа составляет 1.2–5.9 % (Oberphur, Saager, 1986). В палеороссыпи Ваал Керксдорпского района средние составы зерен золота варьируют от 80 до 95 мас. % Au , от 4 до 18 мас. % Ag и от 0.5 до 4 мас. % Hg , со средним составом (в %): $Au = 90$, $Ag = 8$, $Hg = 2$ (Reid, 1988).

По данным (Robb, Hayward, 2014), золото на месторождениях Витватерсранда содержит значительные и переменные примеси двух элементов – серебра от 4 до < 20 мас. % и ртути от < 0.2 до 6 %. Остальные примеси (Sc , V , Fe , Co , Ni , Cu , As , Mo , Sn , Sb , Te , Zr , Re , Os , Ir , Pt , Pb , Bi , Th) встречаются в следовых количествах (Robb, Hayward, 2014). Корреляции между содержаниями этих примесей в золоте не наблюдается. Золоту



Рис. 2. Золото со следами транспортировки в аллювиальных потоках, извлеченное из образца В-Рифа, месторождения Лорейн Оранжевой Республики (Hallbauer, 1978)

Fig. 2. Gold with traces of transportation in alluvial flows, extracted from a sample of the B-Reef, Lorain deposit in the Orange Republic (Hallbauer, 1978)

конкретных месторождений провинции присущее или низкое содержание серебра и переменное на уровне первых процентов количество ртути, или высокое содержание серебра и низкое содержание ртути. Одновременного высокого содержания в золоте серебра и ртути не отмечалось. Высокие примеси серебра и ртути в зернах золота месторождения Витватерсранд, замеренные на электронном микроскопе, по мнению (Gehlen, 1983), являются как бы геохимическими «отпечатками пальцев», позволяющими определить тип первичного источника золота.

РТУТИСТОЕ ЗОЛОТО УНЬЯ-БОМСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА

Ртутистое золото характерно для современных россыпей и рудных проявлений Унья-Бомского рудно-россыпного узла, расположенного на восточном фланге Приамурской золотоносной провинции (Степанов, 2019). Золотое оруденение провинции было сформировано в позднем мезозое в результате коллизионного сближения Станового геоблока Сибирского кратона и Амурского композитного массива, а также сопряженных с коллизией процессов тектономагматической активизации и формирования золотого оруденения. Начиная с 1868 г. в провинции добыто около 1300 т главным образом россыпного золота. В пределах провинции выделено 9 металлогенических зон, вмещающих 80 рудно-россыпных узлов (РРУ). В пределах РРУ выявлено около 1500 россыпных и около 40 рудных месторождений золото-кварцевой, реже золото-сульфидно-кварцевой и золото-серебряной формаций.

Уникальность Унья-Бомского узла заключается в том, что в богатых россыпях и многочисленных проявлениях золото-кварцевой формации находится высокопробное ртутистое самородное золото. В геологическом строении узла принимают участие главным образом терригенные, так называемые черносланцевые, толщи позднепалеозойского и мезозойского возраста, интрузивные образования чрезвычайно редки (рис. 3). Рудоконтролирующее значение имеет Уньинский надвиг, по которому палеозойские образования джескогогонской свиты надвинуты на флишеидные породы амканской свиты (Остапенко, Нерода, 2018; Степанов, 2019). Менее представлены разломы северо-восточного простирания. Палеозойские толщи смяты в крупную синклинальную складку субширотного простирания, в ядре которой обнажены породы бочагорской свиты, а на крыльях – нектерской и джескогогонской. В целом рудному узлу отвечает зона аллохтона и автохтона Уньинского надвига субширотного плана.

Золотое оруденение и образованные за счет их разрушения россыпи размещены в пределах узкой (15–20 км) протяженной (80 км) полосы

субширотного простирания. Она приурочена к западной части узла преимущественно к аллохтону, а в восточной к автохтону Уньинского надвига. По-видимому, надвиг играет роль экранирующей структуры. Золотое оруденение часто тяготеет к узлам пересечения надвига разломами типа сдвигов или сбросо-сдвигов северо-восточного простирания (рудопоявления Счастливого, Чертова Лестница и др.). Эти разломы играют роль рудоподводящих структур. Проявления представлены золотоносными кварцевыми жилами и жильными зонами. Они принадлежат золото-кварцевой формации гидротермальной группы. Руды малосульфидные, количество рудных минералов, среди которых преобладают шеелит, арсенопирит, галенит и самородное золото, не превышает 1–5 %. Золото относительно высокопробное (880–900 ‰), главной его особенностью является значительная примесь ртути (до 3–4 %).

Наиболее типичны проявления Алексеевское и Счастливое (рис. 4). Проявление Алексеевское расположено в верховьях руч. Алексеевский, левого притока р. Сирик-Макит и представлено кварцевожильной зоной северо-восточного простирания. Зона находится в аллохтоне Уньинского надвига, выполненного песчаниками джескогогонской свиты, и состоит из нескольких кулисообразно расположенных кварцевых жил мощностью от 0.5 до 3 м. Рудные минералы жил представлены арсенопиритом, шеелитом, галенитом, халькопиритом и самородным золотом. Содержание золота достигает 1–5 г/т, вольфрама – 0.1 %, мышьяка – 3 %.

Проявление Счастливое приурочено к верховьям руч. Счастливый, левого притока р. Сирик-Макит. Рудное поле слагают флишевые отложения амканской свиты и песчаниковые – джескогогонской свиты, разделенные Уньинским надвигом субширотного простирания. Оруденение локализовано в аллохтоне, реже автохтоне надвига. Оно представлено кварцевыми жилами или сериями жил, приуроченными к оперяющим трещинам отрыва разломов северо-восточного направления. Жилы сложены крупнозернистым кварцем (95–98 %), альбитом (1–4 %), кальцитом (1–2 %), серицитом и хлоритом. Содержание золота в жилах колеблется от «следов» до 10–15 г/т, вольфрама достигает 1 %, мышьяка – 3 %. Золото-серебряное отношение меняется от 1:30 до 4:1. Среди рудных минералов преобладают шеелит, арсенопирит, ферберит, галенит и самородное золото; в меньшей степени развиты пирит, пирротин, халькопирит и сфалерит. Золотое оруденение обоих проявлений отнесено к золото-кварцевой формации.

Золото мелкое, комковидное, жилковидно-пластинчатое, кристаллическое, друзовидное и проволочковидное. Рентгеноспектральное исследова-

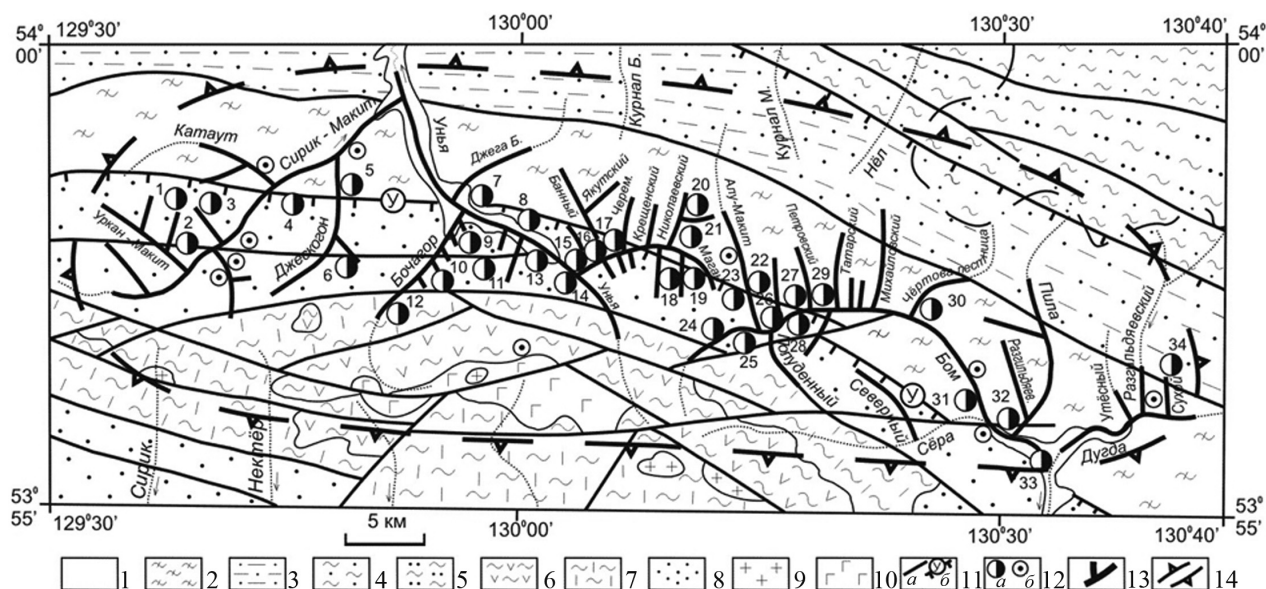


Рис. 3. Схема Унья-Бомского рудно-россыпного узла: 1 – аллювиальные и аллювиально-делювиальные пески, глины, галечники квартера; 2 – амканская свита нижней юры: тонкое ритмическое переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников; 3 – курнальская свита нижней юры: песчаники, прослои алевролитов, туфопесчаников, туфоалевролитов, гравелитов и конгломератов; 4 – нельская свита верхнего триаса: алевролиты, туфиты, глинистые сланцы, песчаники; 5 – муяканская свита верхнего триаса: песчаники, алевролиты, гравелиты; 6 – бочагорская свита нижней перми: зеленые сланцы, кварциты, филлиты, мраморизованные известняки; 7 – нектерская свита верхнего карбона (?): филлиты, алевролиты, зеленые сланцы, мраморизованные известняки; 8 – джескогонская свита верхнего карбона (?): песчаники, алевролиты, гравелиты, зеленые сланцы, мраморизованные известняки; 9 – плагиограниты, граниты, гранодиориты пиканского комплекса нижней перми; 10 – габбро, габбронориты, монцогаббро, габбродiorиты пиканского комплекса нижней перми; 11 – разрывные нарушения: а – крутонаклонные, б – надвиги; 12, а – рудопоявления (1 – Алексеевское, 2 – Сирик-Макит, 3 – Счастливое, 4 – Джескогон-2, 5 – Джескогон-1, 6 – Елизаветинское, 7 – Джега Бол., 8 – Унья, 9 – Бочагор-1, 10 – Бочагор-2, 11 – Советское, 12 – Гнилое, 13 – Ландырь, 14 – Уньинское, 15 – Банное, 16 – Маган, 17 – Черемушное, 18 – Шеелитовое, 19 – Хаймовское, 20 – Северное, 21 – Маганское, 22 – Алу-Макит, 23 – Бом, 24 – Бомская Жила, 25 – Жарковская Терраса, 26 – Ниннинское, 27 – Веселая Горка, 28 – Бом-Ниннинское, 29 – Петровское, 30 – Чертова Лестница, 31 – Бом-Сера, 32 – Пила, 33 – Дугда, 34 – Тополевое); 12, б – точки минерализации золота; 13 – россыпи золота; 14 – граница узла

Fig. 3. Scheme of the Unya-Bom ore-placer cluster: 1 – alluvial and alluvial-deluvial sands, clays, pebbles of the Quaternary; 2 – Amkan formation of the Lower Jurassic: a thin rhythmic interlaying of siltstones, mudstones, and sandstones; 3 – Kurnal formation of the Lower Jurassic: sandstones, layers of siltstones, tuff sandstones, tuff-aleurolites, gravelites, and conglomerates; 4 – Nel formation of the Upper Triassic: siltstones, tuffites, clay shales, sandstones; 5 – Muyakan formation of the Upper Triassic: sandstones, siltstones, gravelites; 6 – Bochagor formation of the Lower Permian: green shales, quartzites, phyllites, marbled limestones; 7 – Necter formation of the Upper Carboniferous (?): phyllites, siltstones, green shales, marbled limestones; 8 – Jeskogon formation of the Upper Carboniferous (?): sandstones, siltstones, gravelites, green shales, marbled limestones; 9 – plagiogranites, granites, granodiorites of the Pican complex of the Lower Permian; 10 – gabbro, gabbro-norites, monzogabbro, gabbrodiorites of the Pican complex of the Lower Permian; 11 – discontinuous faults: a – steep slopes, b – overhangs, 12, a – ore occurrences (1 – Alekseyevskoye, 2 – Sirik-Makit, 3 – Schastlivoye, 4 – Jeskogon-2, 5 – Jeskogon-1, 6 – Yelizavetinskoye, 7 – Jega Bol., 8 – Unya, 9 – Bochagor-1, 10 – Bochagor-2, 11 – Soviet, 12 – Gniloye, 13 – Landyr, 14 – Unya, 15 – Bath, 16 – Magan, 17 – Cheremushnoye, 18 – Sheelitvoye, 19 – Khaimovskoye, 20 – Severnoye, 21 – Maganskoye, 22 – Alu-Makit, 23 – Bom, 24 – Bomsкая Zheela, 25 – Zharkovskaya Terrace, 26 – Ninninskoye, 27 – Vesolyaya Gorka, 28 – Bom-Ninninskoye, 29 – Petrovskoye, 30 – Chyortova Lestnitsa, 31 – Bom-Sera, 32 – Peela, 33 – Dugda, 34 – Topolyevoye), b – points of gold mineralization; 13 – gold placers; 14 – cluster boundary

ние состава золота показало, что пробность его меняется в пределах 840–895 ‰ (табл. 1). Основными примесями являются серебро (6.70–7.66 ‰) и ртуть (1.72–9.37 ‰). Ртуть равномерно распределена по плоскости среза зерен золота. По краю зерен выявлена кайма толщиной 10–15 мкм, обогащенная ртутью. В центральной части золотин содержание золота от 1.72 до 4.05 ‰.

В краевой части оно повышается от 5.40 до 9.37 ‰. При этом в краевой части золотин происходит уменьшение концентрации золота, а содержание серебра существенно не меняется. Равномерное повышенное содержание ртути в самородном золоте свидетельствует о ее значительной концентрации в золоторудных гидротермальных растворах и одновременном отложении из них Au, Ag и Hg.

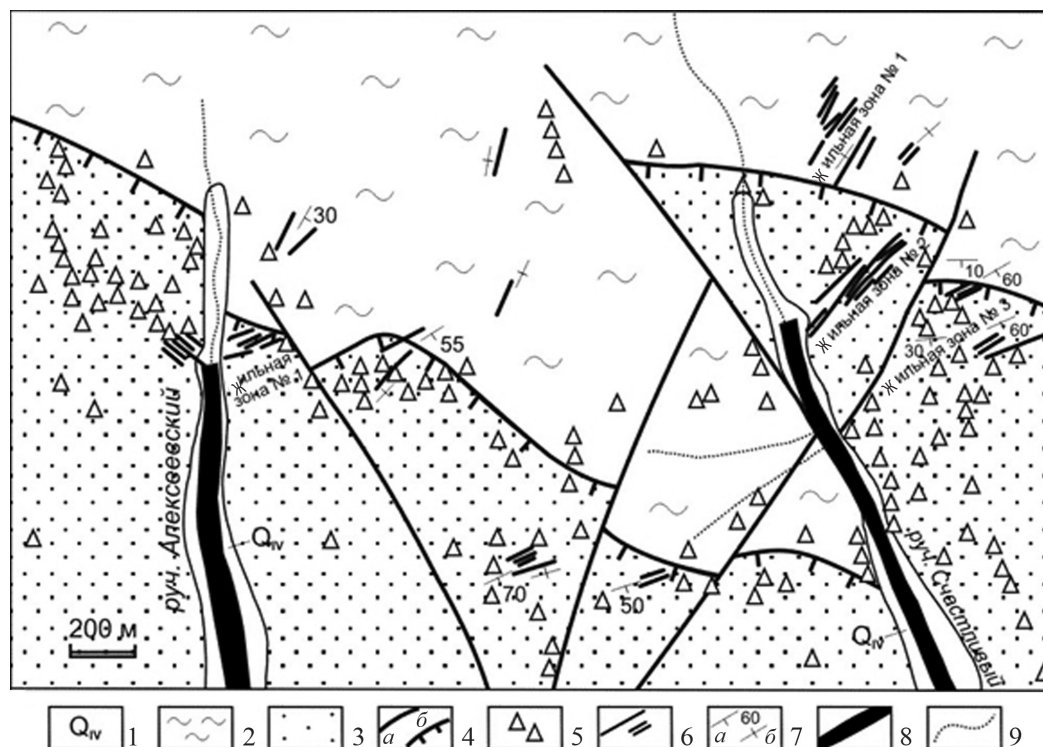


Рис. 4. Схема проявлений Алексеевское (жильная зона № 1) и Счастливое (жильная зона № 2): 1 – аллювиальные пески, галечники квартера; 2 – переслаивание алевролитов, аргиллитов и песчаников амканской свиты нижней юры; 3 – песчаники с прослоями гравелитов и аргиллитов нижней подсвиты джескогонской свиты верхнего карбона; 4 – крутонаклонные разломы (а), надвиги (б); 5 – свалы жильного кварца; 6 – золотоносные кварцевые жилы и жильные зоны; 7 – залегание жил: наклонное (а), вертикальное (б); 8 – россыпи золота; 9 – водотоки

Fig. 4. Scheme of the Alekseevskoye (vein zone No. 1) and Schastlivoe (vein zone No. 2) occurrences: 1 – alluvial sands, of the Quaternary; 2 – layering of siltstones, mudstones, and sandstones of the Lower Jurassic Amkan formation; 3 – sandstones with layers of gravelites and mudstones of the lower sub-formation of the Upper Carboniferous Jeskogan formation; 4 – steep-slope faults (a), thrust (b); 5 – piles of vein quartz; 6 – gold-bearing quartz veins and vein zones, 7 – vein occurrence: inclined (a), vertical (b); 8 – gold placers; 9 – watercourses

Таблица 1. Состав ртутистого рудного золота по данным электронного микрозондирования

Table 1. Composition of mercurous ore gold, according to electronic microprobing data

Номер зерна		Содержание, мас. %			Сумма
		Au	Ag	Hg	
Camebax					
1.	Центр	89.25	6.75	3.86	99.86
	Край	84.75	6.75	8.95	100.45
2.	Центр	91.25	6.75	1.72	99.72
	Край	84.00	6.70	9.37	100.07
JXA-5A					
3.	Центр	89.54	7.66	2.94	100.14
	Край	87.91	6.97	5.40	100.28
4.	Центр	88.71	7.66	4.05	100.42
	Край	87.07	6.95	6.50	100.52
Среднее		87.77	7.02	5.32	

Примечание. Анализы выполнены на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax (аналитик – С. М. Сандомирская) и JXA-5A (аналитик – И. М. Романенко).

Note. The analyses were performed on an X-ray spectral microanalyzers, “Camebax” (analyst S. M. Sandomirskaya), and JXA-5A (analyst I. M. Romanenko).

В то же время к концу рудоотложения концентрация ртути в гидротермах, очевидно, возросла, что привело к формированию в рудном золоте каймы с высоким содержанием ртути.

По мнению Н. С. Остапенко и О. Н. Нероды (Остапенко, Нерода, 2018), золотое оруденение было сформировано на уровне верхнего выклинивания дайковой фации магматического очага под общим мощным сланцевым экраном. Аномальность содержания ртути в самородном золоте и рудах рассматривалась как индикатор низкой проницаемости пород экрана и верхнерудного эрозионного среза золотоносных зон.

Унья-Бомский узел издавна известен богатыми россыпями золота. Россыпная золотоносность была установлена в 1887 г. Россыпи золота сосредоточены в полосе субширотного простирания длиной 80 км от

бассейна р. Сирик-Макит на западе до бассейна р. Дугда на востоке. Всего из них добыто более 30 т учтенного золота.

В россыпях самородное золото однотипное, преимущественно крупное. Встречаются самородки массой от 1–10 до 730 г, иногда на них выявлены следы совместного роста кристаллов золота и других минералов (рис. 5). Часто наблюдаются сростки россыпных золотин с кварцем. Среди минералов-спутников золота в россыпях наиболее часто отмечаются шеелит, пирит, иногда арсенопирит, галенит, сперрилит и киноварь. Это свидетельствует об образовании россыпей за счет разрушения оруденения золото-кварцевой формации, обладающего теми же минералами-примесями в рудах.

Преобладающая пробаность россыпного золота высокая – 875–900 ‰ (рис. 6). По данным химического анализа в нем отмечается высокое содержание ртути (1.72–2.16 ‰), примесь других элементов (Fe, Ti, Bi, Cu, Al, Mn, Ca, Mg) незначительна (табл. 2).

Микронзондовыми наблюдениями установлено, что ртуть в количестве 1.79–3.8 ‰ концентрируется в центральной части золотин (табл. 3). В высокопробной оболочке, характерной для россыпного золота, концентрация ртути уменьшается до 0.1–0.4 ‰. Вместе со ртутью из нее выносятся и серебро. По мере транспортировки в россыпи на расстояние от 5 до 25 км от источника сноса золота наблюдается уменьшение в высокопробной оболочке содержания серебра с 2.81 до 0.48 ‰, а ртути – с 0.40 до 0.10 ‰.

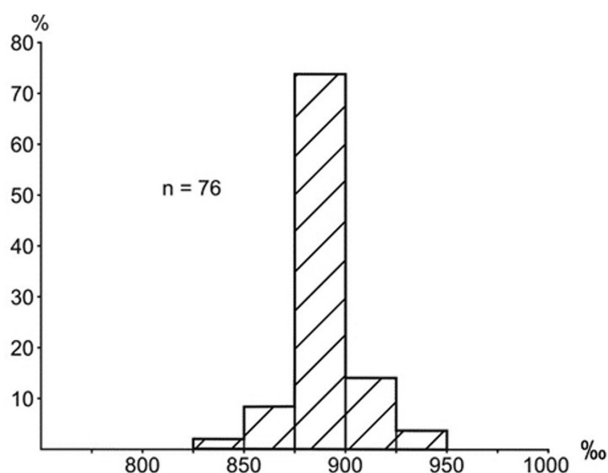


Рис. 6. Распределение пробаности россыпного золота Унья-Бомского узла (n – количество анализов)

Fig. 6. Histogram of the placer gold grade distribution in the Unya-Bom cluster (n – number of analyses)

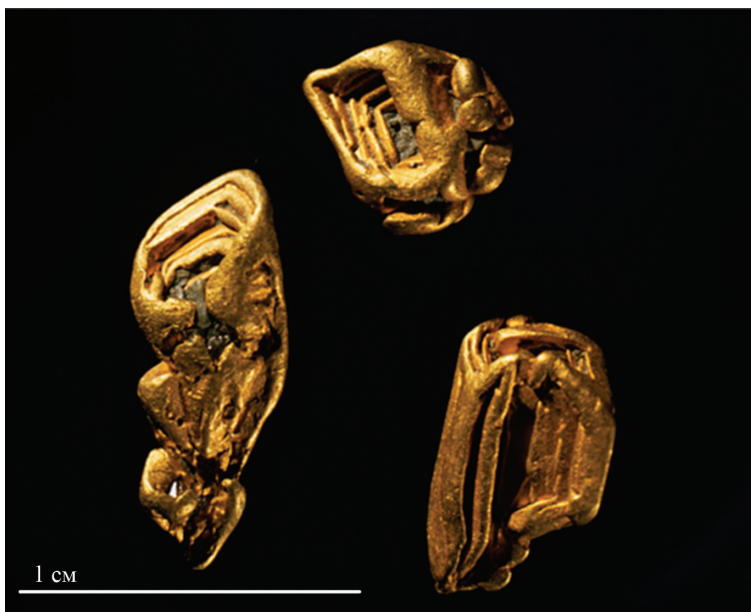


Рис. 5. Мелкие самородки золота с гранями совместного роста кристаллов золота, пирита и кварца из россыпи руч. Джескогон. Самородки хранятся в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (<http://www.fmm.ru>)

Fig. 5. Smaller gold nuggets with facets of joint growth of gold crystals, pyrite, and quartz from the Jeskogon Creek placer. The nuggets are stored at the A. E. Fersman Mineralogical Museum of the Russian Academy of Sciences (<http://www.fmm.ru>)

При этом высокое содержание ртути в центральной части золотин сохраняется.

Исследование Г. И. Неронским и И. Ю. Громаковским типоморфных особенностей самородного золота Унья-Бом показало, что в россыпном золоте содержание ртути высокое и составляет от 0.5 до 1 ‰ и более (Неронский, Громаковский, 2005). Авторы монографии пришли к выводу о формировании золотого оруденения на больших глубинах, в стабильных условиях кристаллизации.

Таблица 2. Химический состав россыпного золота из россыпи р. Унья

Table 2. Chemical composition of the Unya River placer gold

Элемент	Проба У-1	Проба У-2
Au	89.880	89.150
Ag	6.720	6.740
Hg	1.720	2.160
Fe	0.004	0.100
Ti	0.001	0.009
Bi	0.001	0.007
Cu	0.020	0.010
Al	0.001	0.025
Mn	0.0004	0.004
Ca	0.015	0.085
Mg	0.004	0.035
He опр.	0.002	0.200
Сумма	98.3944	98.525

Примечание. Аналитики А. М. Грицук, Л. С. Левчук (ДВГИ ДВО РАН).

Таблица 3. Концентрация золота, серебра и ртути в центральной и краевой частях россыпных золотин
Table 3. Concentration of gold, silver, and mercury in the central and marginal parts of placer gold particles

№ п.п.	Расстояние переноса, км	Проба	Место анализа	Концентрация, мас. %			Сумма
				Золото	Серебро	Ртуть	
1	7	У-11-1	Центр	85.0	11.50	2.52	99.02
			Край	96.7	2.81	0.40	99.91
2	14	У-5	Центр	86.0	9.71	3.80	99.51
			Край	97.1	2.63	0.39	100.12
3	25	У-10-3	Центр	90.4	6.89	1.79	99.08
			Край	99.0	0.48	0.10	99.38

Примечание. Анализы выполнены на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-5A, аналитик – И. М. Романенко.

Им удалось оконтурить потенциальные рудные поля, выделить наиболее перспективные площади и произвести подсчет прогнозных ресурсов рудного золота для всего района (640 т).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В провинции Витватерсранд, расположенной в Южной Африке, находятся крупнейшие в мире месторождения золота, приуроченные к древним конгломератам. Поэтому большинство исследователей относят их к метаморфизованным палеороссыпям. Важнейшим доказательством россыпного генезиса Витватерсранда является то, что золото, уран, алмазы и платиноиды локализованы в руслообразных струях докембрийских осадков. Кроме того, более древний изотопный возраст самородного золота, «пиритовой дроби» и других рудных минералов по сравнению с вмещающими конгломератами указывает на их обломочное происхождение из подстилающих конгломераты гранитно-зеленокаменных пород и отрицает формирование золота из более поздних гидротермальных флюидов. Типоморфными особенностями золота Витватерсранда являются мелкие размеры при отсутствии самородков, высокая пробность и значительная примесь ртути.

Н. В. Петровской загадочной кажется зараженность ртутью самородного золота из древних метаморфизованных палеороссыпей Витватерсранда. Ей представляется маловероятным сохранность ртути в золоте при весьма длительном воздействии на россыпи метаморфизовавших их агентов. Н. В. Петровская допускает механизм пропаривания проницаемых зон мантийными ртутьсодержащими флюидами (Петровская, 1993). Но этому предположению противоречит факт отсутствия метаморфизованных или метаморфических месторождений ртути. К тому же ртутное золото достаточно часто встречается на золоторудных месторождениях и в современных россыпях. На месторождении Кючюс (Якутия) содержание ртути в золоте колеблется в пределах 0.77–12.5 %, в золоте месторождения Болиден (Швеция) содержание ртути в зо-

лите от 1.0 до 3.5 %, на месторождении Кварцитовая Горка (Казахстан) золото содержит 2.3–4.5 % ртути (Степанов, Моисеенко, 1993). На Оганчинском месторождении Камчатки содержание ртути в золоте достигает 2.4–6.5 % (Озерова, 1986).

На примере Унья-Бомского рудно-россыпного узла показано, что ртутное рудное золото при переходе из золотоносных кварцевых жил в россыпи в целом сохраняет свой состав, за исключением образующейся в процессе транспортировки тонкой высокопробной оболочки. Происхождение этой оболочки обязано электрохимической коррозии золотин в водной среде. В ней происходит обогащение золотом за счет выноса серебра и ртути. При транспортировке золота в россыпях до 25 км от источника сноса в центральной части золотин сохраняется высокое содержание ртути. Но золото в россыпях Витватерсранда сохранило первичную пробность не только в центральной, но и в периферических частях золотин, поскольку в кислорододефицитной атмосфере архея выщелачивания серебра не происходило (Hallbauer, Utter, 1977). Пользуясь принципом актуализма, можно предположить, что и ртутное золото Витватерсранда так же, как и в Унья-Бомском районе, отражает первичный состав золота рудных источников сноса.

Вопрос коренных источников палеороссыпей Витватерсранда до сих пор не нашел своего решения. С одной стороны, этот источник или, скорее, группа источников должна обладать значительными общими запасами золота, с другой – типоморфными особенностями самородного золота рассматриваемого месторождения, т. е. высокой пробностью и значительной (первые проценты) примесью ртути. Такие особенности свойственны тонкому, часто дисперсным размерам золоту эпitherмальной золото-ртутной формации (Степанов, Моисеенко, 1993). Но месторождений этой формации в пределах Каапвальского кратона и его обрамления не отмечается. Ртутное золото наблюдается в мелких месторождениях и проявлениях золото-кварцевой формации, а также россыпях Унья-Бомского района Приамурья (Россия). Золотое оруденение с ртутным золо-

том относится к верхней фронтальной части рудной колонны золото-кварцевого оруденения (Степанов, 2000). Золотое оруденение этой формации проявлено не только в Каапвальском и расположенном севернее кратоне Зимбабве. Фронтальная часть оруденения этой формации в принципе могла послужить основным источником россыпей Витватерсранда. В качестве альтернативного источника могли бы быть гидротермально измененные граниты с повышенным кларком золота (в среднем 15 ppb и до 28 ppb), широко распространенные к северу и западу от бассейна Витватерсранда (Robb, Hayward, 2014), но конкретные проявления с ртутистым золотом в них не отмечаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показано, что уникальные месторождения Витватерсрандской провинции представляют собой палеороссыпи. Золото отличается высоким содержанием серебра и ртути. Коренные источники россыпей не известны. Предполагается, что коренными источниками ртутистого золота палеороссыпей Витватерсранда могли быть золотое оруденение фронтальной части золото-кварцевой формации, аналогичное распространенному в Унья-Бомском районе Приамурья, золото которой по пробности и высокому содержанию ртути аналогично золоту палеороссыпей Витватерсранда, а также гидротермально измененные граниты, широко развитые к западу от Витватерсранда.

ЛИТЕРАТУРА

Долгушин С. С., Долгушин А. П. Генезис золото-урановых месторождений Витватерсранда (ЮАР) и проблема их аналогов // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Томск. 2017. С. 144–149.

Константинов М. М. Золоторудные гиганты России и мира. Москва : Научный мир, 2000. 270 с.

Косовец Т. Н. Представления о генезисе золото-урановых месторождений Витватерсранда в свете данных по изотопии серы, кислорода, углерода // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 2. С. 22–33.

Кременецкий А. А. Южная Африка: золото, алмазы, платина // Геология – жизнь моя...: сб. очерков. Москва : ЗАО «Геоинформмарк», 2001. Вып. 6. С. 297–361.

Кренделев Ф. П. Металлоносные конгломераты мира. Новосибирск : Наука, 1974. 237 с.

Маракушев А. А., Глазовская Л. И., Панях Н. А., Маракушев С. А. Проблема происхождения ураново-золоторудного месторождения Витватерсранд // Вестник Московского ун-та. 2012. Т. 4, № 3. С. 3–16.

Марфунин А. С. История золота. Москва : Наука, 1987. 246 с.

Нел Л. Т. Проблема генезиса уранинита в золотоносных конгломератах Южной Африки // Труды

XXI Международ. геол. конгр. Москва : Мир, 1964. Вып. 3. С. 258–274.

Неронский Г. И., Громаковский И. Ю. Золото Унья-Бомы. Благовещенск : АмурКНИИ, 2005. 260 с.

Никифорова З. С. Закономерности размещения эолового золота // Отечественная геология. 1999. № 4. С. 24–26.

Озерова Н. А. Ртуть и эндогенное рудообразование. Москва : Наука, 1986. 232 с.

Остапенко Н. С., Нерода О. Н. О возрасте, генезисе и перспективах золоторудной минерализации Унья-Бомского золотоносного узла Приамурья // Отечественная геология. 2018. № 4. С. 63–71.

Петровская Н. В. Золотые самородки. Москва : Наука, 1993. 191 с.

Степанов В. А. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 2. Золото и ртуть Приамурской провинции. Владивосток : Дальнаука, 2000. 161 с.

Степанов В. А. Перспективы Приамурья на рудное золото // Региональная геология и металлогения. 2019. № 77. С. 98–109.

Степанов В. А., Моисеенко В. Г. Геология золота, серебра и ртути. Ч. 1. Золото-ртутные месторождения. Владивосток : Дальнаука, 1993. 228 с.

Шило Н. А., Захарова М. Е. Природа пиритовых образований из отложений Витватерсранда // Геология рудных месторождений. 1986. № 2. С. 85–89.

Щеглов А. Д. О кварце «Балейского типа» из золоторудных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) // Доклады РАН. 1995. Т. 340, № 5. С. 521–524.

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

Gehlen K. von. Silver and mercury in single gold grains from the Witwatersrand and Barberton, South Africa // Mineralium Deposita. 1983. Vol. 18. P. 529–534.

Hallbauer D. K. Witwatersrand Gold Deposits. Their genesis in the light of morphological studies // Gold Bulletin. 1978. Vol. 11. P. 18–23.

Hallbauer D. K., Utter T. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand // Mineralium Deposita. 1977. Vol. 12. P. 293–306.

Hutchinson R. W., Viljoen R. P. Re-evaluation of gold source in Witwatersrand ores // South African Journal of Geology. 1988. 91 (2). P. 157–173.

Kirk J., Ruiz J., Chesley J., Titley S., Walshe J. A detrital model for the origin of gold and sulphides in the Witwatersrand basin based on Re-Os isotopes // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2001. 65. P. 2149–2159.

Macadam P. The distribution of the gold and carbon in the Witwatersrand Bankets Reef // Ann., Transactions of the Geological Society of South Africa. 1931. Vol. 34. P. 21–32.

Minter W. E. L., Goedhart M., Knight J., Frimmel H. E. Morphology of Witwatersrand gold grains from the Basal Reef: Evidence for their detrital origin // Economic Geology. 1993. Vol. 88, No. 2. P. 237–248.

Oberphur T., Saager R. Silver and mercury in gold particles from Proterozoic Witwatersrand placer deposits of South Africa: Metallogenic and geochemical implications // Economic Geology. 1986. Vol. 81, No. 1. P. 20–31.

Pretorius D. A. The nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits // Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits / Ed. K. H. Wolf. Amsterdam – Oxford – New York : Sci. Publ. Co., 1976. Vol. 7, No. 2. P. 29–88.

Ramdohr P. New observations on the ores of the Witwatersrand in South Africa and their genetic significance // Geological Society of South Africa. 1958. No. 71. P. 67–100.

Reid A. M. Composition of gold grains in the Vaal Placer, South Africa // Mineralium Deposita. 1988. Vol. 23. P. 211–217.

Robb L. J., Hayward C. Geochemistry of Placer Gold – A Case Study of the Witwatersrand Deposits // Treatise on Geochemistry. 2014. Vol. 13. P. 433–461.

Robb L. J., Meyer F. M. The Witwatersrand Basin, South Africa: Geologic framework and mineralization processes // Ore Geology Reviews. 1995. Vol. 10. P. 67–94.

Поступила в редакцию 08.12.2021 г.

Поступила после доработки 10.03.2022 г.

Saager R. The relationship of silver and gold in Basal Reef of the Witwatersrand system, Africa // Mineralium Deposita. 1969. Vol. 4, No. 2.

Schidlovski M. The gold fraction of the Witwatersrand conglomerates from the Orange Free State goldfield (South Africa) // Mineralium Deposita. 1968. Vol. 3. P. 344–363.

Vennemann T. W., Kesler S. E., O'Neil J. R. Stable isotope compositions of quartz pebbles and their fluid inclusions as tracers of sediment provenance: Implications for gold- and uranium-bearing quartz pebble conglomerates // Geology. 1992. Vol. 20. P. 837–840.

Vollbrecht A., Oberthur T., Ruedrich J., Weber K. Microfabric analyses applied to the Witwatersrand gold- and uranium-bearing conglomerates: Constraints on the provenance and post-depositional modification of rock and ore components // Mineralium Deposita. 2002. Vol. 37. P. 433–451.

ON THE PRIMARY SOURCES OF THE WITWATERSRAND PALEOPLACERS (South Africa)

V. A. Stepanov

Scientific and Research Geotechnological Center FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

The article discusses Witwatersrand paleoplacers as well as current high-mercury gold placers and sources of their formation in the Unya-Bom district of the Amur province. The Witwatersrand deposits contain fine gold with significant mercury content. The original sources are unknown there. In the Unya-Bom district, during the destruction of ore bodies and the transition of high-grade mercuric gold into placers, its composition is preserved, with the exception of the high-grade shell formed in placers: silver and mercury are removed from it due to electrochemical corrosion. When transported in placers up to 25 km, the high content of mercury in the central part of gold particles corresponds to ore gold. An attempt was made to typify one of the possible sources of clastogenic gold in Witwatersrand paleoplacers. It might have been gold-quartz mineralization with high-mercury gold, similar to that common in the Unya-Bom district of the Amur region.

Keywords: mercurous gold, paleoplacer, deposit, gold sample, Witwatersrand, Unya-Bom ore-placer district.

REFERENCES

Dolgushin, S. S., Dolgushin, A. P., 2017. Genesis of Gold-Uranium Deposits in Witwatersrand, SAR, and the Problem of Their Analogs. Tomsk. 144–149 [In Russian].

Frimmel, H. E., Minter, W. E. L., 2002. Recent Developments Concerning the Geological History and Genesis of the Witwatersrand Gold Deposits, South Africa, *Society of Economic Geologists. Special Publication*. 9, 17–45.

Gehlen, K. von, 1983. Silver and Mercury in Single Gold Grains from the Witwatersrand and Barberton, South Africa, *Mineralium Deposita*. 18, 529–534.

Hallbauer, D. K., 1978. Witwatersrand Gold Deposits. Their Genesis in the Light of Morphological Studies, *Gold Bulletin*. 11, 18–23.

Hallbauer, D. K., Utter, N., 1977. Geochemical and Morphological Characteristics of Gold Particles from Re-

cent River Deposits and the Fossil Placers of the Witwatersrand, *Mineralium Deposita*. 12, 293–306.

Hutchinson, R. W., Viljoen, R. P., 1988. Re-evaluation of Gold Source in Witwatersrand Ores, *South African Journal of Geology*. 91 (2), 157–173.

Kirk, J., Ruiz, J., Chesley, J., Titley, S., Walshe, J., 2001. A Detrital Model for the Origin of Gold and Sulphides in the Witwatersrand Basin Based on Re-Os Isotopes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 65, 2149–2159.

Konstantinov, M. M., 2000. Gold Ore Giants in Russia and Worldwide. Moscow, Scientific World [In Russian].

Kosovets, T. N., 2015. Insight in Genesis of Witwatersrand Gold-Uranium Deposits in the Light of the Data on Sulfur, Oxygen, and Carbon Isotopy, *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 2, 22–33 [In Russian].

- Kremenetsky, A. A., 2001. South Africa: Gold, Diamonds, Platinum, *Geology, My Life...* Selection of Essays. Moscow, ZAO «GeoinformmarkK». Iss. 6, 297–361 [In Russian].
- Krendel'ev, F. P., 1974. Metal-bearing Conglomerates of the World. Novosibirsk, Nauka [In Russian].
- Macadam, P., 1931. The Distribution of the Gold and Carbon in the Witwatersrand Bankets Reef, *Ann., Transactions of the Geological Society of South Africa*. 34, 21–32.
- Marakushev, A. A., Glazovskaya, L. I., Paneyakh, N. A., Marakushev, S. A., 2012. Problem of the Origin of the Witwatersrand Uranium-Gold Deposit, *MSU Vestnik, Series 4. Geology*. 3, 3–16 [In Russian].
- Marfunin, A. S., 1987. History of Gold. Moscow, Nauka [In Russian].
- Minter, W. E. L., Goedhart, M., Knight, J., Frimmel, H. E., 1993. Morphology of Witwatersrand Gold Grains from the Basal Reef: Evidence for Their Detrital Origin, *Economic Geology*. 88, 2, 237–248.
- Nel, L. T., 1964. Problem of Uranite Genesis in Africa's Gold-bearing Conglomerates, *Trudy XXI Mezhdunarodnogo Geolicheskogo Kongressa*. Moscow, Mir. Iss. 3, 258–274 [In Russian].
- Neronsky, G. I., Gromakovsky, I. Yu., 2005. Unya-Bom Gold. Blagoveshchensk, AmurKNII [In Russian].
- Nikiforova, Z. S., 1999. Regularities in Aeolian Gold Arrangement, *Otechestvennaya Geologiya*. 4, 24–26 [In Russian].
- Oberphur, T., Saager, R., 1986. Silver and Mercury in Gold Particles from Proterozoic Witwatersrand Placer Deposits of South Africa: Metallogenic and Geochemical Implications, *Economic Geology*. 81, 1, 20–31.
- Ostapenko, N. S., Neroda, O. N., 2018. On the Age, Genesis, and Perspectives of Gold-Ore Mineralization in the Unya-Bom Gold-bearing Cluster, *Otechestvennaya Geologiya*. 4, 63–71 [In Russian].
- Ozerova, N. A., 1986. Mercury and Endogenic Ore Formation. Moscow, Nauka [In Russian].
- Petrovskaya, N. V., 1993. Gold Nuggets. Moscow, Nauka [In Russian].
- Pretorius, D. A., 1976. The Nature of the Witwatersrand Gold-Uranium Deposits, *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits*. Ed. K. H. Wolf. Amsterdam – Oxford – New York : Sci. Publ. Co. 7, 2, 29–88.
- Ramdohr, P., 1958. New Observations on the Ores of the Witwatersrand in South Africa and Their Genetic Significance, *Geological Society of South Africa*. 71, 67–100.
- Reid, A. M., 1988. Composition of Gold Grains in the Vaal Placer, South Africa, *Mineralium Deposita*. 23, 211–217.
- Robb, L. J., Hayward, C., 2014. Geochemistry of Placer Gold – A Case Study of the Witwatersrand Deposits, *Treatise on Geochemistry*. 13, 433–461.
- Robb, L. J., Meyer, F. M., 1995. The Witwatersrand Basin, South Africa: Geologic Framework and Mineralization Processes, *Ore Geology Reviews*. 10, 67–94.
- Saager, R., 1969. The Relationship of Silver and Gold in the Basal Reef of the Witwatersrand System, South Africa, *Mineralium Deposita*. 4, 2, 93–113.
- Schidlovski, M., 1968. The Gold Fraction of the Witwatersrand Conglomerates from the Orange Free State Goldfield (South Africa), *Mineralium Deposita*. 3, 344–363.
- Shcheglov, A. D., 1995. On the “Baley-Type” Quartz from Witwatersrand Gold-Ore Conglomerates (SAR), *Doklady Akademiyi Nauk*. 340 (5), 521–524 [In Russian].
- Shilo, N. A., Zakharova, M. E., 1986. Nature of Pyrite Formations from Witwatersrand Deposits, *Geology of Ore Deposits*. 2, 85–89 [In Russian].
- Stepanov, V. A., 2019. Gold Ore Perspectives of Priamurye, *Geology and Metallogeniya*. 77, 98–109 [In Russian].
- Stepanov, V. A., 2000. Gold and Mercury in the Amur Province. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Stepanov, V. A., Moiseyenko, V. G., 1993. Geology of Gold, Silver, and Mercury. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Vennemann, T. W., Kesler, S. E., O'Neil, J. R., 1992. Stable Isotope Compositions of Quartz Pebbles and Their Fluid Inclusions as Tracers of Sediment Provenance: Implications for Gold- and Uranium-bearing Quartz Pebble Conglomerates, *Geology*. 20, 837–840.
- Vollbrecht, A., Oberthür, T., Ruedrich, J., Weber, K., 2002. Microfabric Analyses Applied to the Witwatersrand Gold- and Uranium-bearing Conglomerates: Constraints on the Provenance and Post-depositional Modification of Rock and Ore Components, *Mineralium Deposita*. 37, 433–451.