



МИФ О ЗОЛОТОРУДНЫХ КОНГЛОМЕРАТАХ ПРОВИНЦИИ ВИТВАТЕРСРАНД (ЮЖНАЯ АФРИКА)

С. С. Долгушин

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

На основе критического анализа публикаций по уран-золоторудным месторождениям Витватерсранда (ЮАР) и использования современных экспериментальных данных по строению и составу рудно-магматических систем сделан вывод о том, что кварцевые уран-золотоносные породы обломочного облика этих месторождений, определяемые как конгломераты, на самом деле псевдоконгломераты. Показано, что их формирование связано с появлением (в результате глубокой дифференциации материнской силикатной магмы) ликвационного дифференциата – рудоносной (уран-золотоносной) флюидной магмы существенно кремнеземного состава. С ее интрузией, сопровождаемой местными закрытыми взрывами, связано образование кварцевых уран-золотоносных пород различного текстурного облика – от конгломератовидного до брекчиевидного и брекчиевого. Обоснованы представления о том, что эти месторождения, ранее относимые к экзогенной формации золотоносных конгломератов, – эндогенные образования, представляющие собой лишь частный случай широко распространенной кварцевожильной формации, которая характеризуется исключительно разнообразными формами проявления, как, например, месторождения Витватерсранда.

Ключевые слова: месторождение, уран, золото, флюидная магма, конгломераты, псевдоконгломераты, кремнеземный расплав, гель, коллоид, Витватерсранд.

THE MYTH ABOUT GOLD CONGLOMERATES OF THE WITWATERSRAND PROVINCE IN SOUTH AFRICA

S. S. Dolgushin

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

Based on a critical analysis of the published literature on the Witwatersrand uranium-gold deposits (South Africa) and the use of modern experimental data on the structure and composition of ore-magmatic systems, it is concluded that quartz uranium-gold-bearing rocks of these deposits defined as conglomerates are pseudoconglomerates. It is shown that their formation is associated with the ore-bearing (uranium-gold-bearing) fluid magma of a substantially silica composition occurred from deeply differentiated maternal silicate magma of liquation differentiate, and the intrusion of which is accompanied by local closed explosions and the formation of quartz uranium-gold-bearing rocks of various texture – from conglomerate to breccia-like and breccia, composing these deposits. It justifies the notion that these deposits, previously attributed to the exogenous formation of gold-bearing conglomerates, are endogenous formations and represent only a special case of a widespread quartz-vein formation characterized by exclusively diverse forms of its manifestation in the world, one of which is the Witwatersrand deposits.

Keywords: deposit, uranium, gold, fluid magma, conglomerate, pseudoconglomerates, silica melt, gel, colloid, Witwatersrand.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-1-57-70

Месторождения провинции Витватерсранд

Со времени открытия уран-золоторудных месторождений (обычно называемых золоторудными по ведущему полезному ископаемому) в провинции Витватерсранд (ЮАР) прошло более 130 лет. За это время там было добыто 50 тыс. т золота; разведанные запасы составляют еще 38,0 тыс. т. Некоторые авторы полагают, что общие ресурсы провинции достигают 100 тыс. т, и это при том, что золоторудные провинции с запасами 10,0 тыс. т уже считаются гигантскими. Говоря о столь значительных ресурсах, следует учитывать, что в настоящее время отработка месторождений ведется до глубин 3000–5000 м (глубина шахты Тау-Тона возле Йоханнесбурга 5000 м). Соответственно, можно полагать, что и ресурсы подсчитаны до этих глубин. В многочисленных публикациях за аналоги витватерсрандских месторождений выдаются месторождения в разных частях света [16

и др.]. Однако критерии этих сопоставлений, в первую очередь генетические, далеко не всегда однозначны. Поэтому большинство авторов придерживается мнения о том, что достоверных аналогов пока не обнаружено.

В общеструктурном плане уран-золоторудная провинция Витватерсранд находится в пределах прогиба (мульды) размером 400×180 км, расположенной на архейском фундаменте (Каапваальском кратоне) древней Африканской платформы. Прогиб составлен терригенно-вулканогенными пологолежущими породами нескольких докембрийских систем общей мощностью до 15 км. Вторая снизу система (мощность 7,5 км) – Витватерсрандская – вмещает большую часть золоторудных месторождений и заполнена песчаниками, алевролитами, филлитами, углеродистыми сланцами, кварцитами, вулканидами и конгломератами. Магматизм здесь пред-

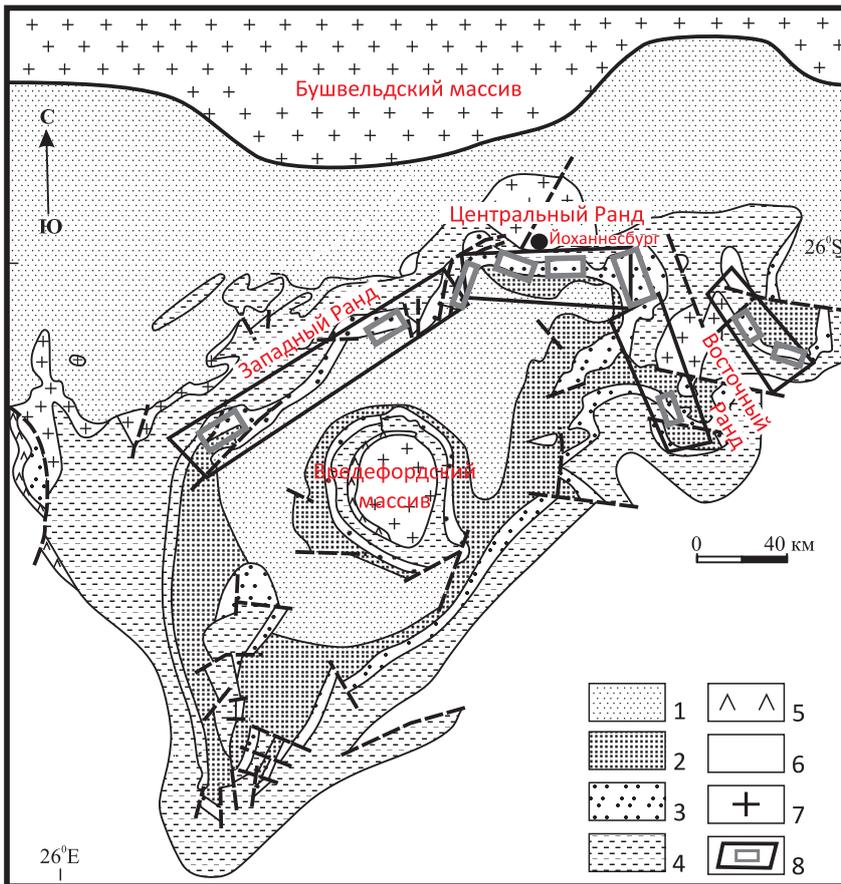


Рис. 1. Схема геологического строения депрессии Витватерсранд [9]

Вулканоогенно-осадочные формации (в скобках средний возраст, млн лет): 1 – Трансвааль (2025), 2 – Вентерсдорп (2709), 3–4 – верхний и нижний Витватерсранд соответственно (2914), 5 – Доминион (3074), 6 – фундамент (3120), 7 – интрузивные породы бушveldского комплекса (1950), 8 – Au-U провинция Витватерсранд и ее главные рудные узлы (дополнительно схематично нанесены контуры золотоносной провинции Витватерсранд и ее главных рудных узлов)

ставлен интрузивными массивами бушveldского комплекса разного состава (от кислого до среднего и щелочного).

Золоторудная провинция Витватерсранд располагается вдоль северного фаса прогиба и имеет вид дугообразной полосы протяженностью до 200 м и шириной 25–30 км и включает не менее 100 месторождений, сосредоточенных в девяти рудных полях (в отечественной терминологии – рудных узлах) (рис. 1). Золоторудные месторождения (местное название – рифы) распределены по всему 15-километровому протерозойскому разрезу, в основном в верхнем 4,5-километровом отделе витватерсрандской системы. Только в ее пределах они располагаются как минимум на 16 стратиграфических уровнях [9]. По строению и составу все месторождения одинаковы: линзы, преимущественно согласные (хотя есть и секущие) со слоистостью вмещающих пород, мощность линз от 0,1–0,5 до 1,0–1,5 м, протяженность первые десятки метров, максимальная до 1360 м [16, 29]. Они скомпонованы в зоны с вертикальной протяженностью до 1–3 и даже до 5 км, представляющие собой рудные столбы.

Состав рудных тел (рифов) существенно кварцевый. Их текстура обломочная конгломератовидная, брекчиевая или брекчиевидная вплоть до массивной со взаимопереходами. Она определяется наличием кварцевых обломков с разной степенью округленности: при округленности текстура конгломератовидная, при угловатости – брекчиевидная

или брекчиевая. Кварц в обломках жильного типа. Цемент также кварцевый, мелкозернистый, с гранулитовой структурой. Соотношение обломков разное, обычно цемент преобладает [9]. При уменьшении количества обломков вплоть до их полного исчезновения эти породы постепенно переходят в кварцит. Для всех месторождений провинции характерно преобладание брекчиевидных текстур над конгломератовидными. Исторически сложилось так, что исследователи параллелизовали конгломератовидные текстуры с конгломератами, и хотя они распространены меньше, чем брекчиевидные, все рудные тела провинции начали называть конгломератами, которые и стали своего рода визитной карточкой Витватерсранда.

Кроме того, примечательной особенностью витватерсрандских пород является наличие в кварцевой массе пирита не только в виде вкрапленности и гнезд, но и в форме шаров (диаметром от 1–2 мм до 2–3 см), известных как «пиритовая карточка».

Рудная минерализация тонкодисперсного типа, невидимая в микроскоп, находится только в цементе (а золото – и в пирите) и представлена золотом, ураном, платиноидами и редкими элементами. Среднее содержание золота в провинции 11,9 г/т, иногда до 20–30 г/т и даже выше.

Своеобразие витватерсрандских месторождений определяется гигантскими запасами золота на весьма ограниченной площади и их сложным, в общем неясным генезисом, который обусловлен тесной связью оруденения только с обломочными



породами. Эти породы называют конгломератами, и именно они создали месторождениям славу уникальных объектов, не имеющих аналогов нигде в мире. Полагая, что при всей уникальности объекта он не может быть единственным на Земле, геологи пытались понять причину неудачного поиска его аналогов, которую видели в разном понимании генезиса месторождений и, соответственно, критериев их поиска. Это и послужило основой продолжающихся до настоящего времени дискуссий, которые оформились в многочисленные взаимоисключающие гипотезы.

Гипотезы генезиса месторождений Витватерсранда

На этот счет существует множество гипотез, нередко принципиально противоречивых, в основе которых лежат вопросы происхождения рудноносных обломочных пород, традиционно называемых конгломератами, и соотношения с ними золотооруденения. Характеристика этих гипотез и их критический анализ приведены в многочисленных публикациях [6, 9, 16, 24, 25, 27, 30, 33, 35], а в обобщенном виде – в статье [28]. Все гипотезы в первом приближении можно разделить на четыре группы: осадочные, гидротермальные, осадочно-гидротермальные и магматогенные. Наиболее популярны осадочные, потому мы рассмотрим их подробно, лишь кратко охарактеризовав остальные, а также дадим обоснование новой предложенной нами магматогенной гипотезы.

Осадочные гипотезы

В этой группе наиболее популярна (а для зарубежных геологов непререкаема) россыпная, согласно которой южноафриканские месторождения представляют собой древние протерозойские россыпи, сингенетичные вмещающим конгломератам, а источник золота в них – золотоносные кварцевые жилы архейского фундамента далеко за пределами прогиба.

Генетическая связь золотооруденения с конгломератами в этих гипотезах общепризнана, однако существует множество вариантов, основанных на разном ее понимании. Так, например, в одних считается, что месторождения представляют собой древние золотоносные россыпи, сингенетичные вмещающим конгломератам, в других – что золотоорудная минерализация в виде золотоносных осадков, принесенных водами издалека, наложена на уже существующие конгломераты.

Для обоснования осадочных гипотез одними из наиболее точных критериев являются палеогеографические. Однако А. Дю Тойт, будучи сторонником этих гипотез, при анализе палеогеографических критериев вынужден был отметить, что они чрезвычайно противоречивы и не дают какой-либо аргументации, обосновывающей осадочный генезис так называемых кварцевых конгломератов. Рас-

сматривая многочисленные варианты осадочных гипотез, он отмечает: «...мнения о том, была ли эта поверхность дном моря или озера, морским побережьем, низкой дельтой или предгорной равниной разделяются... согласно Грейтону осадки откладывались на дне моря... Бекер, Грегори и Юнг придерживались мнения о широком морском побережье; Меллор привел серьезные доводы в пользу дельтового происхождения осадков; Рейне приводил данные, убедительно доказывающие существование континентальных условий...» [9, с. 83]. Добавим, что Д. Преториус [40], детально описавший палеографическую обстановку, связывал образования кварцевых конгломератов с бурными речными потоками. К этому мнению присоединился и А. Д. Щеглов [35]. Есть и другие варианты, например, связь оруденения с корами выветривания [16] и т. п. Ясно, что при такой противоречивости критериев достаточно объективного представления о происхождении обломочных пород, называемых кварцевыми конгломератами, нет, поскольку это вообще не конгломераты.

Как отмечают критики указанных гипотез, в них предостаточно уязвимых мест, практически приводящих к их отрицанию. Считаю необходимым остановиться на некоторых вопросах, принципиальных для понимания генезиса месторождений; в первую очередь, это происхождение галек и конгломератов, только кварцевый состав их цемента, избирательность оруденения и стратиграфический его контроль, происхождение россыпей и пути доставки в них золота.

Гальки и конгломераты. В Витватерсранде выделяют два типа конгломератов: нерудные полимиктовые и рудные олигомиктовые кварцевые, представляющие собой золоторудные месторождения (риффы). Известно, что состав конгломератов определяется составом пород акватории сноса. Это не соответствует исключительно кварцевому составу галек рудных конгломератов. Именно данное несоответствие и является одним из наиболее слабых мест осадочной гипотезы их происхождения. Как уже отмечалось, текстурный узор рудных рифов определяется двумя совместно существующими типами кварцевых обособлений в мелкозернистой кварцевой матрице: 1) в разной степени округлые обособления кварца, считающиеся гальками, которые придают породе конгломератовидный облик, 2) остроугольные обломки такого же кварца, определяющие брекчиевидную или даже брекчиевую текстуру. Если преобладают обособления первого типа, породу называют конгломератами, если второго второго – брекчиями, а при совмещении обоих типов – конглобрекчиями.

Главная причина, определяющая содержание любых гипотез генезиса витватерсрандских месторождений, – принципиально разное понимание природы округлых форм кварцевых обособлений рудных тел (риффов). В осадочных (россыпных) ги-

потезах это речные окатыши – гальки, а вся порода – конгломерат. Однако у российских геологов имеются принципиально другие представления об этих породах: как о псевдоконгломератах – продуктах не экзогенных (осадочных), а эндогенных процессов [3, 7, 24, 30, 33, 35]. В этом контексте весьма показательным высказывание акад. Н. А. Шило [3]: «...сфероидальные формы действительно образуются в эндогенных условиях, но не обвораживающим ум окатыванием, а иным путем», при закрытых эксплозиях (эксплозивные брекчии), ликвации магматического расплава или концентрированного гидротермального флюида (глобулярные текстуры), метасоматозе (округлые кварцевые стяжения и др.), т. е. породы представляют собой не конгломераты, а псевдоконгломераты.

Следует отметить, что первым усомнившимся в конгломератовой природе витватерсрандских рифов был А. М. Портнов [24], который на примере Кочбулакского месторождения Узбекистана показал: если бы не заведомо эндогенный генезис месторождения как трубки взрыва, то слагающие ее эксплозивные брекчии с их округлыми обломками нельзя было бы отличить от так называемых конгломератов Витватерсранда.

Российские геологи, занимавшиеся изучением «галек» витватерсрандских рифов показывают, что, несмотря на метаморфизм, нивелирующий первичные структуры «галек», в ряде случаев в них все же достаточно полно сохранились реликты их концентрически-зонального строения, которые свидетельствуют об образовании «галек» как глобул из кремнеземного геля (расплава), а вовсе не как окатышей в водной среде. Вообще, глобулярные «кон-

гломератовидные» текстуры обычны для многих эндогенных месторождений (железородных – трубки взрыва на Сибирской платформе, полиметаллических на Алтае и Урале, оловородных в Забайкалье и некоторых золоторудных, например Балецкого). А. Д. Щеглов в Балецком месторождении видит частичный аналог витватерсрандских объектов. Здесь руды образованы из золотоносного гидротермального кремнеземного геля [1, 36] (в нашей интерпретации – кремнеземного расплава), определяющего крустификационные, почковидные, фестончатые, кружевные и, что особо роднит их с витватерсрандскими объектами, глобулярные текстуры (рис. 2). Однако из-за очевидности эндогенной природы последних их никогда не относили к конгломератам, в отличие от витватерсрандских.

Говоря об округлых обособлениях кварца, определяющих конгломератовидный облик рудных рифов, необходимо отметить, что в африканских месторождениях преобладают вовсе не конгломератовидные текстуры, а брекчиевидные или даже брекчиевые, порождаемые закрытыми эксплозиями, которые неизбежно сопровождают ликвационные процессы и приводят к дроблению как кремнеземной матрицы, так и кварцевых глобул. При этом в зависимости от характера эксплозий и степени перемещения обломков они в какой-то мере округляются и по текстурному облику становятся похожими на конгломераты, будучи в действительности псевдоконгломератами. Тем не менее традиционно все кварцевые рифы, независимо от их текстурного облика, называли конгломератами. Это, например, видно из работы Ю. Г. Сафонова и В. Ю. Прокофьева, посещавших витватерсрандские месторождения и писавших, что «риф Карбон-Лидер в осмотренных выработках не выглядит как „конгломератовый“ горизонт. Галечные образования здесь можно выделить лишь условно в нечетко выраженных зонах мощностью от 1–2 до 30 см, имеющих брекчиевидные строения...» [27, с. 148]. Примерно то же говорил и А. Д. Щеглов, также посещавший эти месторождения [35]. Примечательно и высказывание Ф. П. Кренделева: «...в районе Претории конгломерат более всего похож на брекчированный кремль» [16, с. 33].

Определяя рифы Витватерсранда как псевдоконгломераты, необходимо особо обратить внимание на то, что эта проблема исключительно актуальна для большого класса рудных месторождений. Так, геология рудных месторождений изобилует примерами, когда на месторождениях первоначально обломочные породы принимали за конгломераты и только после проведения большого объема разведочных или даже эксплуатационных работ определяли их уже как эксплозивные брекчии, т. е. псевдоконгломераты [13, 22]. Эксплозивные месторождения трубок взрыва с эксплозивными брекчиями с той или иной степенью округленности обломков (иногда вплоть до шаровых форм, весьма

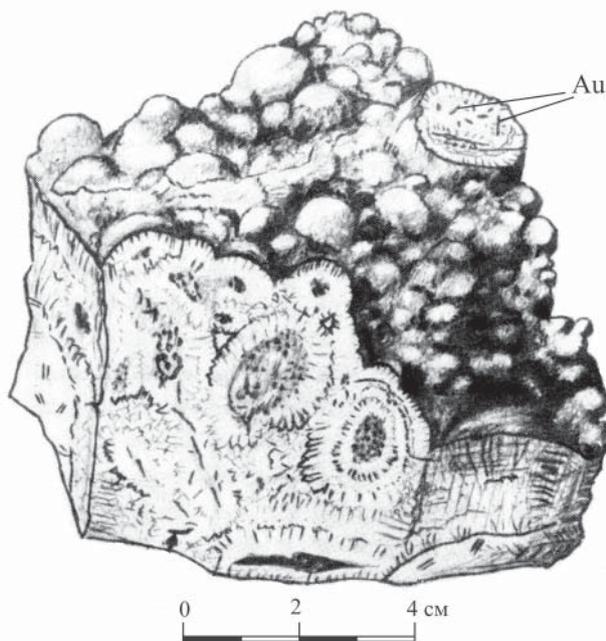


Рис. 2. Балецкое месторождение. Жила № 53 [1]. Глобулярная текстура золоторудных кварцевых жил (глобулы – кварц с чешуйками золота; цемент – халцедон с тонкодисперсным золотом). Текстурированный аналог золотоносных «конгломератов» Витватерсранда



похожих на конгломераты), широко развиты во всем мире (гигантское месторождение Крипл-Крик в Австралии, группа забайкальских месторождений Дарасунского рудного поля в России, Кочбулак в Узбекистане и мн. др. [11, 12]). Следует также заметить, что рудные взрывчатые брекчии широко распространены и слагают месторождения не только золота, но и других металлов, в частности колчедана, молибдена, олова и др. В этом плане не исключение и Витватерсранд.

Кварцевый состав «галек конгломератов».

В осадочных гипотезах наиболее распространено мнение о том, что источник кварцевой гальки в этих «конгломератах» – кварцевые жилы архейского фундамента, при размыве и последующих многочисленных перемывах которых остается только устойчивая кварцевая галька. Наиболее популярна в этом плане гипотеза о древних корях выветривания, в которых в конечном счете остается только наиболее устойчивый к выветриванию кварц, который далее переносится в виде гальки [9, 16]. Однако неясно, каким образом действует этот механизм при формировании кварцевых конгломератов для толщи мощностью в 15 км с более чем тремя десятками стратиграфических уровней в течение 600 млн лет, да еще и для сотни месторождений, расположенных на большой площади. Столь многочисленных перерывов, определяющих появление кор выветривания, в осадочно-накоплении этих толщ нет.

Акцентируя внимание на кварцевом составе «галек», необходимо отметить, что и их цемент представлен кварцем, отличающимся от самих «галек» только мелкозернистостью [9, 16]. В этом отношении конгломератовидные текстуры так называемых кварцевых конгломератов Витватерсранда можно сравнить с золотоносными кварцевыми жилами Балейского месторождения в Забайкалье [1], в которых широко развиты колломорфные (пестельчатые, кружевные и т. д.) текстуры, переходящие в глобулярные (см. рис. 2), практически тождественные таковым в рудных рифах Витватерсранда. Однако эндогенная природа балейских руд «как образованных из гидротермального кремнеземного геля ни у кого не вызывает сомнения» [37, с. 31], в то время как витватерсрандские считаются экзогенными образованиями (конгломератами).

При этом в альтернативных гипотезах эндогенного генезиса африканских месторождений гальковидные кварцевые образования (и их цемент тоже) рассматриваются в качестве эндогенных производных как кварцевые метасоматиты [30], ликвационные глобулы кремнеземного расплава [4, 7, 25, 33] или округленные обломки кварца в взрывчатых брекчиях [7, 24, 33], а вся порода – как кварцевый псевдоконгломерат. Нам представляется, что именно это объяснение их происхождения наиболее правдоподобно.

Избирательность оруденения только кварцевых «конгломератов». Как уже отмечалось,

в Витватерсрандской провинции выделяются два типа конгломератов: полимиктовые и олигомиктовые кварцевые. Если ни у кого нет сомнений в экзогенной осадочной природе полимиктовых конгломератов, то для олигомиктовых они есть: в последнее время у российских геологов появилась гипотеза об их эндогенной природе как псевдоконгломератов [7, 24, 25, 30, 33, 35]. Эти разночтения имеют глубокий смысл, поскольку разное понимание природы обломочных пород кварцевого состава, традиционно называемых конгломератами, в значительной (если не решающей) степени определяет представления о генезисе витватерсрандских месторождений. Суть этих разногласий определяется избирательностью рудной минерализации относительно «конгломератов» разного состава.

В витватерсрандских месторождениях примечательно то, что рудными являются только олигомиктовые кварцевые конгломераты, но никогда полимиктовые. Во всех публикациях при описании конкретных месторождений (одинаковых по составу) этот факт признают, однако, характеризуя геологическую ситуацию, слово «кварцевые» применительно к рудным конгломератам опускают как ненужную деталь и далее пишут уже просто о конгломератах, не упоминая об их исключительно кварцевом составе. Именно это и отражено в выделении особой «формации золото-рудных конгломератов» без упоминания об их кварцевом составе – «визитной карточке» Витватерсранда.

Сторонники осадочного генезиса недооценивали или просто не понимали этого факта, как, например, А. Д. Щеглов, писавший, что сочетание оруденения с кварцевыми конгломератами – явление случайное и внимания на него обращать не следует, «так как это случайное благоприятное совпадение одновременности образования конгломератов и излияния золотоносных гидротерм в водный бассейн, где шло их формирование» [35, с. 38]. Между тем сторонник гипотезы эндогенного гидротермального генезиса Ф. П. Кренделев высказывался так: «...оруденевают не любые конгломераты, а только кварцевые... кварц в этом процессе играет какую-то существенную роль» [16]. Продолжая его мысль, мы полагаем, что эти породы вообще не конгломераты, а псевдоконгломераты – продукты ликвационного расслоения с глобулярной (конгломератовидной) текстурой изначально золотоносного магматогенного кремнеземного расплава. По нашему мнению, ни о каком «случайном» совпадении сочетания оруденения с кварцевыми «конгломератами» не может быть и речи. Сочетание золотооруденения именно с кварцевыми «конгломератами» и определяет генезис обсуждаемых месторождений.

Источники золота для «россыпей» и его транспортировки. В экзогенной осадочно-россыпной гипотезе источник золота видят в золотоносных кварцевых жилах фундамента, при их разрушении питающих витватерсрандские месторождения [9, 11, 29, 35, 40]. Суть проблемы заключается как в количестве



золота, так и в путях его доставки до месторождения. При эндогенном процессе практически любое количество рудного компонента и его доставка не представляют проблемы, но при экзогенном это не так. Некоторые авторы отмечали, что одним из самых уязвимых положений россыпной гипотезы является проблема количества золота в источнике и его доставки [7, 15, 27]. В связи с этим возникают по крайней мере два вопроса: 1) источники золота с гигантскими объемами (до 100 тыс. т) в фундаменте, питающие россыпи Витватерсрандской провинции; 2) дальности переноса золота от источника до россыпи.

Витватерсрандская провинция находится в пределах мульды и удалена от выходов фундамента на многие километры, а от возможных источников в нем – на многие сотни километров. И каким же образом золото попадало в россыпь из источника? Из работы [34], а также из практики известно, что россыпи золота образуются на расстоянии от источника не далее первых километров, а в «ближайшем сносе» его теряется уже до 50 %. Иначе говоря, если запас золота в провинции 100 тыс. т, то в источнике должно быть не менее 200 тыс. т, а такого в акватории сноса быть не может.

На эту проблему обращали внимание М. М. Константинов и др., также отмечавшие неясность первичного источника золота: «...если золото имеет обломочное происхождение и образовалось при эрозии рудных месторождений, должен существовать эквивалент в виде одного гигантского (1000 т) месторождения для каждого из 40 рудников Витватерсранда (не считая оставшихся запасов, оцениваемых в 30 тыс. т золота)...» [11, с. 155]. Уместно отметить, что российские геологи в отличие от зарубежных не считали источником россыпей Витватерсранда золотоносные кварцевые жилы или месторождения фундамента ввиду явной несостоятельности этих представлений.

Напомним, что по мировой статистике [16, с. 13] содержание золота в россыпях составляет в среднем 0,4 г/т, а в коренном залегании – 10 г/т, в то время как в витватерсрандских месторождениях 11,9 г/т, а ведь встречается и 20, и 30 г/т и даже более. Только сами по себе эти факты отрицают возможность осадочного (россыпного) генезиса африканских месторождений.

Стратиграфический контроль оруденения.

Это важный пункт обоснования осадочных гипотез, базирующийся в основном на будто бы закономерном положении оруденения в протерозойском стратиграфическом разрезе прогиба и силлообразной форме залегания рудных рифов, согласной со слоистостью вмещающих толщ.

Золоторудные рифы располагаются в пределах всего 15-километрового протерозойского разреза прогиба более чем на двух десятках уровней, максимальное из количество отмечено в верхнем 4,5-километровом отделе системы на 16 стратиграфических уровнях. А. М. Портнов [24], используя радио-

логические данные по урану, отмечает, что возраст нижних и верхних толщ 10-километрового разреза различается на 600 млн лет (2,5 и 1,9 млрд лет соответственно). Приблизительно тот же результат получается и при расчете по геологическим критериям применительно к скорости отложения осадков. Естественно, что и возраст сингенетичных золотоносных конгломератов нижних и верхних частей этого разреза должен различаться на ту же величину. Между тем указанный автор пишет, что радиологический возраст золоторудных конгломератов по всему разрезу одинаков и это определенно свидетельствует о более молодом, наложенном характере оруденения, а вовсе не о его стратиграфическом контроле. Кроме того, если исходить из представлений о стратиграфическом контроле оруденения, получается, что во всей толще прогиба в течение 600 млн лет более 30 раз повторялись сходные (раз все месторождения одинаковы) палеогеографические условия, определявшие формирование однотипных золотоносных конгломератов. А это даже и представить трудно.

Следует также обратить внимание на то, что золоторудные конгломераты (рифы) в пределах определяемых стратиграфических уровней (горизонтов) не образуют единых протяженных пластов, как считают сторонники осадочных гипотез, а представлены разобщенными на многие сотни метров или даже десятки километров линзами (силлами), протяженность которых по простиранию – лишь первые сотни метров, максимум до 1360 м [16]. Анализируя эту ситуацию, Ф. П. Кренделев [16] отмечает, что представления о рудоносных уровнях в значительной степени идеализированы, так как в условиях, когда вмещающие оруденение протерозойские толщи почти повсеместно перекрыты чехлом послерудных палеозойских отложений мощностью до 3–4 км, идентификация уровней в пределах всего прогиба без наличия маркирующих горизонтов, а только по данным бурения крайне проблематична.

Представляется, что «разброс» месторождений в стратиграфическом разрезе по вертикали не связан с их приуроченностью к определенным, весьма многочисленным «золотоносным горизонтам», а определяется разной глубиной проникновения эндогенных рудоносных растворов в толщу прогиба.

В качестве подтверждения того, что оруденение сингенетично вмещающим толщам, приводят согласное со слоистостью силлообразное залегание рудных рифов. В большинстве случаев это действительно так, однако встречается и несогласное залегание. Например, в горизонте Майн-Риф-Лидер золотоносные кварциты мощностью от нескольких сантиметров до 25 м залегают несогласно со слоистостью, они выполняют канал, представляющий собой рудный столб [16]. Кроме того, известны многочисленные случаи несогласного залегания (типа «притыкания») рудных рифов. Африканские геологи [9 и др.] объясняют это тем, что рифы выполняют



речные эрозионные каналы (или даже каньоны) во вмещающих толщах, в то время как эти случаи вполне могут соответствовать более поздним, наложенным рудно-магматическим процессам, например, закрытым эксплозиям и т. д. Сторонники осадочно-генезиса, доказывая стратификацию оруденения, акцентируют внимание на согласном со слоистостью залегании рифа. Они не обращают внимания на то, что не только рифы, но и интрузивные магматические породы (габброиды, диабазы, порфириды, альбитофиры, кварцолиты и др.) широко развиты в рудных полях в виде не только даек, но и послонных интрузий (силлов), образующих вместе с рудными рифами разрез типа «слоеный пирог» [9, 16]. Согласное (силлообразное), как в Витватерсранде, залегание рудных тел эндогенных месторождений в слоистых толщах, определяемое их ярко выраженной анизотропией, – явление обычное и в рудной геологии представляет собой важнейший рудоконтролирующий фактор. В пример можно привести гигантские месторождения (Сухой Лог, Олимпиадинское и др.), на которых рудные зоны занимают в целом субпластовое положение [17]. Поэтому ссылаться на согласное со слоистостью залегание рудных тел для обоснования осадочного генезиса витватерсрандских месторождений некорректно.

Таким образом, анализ положений фактически господствующей осадочно-россыпной гипотезы показывает, что они далеко не однозначны и в значительной степени тенденциозны, а основанные на них представления о генезисе южноафриканских месторождений вызывают весьма серьезные возражения.

Гидротермальные гипотезы

Они основаны на представлениях о том, что оруденение гидротермального типа наложено только на уже существующие олигомиктовые кварцевые конгломераты [8, 16], в то время как другие вмещающие породы (полимиктовые конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и т. д.) никогда не оруденевают. Важно подчеркнуть, что сторонники и этой гипотезы также считают кварцевые рудные рифы не гидротермальными образованиями, а кварцевыми конгломератами. Однако они видят тесную связь оруденения только с этими конгломератами и полагают, что оно избирательно наложено только на них. Эта удивительная избирательность оруденения – одно из самых критикуемых положений гипотезы.

Сложный и во многом неясный характер соотношения кварцевых «конгломератов» с оруденением привел к тому, что многие геологи, как отмечал А. Дю Тойт [9, с. 91], «не смогли признать ни осадочную, ни гидротермальную гипотезы». Так, Фишер в результате проведенной большой работы пришел к заключению, что геологическое изучение склоняет его к россыпной теории, а микроскопия – к гидротермальной. В качестве реакции на эту ситуацию

в среде российских геологов в конце прошлого столетия сформировалась компромиссная гидротермально-осадочная гипотеза [15, 27, 35].

Гидротермально-осадочная гипотеза

Она, как и ее усовершенствованный вариант (вулканогенно-осадочная), объединяет в себе главные положения осадочных и гидротермальных гипотез. Считается, что месторождения образовались в результате вулканической деятельности, породившей рудоносные гидротермы, из которых в морской бассейн на уже имеющиеся или формирующиеся в нем кварцевые (именно кварцевые) конгломераты откладывалось рудное вещество. В общем виде авторы называют свою гипотезу полигенно-полихронно осадочно-гидротермальной [15]. Не касаясь ее содержания, полно изложенного в публикациях, лишь отметим, что она содержит недостатки обеих гипотез.

Анализируя перечисленные гипотезы, следует отметить, что независимо от их генетической сущности экзогенных или эндогенных главным для них является признание определяющей роли кварцевых конгломератов в рудообразующем процессе, на что особо обращал внимание Ф. П. Кренделев [16].

Однако оформившиеся в последнее время представления [7, 25, 30, 33 и др.] об обломочных породах не как экзогенных осадочных образованиях (конгломератах), а как об эндогенных породах (псевдоконгломератах) в корне противоречат всем существующим гипотезам генезиса африканских месторождений. Поэтому появилась альтернативная принципиально новая магматогенная гипотеза генезиса африканских месторождений.

Магматогенная гипотеза

Признавая эндогенный характер оруденения месторождений Витватерсранда, мы полагаем, что их образование связано не с гидротермальными растворами, а с флюидным магматическим расплавом. Поэтому, прежде чем перейти к изложению нашего варианта магматогенной гипотезы, необходимо сделать некоторые замечания относительно различия этих гипотез.

В теории эндогенного рудообразования основополагающими фактически являются представления о переносе рудного вещества гидротермальными растворами. Все разногласия в оценке роли последних в формировании месторождений сводятся к разному пониманию их состава, степени концентрации рудного вещества и форм его переноса. Первоначально считалось, что гидротермальные растворы, будучи истинными (ионными), имеют низкую концентрацию рудного вещества, но на месте их становления по мере распада рудное вещество отделяется от водной фазы и выпадает в осадок, образуя коллоидные и гелеподобные массы, из которых и образуются месторождения. Однако дальнейшее развитие представлений об ионных растворах показало, что максимально возможная концентрация в них рудных элементов ни-



чтожна и не может обеспечить поступление рудного вещества для формирования месторождений. Это неоднократно было показано К. Краускопфом, Ф. П. Чухровым, С. С. Смирновым и мн. др. Так, например, О. Д. Левицкий при характеристике месторождений олова жильной кварц-касситеритовой формации Забайкалья показывает широкое развитие глобулярных текстур, определяемых глобулами как кварца, так и касситерита, образованных из гидротермального оловянно-кремнеземистого геля [21, с. 312–334].

Позднее А. Г. Бетехтин [21, с. 125–311, 479–520], развивавший эту гипотезу, предположил, что форма переноса металлов в гидротермальном растворе не ионная, а галоидная, что увеличивает их концентрацию в сотни или даже тысячи раз и определяет образование коллоидов. Эта точка зрения получила всеобщее признание, разделяемое многими авторами и сейчас. Однако со временем выяснилось, что гипотеза А. Г. Бетехтина применима только к сульфидам, но не к другим минералам (рудным и петрогенным), в частности к кремнию, а ведь именно с ним мы связываем образование африканских месторождений. Также стало ясно, что и эта форма переноса не обеспечивает их концентрацию, необходимую для формирования месторождений. Судя по геологическим данным, месторождения образовались из весьма концентрированных систем (типа коллоидов), недоступных по концентрации вещества для гидротермальных растворов [1, 11, 14, 22, 25, 32 и др.].

Кроме того, представления о гидротермальных коллоидных системах как переносчиках вещества от места зарождения до места отложения с учетом неизбежности на этом пути изменений физико-химических условий (РТ, полимеризации, потери газовой фазы, химических реакций и т. д.) сталкивались с важнейшей особенностью этих систем – неустойчивостью при изменении условий, которая ведет к их распаду [14, 32].

Таким образом, имеющиеся сведения о невысокой концентрации рудного вещества в гидротермальных растворах в ионной или какой-либо другой форме противоречат геологическим данным о его отложении на месторождениях из плотных высококонцентрированных рудоносных систем.

Проблему высоких концентраций вещества в рудоносных системах можно решить на основе современных материалов. Следует отказаться от признания ведущей роли гидротермальных растворов в концентрации и переносе рудного вещества и признать главенствующим магматический расплав (флюидную рудную магму, которая является ликватом исходной материнской магмы). Эта гипотеза базируется на полевых наблюдениях и экспериментальных данных об эволюции рудно-магматических систем, которые обуславливают образование конкретных групп месторождений, в том числе витватерсрандских [2, 5, 8, 17, 18, 20, 22, 25, 26, 33, 36, 38]. Результаты мно-

гочисленных исследований по этому вопросу были обобщены акад. А. А. Маракушевым [17, 25].

Согласно этим работам в определенных условиях (вмещающая среда, изменение РТ условий, полимеризация, газовые реакции и т. д.) происходит ликвационная дифференциация исходной магмы очага на две совместно существующие фазы: газовой-гидротермальную и флюидный силикатный расплав (силикатную магму). При этом рудные элементы в большей степени адсорбируются силикатным расплавом (ранее его называли рудной рапой, рудным остатком, рудным расплавом, расплавом-раствором, концентрированным раствором и т. д.), образующим месторождения из концентрированных «коллоидных» систем. Газово-гидротермальная фаза, в которой меньше рудных элементов, осуществляет метасоматическую проработку вмещающей среды и создает окологрудную вкрапленность. Соотношение этих фаз между собой и определяет облик конкретного месторождения.

Таким образом, сущность представлений о строении и составе рудно-магматических систем с преобладанием рудоносных расплавных фаз для определенной группы месторождений сводится к признанию определяющей роли рудно-магматического процесса в плотных высококонцентрированных рудных флюидных системах типа рудных магм, а не концентрированных гидротермальных растворов.

В статье [17] на экспериментальном уровне обосновываются представления о главенстве именно магматического расплава в концентрации рудного вещества, а в статье [25] эти положения (применительно к витватерсрандским месторождениям) переводятся в прикладную плоскость. А. А. Маракушев показывает, что они имеют магматогенный генезис при первично-расплавной природе кремнеземного золотосодержащего флюида, связанного с магматическим очагом, материнским для месторождения. Соответственно, он пишет, что кварцевые породы конгломератовидного облика золотоносных рифов являются не конгломератами, а псевдоконгломератами, так как округлые кварцевые обособления («гальки») – это глобулы, продукты ликвационной дифференциации кремнеземного расплава, расслаивающегося на безрудные кварцевые нодулы и кварцевую рудную матрицу. Кварциты, сопровождающие рудные образования, он рассматривает как продукты кремнеземного расплава. Тесные взаимоотношения округлых и обломочных форм кварца в рифах он связывает с тем, что перемещению и перемешиванию материала в рудах способствует, кроме того, и взрывной характер рудообразования.

Резюмируя позицию А. А. Маракушева относительно генезиса африканских месторождений, отметим, что она полностью подтверждает высказанное нами ранее [3] представление о магматогенно-эксплозивном их происхождении в связи с инъекцией рудоносного кремнеземного флюида



(рудной магмы). Используя термин «рудная магма», мы следуем за Ч. Ф. Парком [23, с. 31], писавшим, что «магмы или магматические фракции, которые после затвердевания оказываются рудами, называются рудными магмами».

Следует сказать, что представления о рудных магмах не новы. Это, как говорится, хорошо забытое старое. Еще 100 лет назад их сформулировал Дж. Сперр в известной работе [41]. Позже его поддержали многие ученые (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, С. С. Смирнов, Ф. В. Чухров, Ч. Ф. Парк, а затем и Н. П. Ермаков [10], А. А. Маракушев [17, 25], Г. А. Юргенсон [37] и мн. др., хотя они и называли рудные магмы по-разному. Так, например, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, разделяя магмы на силикатные и несиликатные, выделяет в последних пять типов: карбонатитовую, апатитолитовую, сульфидолитовую, ферролитовую и, что особенно важно для понимания генезиса африканских месторождений, кварцолитовую.

Прямым доказательством наличия рудных магм являются четвертичные гематит-магнетитовые лавы месторождения Лако (Чили), описанные Ч. Ф. Парком и С. Хаггерти [23, 39], магнетитовые лавы Кируны [38], гематитовые лавы Алтая [20], сульфидные магмы Норильска, Садбери и острова Гавайи, современные карбонатные лавы Танганьики и Ирана, карбонатиты редкометалльных месторождений, хромитовые интрузивные тела и т. д. В этом ряду стоят и кремнеземные магмы рассматриваемых африканских золоторудных месторождений.

Надо отметить, что представления о рудных магмах, несмотря на их возникновение еще на заре геологической науки, вплоть до настоящего времени не имели широкого признания, хотя их упорно поддерживали многие ученые. Так, Ч. Ф. Парк писал: «...не исключено, что представление о рудных магмах будет еще утверждено в науке о рудных месторождениях, ибо нет ни теоретического, ни практического смысла отвергать возможность существования рудных фаций магмы» [23, с. 31].

Из самой природы рудных магм, как производных дифференциатов разнообразных материнских силикатных магм, следует, что они имеют разный вещественный состав (карбонатные, кремнеземные, сульфидные, железорудные и т. д.) и разную концентрацию петрогенных и рудных элементов. Например, это кремнеземные с невысоким (доли процентов), но промышленно значимым содержанием золота, урана, сульфидов, других металлов; или, наоборот, – с очень высоким (до 100 %) (сульфидные, железорудные и др.). Понятно, что разная степень концентрации петрогенных и рудных элементов в рудных магмах и соотношения их с совместно существующими газово-гидротермальными фазами и определяет их способности к формированию облика и состава месторождений.

Не касаясь всего разнообразия рудных магм, обратим внимание только на одну разновидность –

золотоносные кремнеземные, с которыми, с нашей точки зрения, связано оруденение рассматриваемых африканских месторождений. Кроме А. А. Маракушева [17, 25], неизбежность отщепления от материнской магмы рудоносного флюидного кремнеземного расплава (флюидной кремнеземной магмы) в определенных условиях в результате ликвационной дифференциации на экспериментальном уровне доказано и многими другими исследователями, в частности Н. Г. Ермаковым [10], Г. А. Юргенсоном [37], Г. Б. Мелентьевым и др. [18] и др. Так, Н. П. Ермаков, анализируя соответствующие диаграммы пишет, что «усиление тенденции магматического расщепления к концентрации кремнезема, связанное с вариациями давления и влияния других флюидных компонентов, ведет к образованию кварцолитовых (калевошпато-кварцевых и кварцевых) магм» и далее «ряд гранитных плутонов Казахстана представляют возможность убедиться в широком обособлении кремнистых расплавов от силикатной части гранитных магм» [10, с. 72]. Он показывает, что в пределах крупного Каибского гранитоидного плутона находятся многочисленные кварцевые дайки, из которых несколько (5–6) имеют мощность по 25 м, в раздувах до 100–200 м. Многие исследователи считают их мощными зонами окварцевания. Однако Н. П. Ермаков, основываясь не только на экспериментальных данных, но и на полевых наблюдениях, считает эти тела не метасоматитами по зонам окварцевания, а магматическими образованиями и определяет их как дайки кварцолитов. Пополняя данные Н. П. Ермакова, отметим, что и в Витватерсранде можно убедиться в широком обособлении кремнистых расплавов от силикатной части гранитных магм в области развития плутонов рудоносного бушвельдского комплекса. А. Дю Тойт отмечает обилие так называемых псевдотахилитов – кремнистых пород преимущественно обломочной текстуры, слагающих многочисленные дайки, жилы и штокверки вблизи гранитоидных массивов этого комплекса [9, с. 159].

Особенно полно для рассматриваемых кварцзолоторудных месторождений эта точка зрения была обоснована Г. А. Юргенсоном для Забайкалья [36]. Он установил, что жильный кварц золоторудных месторождений – продукт эволюции высококонцентрированных существенно силикатных флюидов (кремнеземных магм), обогащенных летучими и рудными элементами. Со ссылкой на экспериментальные работы А. Г. Миронова он отметил, что в кремнеземной магме, давшей кварцевые жилы, растворимость золота достигает $1 \cdot 10^{-4}$ моль/кг, т. е. 19,7 г/т, что полностью соответствует содержанию золота в витватерсрандских месторождениях.

Обобщение экспериментальных и геологических данных о природе и составе рудоносных систем позволяет сделать вывод о том, что они, как ликваты исходной материнской магмы, представляют собой разного состава высококонцентрированный флюид-



ный расплав (флюидную магму), обеспечивающий на месте своего становления образование месторождений определенного типа. В нашем случае это изначально золотоносный кремнеземный флюид, отвечающий понятию «флюидная кремнеземная магма». В свете изложенных данных о строении рудно-магматической системы месторождений Витватерсранда, их генезис представляется в следующем виде.

В результате дифференциации магмы, предположительно бушвельдского комплекса, образовался существенно кремнеземный (70–90 %) полимеризованный уран-золотоносный кремнеземный флюидный расплав – кремнеземная флюидная магма, с интрузией которой и связано образование уран-золоторудных месторождений. Такой состав флюидной магмы определил образование кварцевых пород разного текстурного облика – от конгломератовидного (глобулярного) до брекчиевидного и брекчиевого. При этом конгломератовидный (глобулярный) облик кварцевых пород был связан с ликвационными процессами при распаде (расслоении) флюидной системы, а брекчиевидный – с местными закрытыми взрывами, неизбежно сопровождающими становление полимеризованных флюидных систем. В результате совмещения ликвационных и взрывных процессов формирующаяся кварцевая порода приобрела конгломерато-брекчиевый облик с взаимопереходами друг в друга. Это и наблюдается на рассматриваемых месторождениях даже в одном штуде.

Рудоносность данных месторождений определяется изначально содержанием золота и урана в кремнеземном флюиде, при ликвационном расслоении и раскристаллизации которого золото оказалось в кварцевом цементе в дисперсной форме, а также в составе пирита. Содержание других рудных элементов (платиноидов, сульфидов и др.) тоже определялось также изначально их содержанием в кремнеземном флюиде. Поэтому сочетание определяемых по-разному кварцевых пород (конгломераты, псевдоконгломераты или брекчии с рудной (золотоурановой) минерализацией), считающееся некоторыми авторами [35] случайным, – явление далеко *не случайное*, а *вполне закономерное*. Оно обусловлено самим способом образования месторождений из рудоносной флюидной кремнеземной магмы, определяющей их принадлежность к кварцево-жильной золотосульфидной формации широко распространенной в других регионах мира, а месторождения Витватерсранда – лишь частный случай проявления этой формации.

Выводы

Признание определяющей роли в формировании рассматриваемых месторождений изначально рудоносной флюидной кремнеземной магмы решает **основные** проблемы в установлении их генезиса: 1) почему так называемые конгломераты имеют

только кварцевый состав, 2) почему оруденевают только олигомиктовые кварцевые «конгломераты», а не все другие полимиктовые, которых в составе рудовмещающих толщ (в противоположность кварцевым) предостаточно (0,2 % от разреза). Во-первых, кварцевые породы обломочного облика, так называемые конгломераты, на самом деле являются псевдоконгломератами, а их кварцевый состав определяется образованием из кремнеземной магмы. Во-вторых, оруденение генетически связано только с кварцевыми породами, поскольку кремнеземный флюид, давший эти породы, был изначально золотоносен.

Находят объяснение и другие явления: глобулярная форма выделений кварца и шаровая – пирита, уранита, тухолита и золота (как продуктов ликвации рудоносного флюида); брекчиевидная текстура кварцевых пород (как продуктов закрытых взрывов); резкие, интрузивного типа контакты рудных (кварцевых) тел; постепенные переходы по простиранию рудных «конгломератов» в золотоносные кварциты; многочисленные признаки образования кварцевых «галек» при коацервации и синерезисе из плотных гелеобразных масс кремнезема и т. д. Это позволяет выработать новые критерии поисков уран-золоторудных месторождений типа Витватерсранда.

Принадлежность витватерсрандских месторождений к широко распространенной в мире кварцево-жильной формации лишает их ореола генетической уникальности. Они встанут в один ряд с другими месторождениями формации, будучи лишь частным случаем ее проявления, и характеризуются многочисленными вариациями структурно-текстурных особенностей, условиями залегания, спецификой рудной минерализации, ее масштабом и многими другими параметрами, определяющими своеобразие конкретных месторождений, в частности витватерсрандских.

Руководящей гипотезой генезиса месторождений Витватерсранда, определяющей направление поиска его аналогов, вплоть до настоящего времени была осадочная «конгломератовая». Соответственно определялся и главный критерий поисков таких месторождений – наличие конгломератов. В решении конференции 1969 г. «Проблема металлоносности древних конгломератов на территории СССР» И. С. Рожковым сказано: «...В настоящее время назрела необходимость особенно в пределах золотоносных провинций, обязательно требовать, чтобы при геологическом картировании достаточно детально выделялись пласты конгломератов и гравелитов, изучался их состав и проводилось их апробирование (по опорным разрезам) на золото. В отчетах к геологическим листам должны быть специальные разделы с результатами этих исследований. Нам кажется, что наши исследования уже близки к открытию промышленных месторождений...». Именно это решение и было реализовано

особым распоряжением Мингео СССР, определившим стратегию поисков аналогов африканских месторождений [26, с. 26–28]. Однако несмотря на огромные затраты на реализацию этого постановления, золотоносные конгломераты африканского типа в России так и не были найдены, потому что, как справедливо заметил А. Д. Щеглов [35], поиски базировались на неверной парадигме.

Между тем в соответствии с магматогенной гипотезой, исходя из принадлежности этих месторождений к кварцево-жильной золотосульфидной формации, их аналоги следует искать в уже известных золоторудных провинциях с оруденением кварцево-жильного типа с широким проявлением кремнеземного магматизма, в частности магматических кварцолитов, которые обычно принимали за метасоматические кварциты. Так, акад. Н. А. Шило, отстаивая идею об эндогенном генезисе месторождений Витватерсранда в противоположность экзогенному, россыпному, писал, что «непонимание истинного существа рудообразующего процесса приводило к огромным затратам средств на поиски в Сибири аналогов Витватерсранда, и это делалось в то время, когда эти аналоги не только были известны, но и эксплуатировались...» [33, с. 63]. По его представлениям, Витватерсранду можно противопоставить Северо-Восток России, а по нашим данным – и южное обрамление Сибирской платформы. Отсутствие же параллелизации Витватерсранда с этими регионами, как писал Н. А. Шило [33], связано прежде всего «с непониманием существа рудно-магматического процесса», а также с недостаточной изученностью российских регионов, в первую очередь на глубину, соответствующую изученным глубинам африканских месторождений.

За 130 лет изучения Витватерсранда были созданы мифы о генетической уникальности месторождений как золоторудных конгломератов и о гигантских ресурсах в них золота, нигде в мире не имеющих. Однако российские геологи развенчали миф об этой экзотической «формации золоторудных конгломератов», доказав, что эти «конгломераты» на самом деле являются псевдоконгломератами, а сами месторождения относятся к широко распространенной золоторудной кварцево-жильной формации, будучи частным случаем ее проявления. Был развенчан и второй миф, поскольку в России и по отдельным объектам, и отдельным провинциям ресурсы золота на тех же глубинах вполне сопоставимы с африканскими. Рассматривая явно заниженную современную оценку ресурсов золота в России сравнительно с Витватерсрандом, следует помнить о том, что у нас месторождения на 85–95 % россыпные с запасами многие десятки и даже сотни тонн, а в Африке – только коренные месторождения. Если учесть, что по мировой статистике соотношение россыпных месторождений к коренным составляет 1 к 7–10, то очевидно, что ресурсы России даже только по отдельным золоторудным провинциям Севе-

ро-Востока России и южного обрамления Сибирской платформы ничуть не уступают африканским и даже могут превосходить их. Поэтому следует не искать аналоги мифических африканских золоторудных конгломератов, а обратить внимание на собственные золоторудные провинции с такой же минерализацией кварцево-жильной формации в разных ее проявлениях [7, 31].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологическое** строение, минералогия и особенности генезиса золоторудных месторождений Балейского рудного поля (Восточное Забайкалье) / Н. В. Петровская, П. С. Бернштейн, С. Г. Мирчинк и др. – М.: ЦНИГРИ, 1961. – 130 с. – (Тр. ЦНИГРИ; вып. 45, ч. 2).
2. **Голубева И. И.** Конгломераты и магматогенные псевдоконгломераты. – Екатеринбург, 2005. – 178 с.
3. **Долгушин С. С.** О возможном интрузивно-ликвационном генезисе золоторудных месторождений Витватерсранда (ЮАР) // Руды и металлы. – 2000. – Вып. 3. – С. 83–89.
4. **Долгушин С. С., Долгушин А. П.** Генезис золото-урановых месторождений (ЮАР) и проблема их аналогов // Петрология магматических и метаморфических комплексов. – 2017. – Вып. 9. – С. 144–49.
5. **Долгушин С. С., Долгушин А. П.** Инъекционно-эксплозивная модель формирования золото-урановых месторождений Витватерсранда // Материалы по геологии, поискам и разведке месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: информ. сб. Вып. 159. – М., 2015. – С. 393–401.
6. **Долгушин С. С., Хомичев В. Л.** Псевдоконгломераты: природа, диагностика, рудно-петрологическая значимость. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2007. – 92 с.
7. **Долгушин С. С., Черкасов Г. Н., Долгушин А. П.** Золотоурановый Витватерсранд (ЮАР) и поиски его аналогов по южному обрамлению Сибирской платформы: в 2 ч. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2018. – 263 с.
8. **Долгушин С. С., Черкасов Г. Н., Долгушин А. П.** Магматогенный генезис уран-золоторудных месторождений Витватерсранда (ЮАР) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 2. – С. 393–401.
9. **Дю Тойт А.** Геология Южной Африки. – М.: ИЛ, 1957. – 490 с.
10. **Ермаков Н. П.** Гранитные пегматиты, силикситы и кварцолиты Казахстана // Тр. Междунар. геол. конгр., XXI сес. – М.: Наука, 1960. – С. 62–78.
11. **Золоторудные** гиганты России и мира / М. М. Константинов, Е. М. Некрасов, А. А. Сидоров и др.; ред. М. З. Зиннатуллин, Ю. В. Прусс. – М.: Научный мир, 2000. – 272 с.
12. **Золоторудные** месторождения СССР. Т. 3. Геология золоторудных месторождений Западной и Восточной Сибири / под ред. В. А. Нарсеева,



- Д. А. Тимофеевского. – М.: ЦНИГРИ, 1986. – С. 126–144, 173–185.
13. **Иванкин П. Ф.** Морфология глубоко вскрытых магматогенных рудных полей. – М.: Недра, 1970. – 287 с.
14. **Кормилицын В. С.** Рудные формации и процессы рудообразования. – Л.: Недра, 1973. – 327 с.
15. **Кременецкий А. А., Иордан И.** Вулканогенно-осадочная природа золоторудных конгломератов Витватерсранда (Южная Африка) // *Метаморфизм вулканогенно-осадочных месторождений: тез. докл. междунар. конф.* – Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 1996. – С. 100–103.
16. **Кренделев Ф. П.** Металлоносные конгломераты мира. – Новосибирск: Наука, 1974. – 240 с.
17. **Маракушев А. А., Граменицкий Е. Н., Коротаев М. Ю.** Петрологическая модель эндогенного рудообразования. // *Геология рудных месторождений.* – 1983. – № 1. – С. 3–20.
18. **Мелентьев Г. Б., Демицын А. М., Мелентьев Б. Н.** Ликвация и ее значение в петрологии // *Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации.* – М.: Недра, 1972. – С. 253–285.
19. **Нел Л. Т.** Проблемы генезиса уранинита в золоторудных конгломератах Южной Африки // *Тр. XXI Междунар. геол. конгр.* Вып. 3. – М.: Мир, 1964. – С. 258–274.
20. **О ликвации** рудно-силикатного вещества и возможном механизме разделения компонентов в расплаве / А. М. Дымкин, А. Л. Павлов, С. С. Долгушин и др. // *Проблемы генезиса железорудных месторождений Сибири.* – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 4–11.
21. **Основные** проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях / под ред. А. Г. Бетехтина. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 622 с.
22. **Парилов Ю. С.** Роль сульфидных растворов-расплавов в формировании ряда месторождений цветных металлов // *Смирновский сборник: науч.-лит. альманах; гл. ред. В. И. Старостин.* – М.: ВИНТИ, 2012. – С. 134–165.
23. **Парк Ч. Ф., Мак-Дормид Р. Л.** Рудные месторождения. – М.: Мир, 1966. – 544 с.
24. **Портнов А. М.** О возможном гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда // *Изв. вузов. Сер. Геология и разведка.* – 1988. – № 10. – С. 49–54.
25. **Проблема** происхождения ураново-золоторудного месторождения Витватерсранд / А. А. Маракушев, Л. И. Глазовская, Н. А. Панеях, С. А. Маракушев // *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология.* – 2012. – № 3. – С. 3–16.
26. **Рожков И. С.** Состояние проблемы изучения золотоносных конгломератов на территории СССР // *Проблема металлоносности древних конгломератов на территории СССР.* – М.: Наука, 1969. – С. 7–28.
27. **Сафонов Ю. Г., Прокофьев В. Ю.** Модель конседиментационного гидротермального образования золотоносных рифов бассейна Витватерсранда // *Геология рудных месторождений.* – 2006. – Т. 48, № 6. – С. 475–511.
28. **Старостин В. И., Сакия Д. Р.** Эволюция взглядов на происхождение золоторудного месторождения Витватерсранд // *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология.* – 2015. – Т. 70, № 2. – С. 32–38.
29. **Уран** в древних конгломератах / А. И. Безгубов, Ю. И. Бывших, П. К. Дементьев и др. – М.: Госатомиздат, 1963. – 148 с.
30. **Царев Д. И.** Металлоносные псевдоконгломераты Витватерсранда // *Руды и металлы.* – 2000. – № 3. – С. 70–82.
31. **Черкасов Г. Н.** Вероятные аналоги золоторудного Витватерсранда по южному обрамлению Сибирской платформы // *Петрология магматических и метаморфических комплексов.* Вып. 9. – Томск, 2017. – С. 448–454.
32. **Чухров Ф. В.** Коллоиды в земной коре. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 671 с.
33. **Шило Н. А.** Витватерсранд и проблема его образования // *Смирновский сборник: науч.-лит. альманах; гл. ред. В. И. Старостин.* – М.: ВИНТИ РАН, 2007. – С. 51–64.
34. **Шило Н. А.** Основы учения о россыпях / ред. А. В. Сидоренко. – М.: Наука, 1981. – 383 с.
35. **Щеглов А. Д.** О металлогении Южно-Африканской Республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранда и проблеме открытия их аналогов в России. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. – 44 с.
36. **Юргенсон Г. А.** Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. – М.: Недра, 1984. – 149 с.
37. **Юргенсон Г. А., Грабеллик Р. В.** Балеиское рудное поле // *Месторождения Забайкалья.* Т. 1, кн. 2. – М.: Геоинформмарк, 1995. – С. 19–32.
38. **Geijer P.** The iron ores of the Kiruna type, geographical distribution, geological character and origin // *Geol. Surv. of Sweden.* – Stockholm, 1931. – P. 94–106.
39. **Haggerty S. E.** The Loco magnetite lava flow, Chile // *Annu. Rept. Dir. Geophys. Lab., Carnegie Inst.* 1968–1969. – Washington, DC, 1970. – P. 329–330.
40. **Pretorius D. A.** The Nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits // *Economic Geology Research Unit. Information Circular.* – Johannesburg: University of the Witwatersrand. – 1974. – No. 86, May. – P. 1–49.
41. **Spurr J. E.** The ore magmas; a series of essays on ore deposition. 2 vols. – New York, London: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1923. – 915 p.

REFERENCES

1. Petrovskaja N.V., Bernshtein P.S., Mirchink S.G., et al. *Geologicheskoe stroenie, mineralogiya i osobennosti genezisa zolotorudnyh mestorozhdenij Balejskogo rudnogo polya (Vostochnoe Zabajkalye)* [Geology, mineralogy and features of the genesis of gold ore deposits of the Baley ore field (Eastern Transbaikalia)]. Moscow, TsNIGRI Publ., 1961, no. 45, part 2. 130 p. (In Russ.).



2. Golubeva I.I. *Konglomeraty i magmatogenye psevdokonglomeraty* [Conglomerates and igneous crush conglomerates]. Ekaterinburg, 2005. 178 p. (In Russ.).
3. Dolgushin S.S. [On the possible intrusive-segregation genesis of the Witwatersrand (South Africa) gold ore deposits]. *Rudy i metally*, 2000, no. 3, pp. 83–89. (In Russ.).
4. Dolgushin S.S., Dolgushin A.P. [The genesis of gold-uranium deposits (South Africa) and the problem of their analogues]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes]. Tomsk, 2017, no. 9, pp. 144–49. (In Russ.).
5. Dolgushin S.S., Dolgushin A.P. [Injection-explosive model of the formation of the Witwatersrand gold-uranium deposits]. *Materialy po geologii, poiskam i razvedke mestorozhdeniy urana, redkikh i redkozemel'nykh metallov. Informatsionnyy sbornik* [Materials on geology, prospecting and exploration of uranium, rare and rare-earth metals deposits. Information collection]. Moscow, 2015, no. 159, pp. 393–401. (In Russ.).
6. Dolgushin S.S., Khomichev V.L. *Psevdokonglomeraty: priroda, diagnostika, rudno-petrologicheskaya znachimost'* [Crush conglomerates: nature, diagnosis, ore and petrological significance]. Novosibirsk, 2007. 92 p. (In Russ.).
7. Dolgushin S.S., Cherkasov G.N., Dolgushin A.P. *Zolotouranovyi Witwatersrand (YUAR) i poiski ego analogov po yuzhnomu obramleniyu Sibirskoy platformy* [Gold-Uranium Witwatersrand (South Africa) and the search for its analogues along the southern edge of the Siberian platform]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2018. 263 p. (In Russ.).
8. Dolgushin S.S., Cherkasov G.N., Dolgushin A.P. [Magmatogenic genesis of the Witwatersrand uranium-gold deposits (South Africa)]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 2, pp. 393–401. (In Russ.).
9. Du Toit A.L. *The geology of South Africa*. Edinburgh, 1954. 611 p.
10. Ermakov N.P. [Granite pegmatites, silicixites and quartzolites of Kazakhstan]. *Mezhdunarodnyy geologicheskii kongress, XXI sessiya* [International Geological Congress, XXI session]. Moscow, Nauka Publ., 1960, pp. 62–78. (In Russ.).
11. Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., et al. *Zolotorudnye giganty Rossii i mira* [Gold giants of Russia and the world]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2000. 272 p. (In Russ.).
12. *Zolotorudnye mestorozhdeniya SSSR. Tom 3. Geologiya zolotorudnykh mestorozhdeniy Zapadnoy i Vostochnoy Sibiri* [Gold deposits of the USSR. Vol. 3. Geology of gold ore deposits in Western and Eastern Siberia]. Moscow, 1986, pp. 126–144, 173–185. (In Russ.).
13. Ivankin P.F. *Morfologiya gluboko vskrytykh magmatogennykh rudnykh poley* [Morphology of deeply opened igneous ore fields]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 287 p. (In Russ.).
14. Kormilitsyn V.S. *Rudnyye formatsii i protsessy rudoobrazovaniya* [Ore formations and mineralization processes]. Leningrad, Nedra Publ., 1973. 327 p. (In Russ.).
15. Kremenetskii A.A., Iordan I. [Volcanogenic-sedimentary nature of the Witwatersrand gold ore conglomerates (South Africa)]. *Metamorfizm vulkanogenno-osadochnykh mestorozhdeniy. Tezisy dokladov mezhdunarodnoy konferentsii* [Metamorphism of volcanic-sedimentary deposits. Abstracts of the international conference]. Petrozavodsk, IG KarNTs RAN Publ., 1996, pp. 100–103. (In Russ.).
16. Krendelev F.P. *Metallonosnye konglomeraty mira* [Metal-bearing conglomerates of the World]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 240 p. (In Russ.).
17. Marakushev A.A., Gramenitskii E.N., Korotayev M.Iu. [Petrological model of endogenous ore formation]. *Geologiya rudnykh metorozhdeniy – Geology of ore deposits*, 1983, no. 1, pp. 3–20. (In Russ.).
18. Melentiev G.B., Demitsyn A.M., Melentiev B.N. [Liquation and its importance in petrology]. *Redko-metall'nye granity i problemy magmaticheskoy differentsiatsii* [Rare metal granites and problems of magmatic differentiation]. Moscow, Nedra Publ., 1972, pp. 253–285. (In Russ.).
19. Nel L.T. [Problems of the genesis of uraninite in gold ore conglomerates of South Africa]. *Tr. XXI Mezhdunar. geol. kongr. Vyp. 3* [Proc. XXI International Geological Congress. Issue 3]. Moscow, Mir Publ., 1964, pp. 258–274. (In Russ.).
20. Dymkin A.M., Pavlov A.L., Dolgushin S.S., et al. [On the liquation of ore-silicate substance and the possible mechanism of separation of components in the melt]. *Problemy genezisa zhelezorudnykh mestorozhdeniy Sibiri* [Problems of the genesis of iron ore deposits in Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, pp. 4–11. (In Russ.).
21. Betekhtin A.G., ed. *Osnovnyye problemy v uchenii o magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh* [The main problems in the study of magmatogenous ore deposits]. Moscow, AS USSR Publ., 1955. 622 p. (In Russ.).
22. Parilov Iu.S. [The role of sulfide melt solutions in the formation of a number of non-ferrous metal deposits]. *Smirnovskiy sbornik: nauch.-lit. al'manakh* [Smirnovsky collection: scientific and literary almanac scientific]. Moscow, VINITI publ., 2012, pp. 134–165. (In Russ.).
23. Park C.F., MacDiarmid R.A. *Ore deposits*. San Francisco, 1964. 475 p.
24. Portnov A.M. [On the possible hypogenic origin of the Witwatersrand conglomerates]. *Izvestia vuzov. Ser. Geologiya i razvedka*, 1988, no. 10, pp. 49–54. (In Russ.).
25. Marakushev A.A., Glazovskaia L.I., Paneikh N.A., Marakushev S.A. [The origin of the Witwatersrand uranium-gold deposit]. *Vestn. mosk. un-ta*,



ser. 4, *Geologiya – MSU Vestnik, series 4, Geology*, 2012, no. 3, pp. 3–16. (In Russ.).

26. Rozhkov I.S. [State of the problem of studying gold-bearing conglomerates in the USSR]. *Problema metallonostii drevnikh konglomeratov na territorii SSSR* [The problem of metal-bearing ancient conglomerates in the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 7–28. (In Russ.).

27. Safonov Yu.G., Prokofiev V.Iu. [A model of the concentration hydrothermal formation of gold-bearing reefs of the Witwatersrand Basin]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposits*, vol. 48, no. 6, 2006, pp. 475–511. (In Russ.).

28. Starostin V.I., Sakiya D.R. [The evolution of views on the origin of the Witwatersrand gold deposit] *Vestn. mosk. un-ta, ser. 4, Geologiya – MSU Vestnik, series 4, Geology*, 2015, vol. 70, no. 2., pp. 32–38. (In Russ.).

29. Bezgubov A.I., Byvshikh Iu.I., Dementiev P.K., et al. *Uran v drevnikh konglomeratakh* [Uranium in ancient conglomerates]. Moscow, Gosatomizdat Publ., 1963. 148 p. (In Russ.).

30. Tsarev D.I. [Metalliferous crush conglomerates of Witwatersrand]. *Rudy i metally*, 2000, no. 3, pp. 70–82. (In Russ.).

31. Cherkasov G.N. [Probable analogues of the gold-uranium Witwatersrand along the southern edge of the Siberian platform]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov* [Petrology of magmatic and metamorphic complexes]. Tomsk, 2017, issue 9, pp. 448–454. (In Russ.).

32. Chukhrov F.V. *Kolloidy v zemnoy kore* [Colloids in the Earth's crust]. Moscow, AS USSR Publ., 1955, 671 p. (In Russ.).

33. Shilo N.A. *Vitvatersrand i problema yego obrazovaniya* [Witwatersrand and the problem of its formation]. *Smirnovskiy sbornik – Smirnovsky collection*, 2007, pp. 51–64. (In Russ.).

34. Shilo N.A. *Osnovy ucheniya o rosspyakh* [Fundamentals of placers]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 383 p. (In Russ.).

35. Shcheglov A.D. *O metallogenii Yuzhno-Afrikanskoy Respubliki, genezise zolotorudnykh mestorozhdeniy Vitvatersrand i probleme otkrytiya ikh analogov v Rossii* [Metallogeny of the Republic of South Africa, the genesis of the Witwatersrand gold deposits and the problem of discovering their analogues in Russia]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 1994. 44 p. (In Russ.).

36. Iurgenson G.A. *Tipomorfizm i rudonosnost' zhil'nogo kvartza* [Typomorphism and ore content in the vein quartz]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 149 p. (In Russ.).

37. Iurgenson G.A., Grabeliks R.V. [The Baleiskoye ore field]. *Mestorozhdeniya Zabaykal'ya* [Transbaikalia deposits]. Moscow, Geoinformark Publ., 1995, vol. 1, book 2, pp. 19–32. (In Russ.).

38. Geijer P. The iron ores of the Kiruna type, geographical distribution, geological character and origin. *Geol. Surv. of Sweden*, Stockholm, 1931, pp. 94–106.

39. Haggerty S.E. The Loco magnetite lava flow, Chile. *Annu. Rept. Dir. Geophys. Lab., Carnegie Inst. 1968–1969*. Washington, DC, 1970, pp. 329–330.

40. Pretorius D.A. The Nature of the Witwatersrand gold-uranium deposits. *Economic Geology Research Unit. Information Circular*. Johannesburg, University of the Witwatersrand, 1974, no. 86, May, pp. 1–49.

41. Spurr J.E. The ore magmas. A series of essays on ore deposition. 2 vols. New York, London, McGraw-Hill Book Co. Inc., 1923. 915 p.

© С. С. Долгушин, 2019