

ДИСКУССИЯ

УДК 553.2(6)

ВИТВАТЕРСРАНД И ПРОБЛЕМА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Н.А. Шило

Президиум РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 2 апреля 2007 г.

Рассматривается проблема рудообразования золото-уранового месторождения Витватерсранд. Отрицается аллювиальное и эксплозивно-гидротермальное происхождение сфероидальных пиритов и, соответственно, золотосодержащих псевдоконгломератов. Доказывается первичность сфероидальных форм и кристаллизация пирита *in situ* в эндогенных условиях. Ассоциация Au с углеродсодержащими породами объясняется с точки зрения ядерно-магнитных физико-химических явлений. Делается вывод о гидротермально-метасоматическом генезисе месторождения.

Ключевые слова: золото, углерод, рудообразование, крупные месторождения, Витватерсранд.

Бесконечные, хотя может быть и увлекательные споры о генезисе некоторых южно-африканских золоторудных месторождений к 60-м годам XX века, казалось, однозначно завершились признанием их осадочного происхождения [3]. Однако продолжавшиеся исследования различных аспектов рудообразующего процесса поколебали складывавшиеся в ожесточенных дискуссиях представления. Работы второй половины XX века вскрыли сложную природу этих месторождений. Их рудная минерализация оказалась наложенной на сложную структуру, прошедшую стадию сжатия, определившего агрегатное состояние кварц-пиритового материала. Это привело к появлению в месторождениях противоречивых признаков, позволявших относить их то к осадочным, то к постмагматическим гидротермальным, то к гидротермально-осадочным образованиям.

Продуктивный горизонт Витватерсранда представлен объектами, к которым относятся единственные в своем роде, уникальные золото-урановые месторождения Трансвааля и Оранжевой провинции ЮАР. Их геологическая позиция широко известна, поэтому напомним о ней лишь в общих чертах, придерживаясь схемы Л.Т. Нела, доказывающего, что металлоносные конгломераты — метаморфизованные россыпи золота. Структура, с которой связаны

месторождения указанных провинций, представлена четырьмя геологическими системами с несогласным взаимоотношением, залегающими на глубоко эродированном фундаменте архейского возраста (от древних к более молодым): Доминион-Риф, Витватерсранд, Винтерсдорф, Трансвааль. В их составе присутствуют базальные и внутрiformационные пачки конгломератов, аркозовые песчаники, кварциты, лавы андезитов, туфы, сланцы, тиллиты (? – Н.Ш.). В осадочно-вулканогенную толщу внедрены интрузии Бушвельдского комплекса, дайки, межпластовые гипербазиты и т. д. Архейское основание сложено гнейсами и гранитами. На нем несогласно залегают Доминион-Риф и Витватерсранд и трансгрессивно – слои Винтерсдорфа и Трансвааля.

Золото-урановые месторождения связаны с конгломератовой толщей Витватерсранда. Конгломератами слагаются линзовидные тела, расположенные на внутрiformационных эрозионных поверхностях или депрессиях древнего гранитного ложа (система Доминион-Риф). Как считает Л.Т. Нел, конгломераты отлагались в замкнутом бассейне (система Витватерсранд) и образуют ленты и протяженные залежи, сформировавшиеся в древних руслах.

Золото и уран в конгломератах распределяются в зависимости от морфологических и литологичес-

ких особенностей пород. В залежах высокие концентрации золота локализуются в пределах береговой линии, как будто бы распознающей по фациальной изменчивости отложений. В песчаниках, сменяющих в латеральном направлении конгломераты, золото исчезает. В протяженных линзовидных телах максимальные его концентрации сосредоточены у подошвы (на плотике). В лентообразных отложениях русел содержание золота повышено в тех местах, где отложения пересекают золотосодержащие конгломераты более древнего возраста, за счет которых и возникли золотоносные отложения русел. В целом же “минерализация не выходит за пределы рудоносных конгломератов и не переходит, пересекая слоистость, в песчаные боковые породы или даже в линзовидные прослои кварцитов и песчаников, присутствующих внутри конгломератового рифа и обычно называемых “безрудными прослоями”. Для месторождения “характерной особенностью являются концентрации уранинита и золота у подошвы конгломератового пласта и вблизи нее. Наличие более богатых рудных скоплений в основании пласта наиболее обычно в конгломератах с хорошо выраженным сланцевым прослоем в их подошве и в перекрывающих их конгломератах мощностью менее одного фута” [3, с. 263].

Кроме того, допускается возможность сингенетического образования уранинита “в результате осаждения его между сцементированными гальками из вод бассейна осадконакопления в условиях застойной восстановительной среды” [3, с. 272]. Какая бы то ни было связь золотой и урановой минерализации с основными интрузиями и гранитами отрицается.

Конгломераты несут следы метаморфизма и метасоматоза, хотя эти процессы и не нарушают общей закономерности распределения металлов в зависимости от литологических и метаморфических особенностей залежей. Например, появляющиеся иногда хлорит, серицит, кальцит, доломит и сульфиды (пирит и др.) распространяются как в бедные золотом и уранинитом участки, так и в богатые. Их породы не влияют на распределение этих минералов, в парагенезисе с которыми присутствуют касситерит, колумбит-танталит, монацит, ильменит, гранат и др. Это наложенная минерализация, она связывается с внедрившимися в толщу дайками и небольшими интрузиями, местами развивается вдоль тектонических нарушений.

Таким образом, урансодержащие золотоносные конгломераты системы Витватерсранд и смежных осадочных формаций образовались в два этапа. На первом, как следует из изложенной выше схемы

Л.Т. Нела, золото и уранинит сингенетически накапливались в гидравлически неравновесных с ними галечниковых отложениях (подчеркнуто мною – Н.Ш.) за счет размыва минерализованного фундамента. На втором – металлоносные галечники были диагенезированы, затем метаморфизованы и претерпели воздействие мощного метасоматоза, проявления которого связывается с интрузиями как Бушвельдского комплекса, так и более молодых гранитоидов.

Тем не менее, в этой схеме обнаруживаются противоречия, заслуживающие того, чтобы на них остановиться. Как отмечалось, в золотоносных конгломератах Витватерсранда присутствует заметное количество пирита, который классифицирован еще П. Рамдором. В уточненном виде эта классификация изложена в статье Д.К. Хауллбауэра и Э.Дж. Кабле [12]. Ими выделяются следующие его типы: аллогенный детриальный (перетертый, окатанный) и привнесенный поздние- и псевдогидротермальными водами.

Аллогенный детриальный пирит, наиболее тесно связанный с распределением золота, представлен округлыми или сферическими “окатанными” образованиями, получившими название “пиритовой картечи”. Этот пирит, присутствуя в конгломератовой матрице, образует пограничные слои и встречается в кварцевых породах выше и ниже рифа в виде массивных полос мощностью до нескольких сантиметров. Он фиксируется в прослоях на многочисленных стратиграфических горизонтах по всей витватерсрандской толще. Сфероидальная форма пиритовых агрегатов еще на ранних стадиях изучения месторождения послужила одним из доводов в пользу его осадочного (аллювиального) происхождения.

В “галечниковом” или “окатанном” пирите присутствуют включения, которые, как полагают Д.К. Хауллбауэр и Э.Дж. Кабле, имеют первичное или гидротермальное происхождение. Они содержат кварц и биотит, их диаметр редко превышает 10 мкм. Во включениях вместе с кварцем иногда ассоциируют биотит, рутил и монацит, которые, вероятно, выступают в качестве дочерних минералов. В биотите установлены калий и магний; в “окатанном” пирите базального рифа зарегистрированы небольшие количества титана и хрома. Пирит из контакта рифа Витватерсранд (район Каргенвиль) содержит ортоклаз – один из главных силикатов во включениях. В “окатанном” пирите встречаются микронные выделения молибденита и турмалина. Они же фиксировались и в аналогичных агрегатах пирита из других районов, что, по предположению указанных авторов, свидетельствует о кварц-турмалин-золотосодержащем составе жил, которые являлись первичным источником золота.

Сопоставление связей кобальта с никелем в пирите витватерсрандского золотоносного поля и архейского комплекса показало, что для архейского пирита характерно уменьшение соотношения кобальта и никеля, тогда как в пирите Витватерсранда оно возрастает за счет увеличения содержания кобальта. Тем не менее, некоторые горизонты рифов (Базальный риф) обнаруживают большое сходство по кобальт-никелевому соотношению с архейскими породами. Полученная информация о содержании в “окатанном” пирите включений и присутствующих в них минералов привела Д.К. Хауллбауэра и Э.Дж. Кабле к выводу, что источников накопления золота в рифе Витватерсранд было несколько.

Однако при наличии так называемого окатанного пирита, или “пиритовой картечи”, возник важный вопрос, который и побудил меня провести специальные исследования, осуществленные вместе с М.С. Сахаровой из МГУ [5]. Дело в том, что в изучавшихся мною шлиховых комплексах из различных россыпей мира, среди которых аллювиальные месторождения занимали значительное место, ни в одном случае не было отмечено “окатанного” пирита, сходного с предоставленной мне Д.К. Хауллбауэром коллекцией, характеризовавшей концентраты из месторождения Витватерсранд. Это понятно, так как пирит обладает такими физическими свойствами, которые при транспортировании в водно-аллювиальной среде способствуют дроблению минерала, его крошению, поэтому он не окатывается. В этом случае возникает вопрос: как в конгломератах Витватерсранда накопилось большое количество “окатанного” пирита или “пиритовой картечи”, которому приписывается аллювиальное происхождение? И являются ли эти образования действительно аллювиальными?

Изучавшиеся мною с М.С. Сахаровой [5] образцы пирита включали два типа образований: а) округлые сферические (сфероиды) агрегаты — “пиритовая картечь”; б) сростки ограненных, преимущественно кубических кристаллов.

Их исследование показало, что сфероидальные агрегаты имеют почти правильную округлую шаровидную, иногда каплевидную форму. Размер зерен — от долей миллиметра и до нескольких сантиметров. Поверхность сфероидов ровная, без следов механических повреждений, типичных для минералов, подвергавшихся аллювиальной обработке. Они характеризуются метазернистым строением. Основная масса сложена мелкими зернистыми выделениями кубической формы, постепенно переходящими участками в крупнокристаллические, ограненные кристаллы. Поверхность мелких кристаллов и неко-

торых зернистых выделений обнаруживает губчатое строение и следы коррозии, тогда как поверхность крупных идиоморфных кристаллов пирита — гладкая, со ступенями роста, являющимися признаком первичной кристаллизации.

Наличие переходов от мелко- к среднезернистым образованиям и хорошо ограненным кристаллам позволяет считать, что последние возникли при перекристаллизации и укрупнении мелкокристаллического пирита сфероидов.

Вторая морфологическая разновидность пиритовых образований — сростки кубических кристаллов; их размер в сростках варьирует. Отмечаются сростания хорошо ограненных индивидов с агрегатами мелких кристаллов, среди которых сохраняются зернистые реликты. На гладкой поверхности граней заметны линейные ступени роста, ростовые спирали, дочерние образования, признаки перекристаллизации.

Единство морфологических и субструктурных особенностей сфероидов сростков кристаллов пирита свидетельствуют о том, что обе его разновидности принадлежат продуктам первичной кристаллизации *in situ*. Сфероидальные образования могут рассматриваться как формы роста, в последующем испытывавшие метаморфические преобразования и частично или полностью перекристаллизованные в сростки кристаллов.

Дифрактограммы сфероидальных выделений и кристаллических сростков показали, что они сложены только пиритом, примеси марказита, обычно дающего подобные формы, не обнаружены. Химический состав пирита сфероидов и кристаллических сростков оказался идентичным. В некоторых образцах отмечается наличие мышьяка (0.1–0.3 мас. %), из элементов-примесей в них присутствуют золото, серебро, кобальт, никель, висмут, медь, сурьма, цинк, титан и др. Перекристаллизованный крупнозернистый пирит обеднен элементами-примесями по сравнению со сфероидами.

В сфероидах и сростках кристаллов пирита наблюдаются выделения самородного золота и обособления сульфидов: сфалерита, эмульсионной вкрапленности халькопирита, овальных образований пирротина с халькопиритом. Золото — тонко ветвящиеся прожилки и мелкие включения в кристаллах пирита и на его контактах с другими сульфидами (подчеркнуто мною — Н.А. Шило). Во включениях отмечаются кварц, карбонаты, силлиманит. Набор элементов-примесей и типичная для гидротермальных процессов ассоциация сульфидов позволяют говорить о том, что образования сфероидов пирита (“окатанного”

пирита, “пиритовой картечи”) нужно связывать с эндогенными процессами. Известно, что подобные сфероиды или глобулы, например халцедона, деревянистого олова или марказита, часто возникают в гидротермальных условиях минералообразования.

Полученные данные позволяют, прежде всего, отвергнуть идею об аллювиальном происхождении “окатанного” пирита или “пиритовой картечи”. Сфероиды возникли в ходе метаморфогенно-метасоматической эволюции месторождения, затушевавшей главнейшие черты его генезиса.

Формация урансодержащих золотоносных месторождений в том виде, в каком она представлена в Трансваале и Оранжевой провинции, является безусловно уникальным образованием с ярко выраженными противоречивыми чертами. Парагенезис золота с уранинитом и настураном определяется геохимическими условиями отложения этих минералов. Он часто встречается и в других районах мира и, следовательно, должен рассматриваться как типичное явление. Не анализируя проблему совместного присутствия этих элементов во многих месторождениях, несмотря на резко различное их положение в системе Менделеева, укажу лишь, что в открытом мною вместе с физиком А.В. Дринковым законе Фибаначчиевого распределения элементов Au и U стоят рядом, и поэтому неудивительно, что оба они часто присутствуют совместно, образуя золото-урановые месторождения [работа находится в печати].

Итак, проблема образования сфероидов пирита однозначно решена в пользу их эндогенного происхождения. Тем не менее, “окатанность” – термин, привлекательный и укоренившийся в геологии, иногда, как это видно из некоторых работ, опубликованных в печати последней четверти XX века и в начале 21 столетия, к сожалению, переносится и в эндогенные условия.

Так, академик А.Д. Щеглов, после посещения золоторудного месторождения Витватерсранд и сбора там коллекции рудного материала, опубликовал статьи [9–11], в которых недвусмысленно пытался связать образование пиритовых сфероидов с окатыванием в эксплозивно-гидротермальных системах, ссылаясь при этом на ряд авторов, которые придерживались того же мнения. Мною [5–7] была дана критика положению, которого А.Д. Щеглов придерживался при объяснении генезиса пиритовых сфероидов из месторождения Витватерсранд. А.Д. Щеглов отозвался на мою критику с возражениями, опубликовав статью [11], в которой упрекал меня в том, что я неправильно толкую его позицию.

Однако приведу одну лишь выдержку из статьи, которая показывает, что моя критика была вполне оправданна. Так на стр. 163 он писал: “Г.И. Туговик, изучавший долгие годы эксплозивные рудные системы, в своих обобщающих монографиях на примере месторождений Забайкалья и других районов также показал, что в гидротермально-газовых струях во время взрыва происходит окатывание” (подчеркнуто мною – Н.Ш.). Именно против этого я и возражал. А.Д. Щеглов, не соглашаясь со мной, утверждал то же самое, называя месторождение Витватерсранд осадочно-гидротермальным. К осадочным образованиям он относил сфероиды кварцевой “гальки” “конгломератов”.

В августовском номере газеты “Природные ресурсы – Ведомости” (2004 г.) появилась статья профессора А.М. Портнова под названием “Глубинные золотоносные “реки” Земли”. В ней автор доказывает, что сфероиды пирита и “галька” конгломератов золоторудного месторождения Витватерсранд приобрели сфероидальную форму в ходе окатывания потоками гидротерм в эндогенных условиях. Этими же гидротермами, по его мнению, привносилось и золото в рудное поле Витватерсранда в количестве около 50 тысяч тонн этого металла.

Еще раньше образование сфероидов путем окатывания в газовой-гидротермальных средах довольно подробно рассмотрено А.М. Портновым в статье [4].

Вообще говоря, мне трудно представить подобную, довольно емкую по своей филигранности работу потоков гидротерм в глубинных условиях. Тем не менее, сфероидам, встречающимся во многих эндогенных месторождениях, как правило, приписывается “окатывание”, уж если не в экзогенных условиях, то в эндогенных, но все равно реками, которые якобы образуются гидротермами.

Здесь существует недопонимание того простого факта, что сфероидальные формы, действительно образуются в эндогенных условиях, но не окатыванием, а иным путем. Они возникают при очень больших давлениях, из вещества, скорее всего, имеющего гелеобразное или аморфное состояние, или магматического расплава, или пересыщенного раствора, по физическим свойствам приближающегося к расплаву. Сфероидальные формы возникают в результате перехода энергетически крайне напряженной разупорядоченной системы в упорядоченную, которой должны отвечать формы, энергетически выгодные по объему и по поверхностям. Этим условиям удовлетворяет шар. Причем это происходит в ходе развития неравновесного процесса, когда из всех фигур задан-

ного объема минимальной площадью поверхности обладает только шар.

Исследования показывают, что для этих неравновесных систем в рудообразовании характерен существенно восстановленный характер, скорее всего, определяющийся присутствием водорода. Недавно (2004 г.) я получил из месторождения Витватерсранд образец с видимым золотом, в основном выполняющим интерстиции между обломками брекчированной породы. Его изучение показало, что кроме золота он насыщен самородными Pb, Zn, Bi, Al, Sn, Ca, Mg, Sr и другими элементами, характеризующими восстановленный характер среды минералообразования.

Обратимся к пириту и гальке конгломератов Витватерсранда. Пирит имеет кубическую сингонию и должен кристаллизоваться в этом виде симметрии. Однако возьмем площадь поверхности куба, вписанного в шар. Отношение объема шара к объему куба равно $(\pi/2)\sqrt{3}$, а отношение поверхности шара к поверхности куба равно $\pi/2$. Из этого следует, что объем при переходе куба к шару в $\sqrt{3}$ раза больше изменяется, чем их поверхности. Это подтверждает, что из всех фигур заданного объема минимальной поверхностью обладает шар – это закон природы. На рудниках Витватерсранда ежегодно попутно с золотом добывается около 400 тысяч тонн пиритовой картечи, то есть сфероидальной формы пирита! Одни геологи образование этих агрегатов пирита приписывают поверхностным организованным водотокам, а другие – гидротермальным рекам! И то и другое объяснение противоречит законам природы!

Обнаруживающиеся в ряде месторождений сфероиды минералов, например, шаровидного кварца и др., подтверждают мое объяснение образования их форм. Что же касается взрывов, то они только выносят уже сформировавшиеся сфероиды при рассмотренных выше условиях. В кимберлитах часто встречаются кварцевые стяжения в форме шара, несомненно образовавшиеся при больших давлениях и, возможно, на тех же глубинах, на которых кристаллизовались и алмазы. Напомню, что в свое время полагали, что алмазы образуются в момент взрыва и в ходе подъема кимберлитовой магмы к поверхности.

Как видим, заблуждения – это результат несовершенных знаний о природных процессах, которые к тому же трудно поддаются экспериментальной проверке, хотя именно эти процессы, ведущие к образованию сфероидов на больших глубинах, вполне объяснимы законами природы.

В связи с проблемой “окатывания” подчеркну, что, в сущности, в аллювиальном процессе чрезвы-

чайно редко встречаются породы, которые бы окатывались до формы шара. Они обычно возникают только в так называемых мельницах, в котлах, в полостях, где развиваются большой силы турбулентные процессы воды. Попадая в эти полости или котлы, скажем, обломок гранита “окатывается” до шара. Подобные котлы мне приходилось наблюдать на острове Тасмания. В каждом из них находился один шар гранита.

В 1936 г. я изучал в Сары-Адыре (Казахстан) конгломераты девонского возраста и согласно залегающие на них известняки того же возраста [7]. В конгломератах никогда не встречал валунно-галечникового материала, окатанного до шаровидной формы. В известняках же присутствовали кварцевые стяжения, как правило, по форме близкие к шаровидной. Разумеется, мне и в голову не приходила мысль об отнесении их к окатанным галькам кварца.

Весьма веским аргументом, подтверждающим рассмотренную выше концепцию образования в эндогенных условиях пиритовой “картечи” и “гальки” “конгломератов” золото-уранового месторождения Витватерсранд, является узкий разброс размерности как пиритовых, так и кварцевых образований (шары кварцевой “гальки” из “конгломератов” Витватерсранда не превышают по размеру куриного яйца). Общеизвестно, что в окатывание, где бы оно ни происходило, в экзогенных или эндогенных условиях, неизбежно должны вовлекаться обломки минералов или пород самой разной размерности. Узкий предел размерности пиритовых сфероидов и кварцевой “гальки” “конгломератов” Витватерсранда – свидетельство того, что их образование происходило при строгих термодинамических режимах, при которых заданному объему пиритовых и кварцевых образований должна была отвечать минимальная площадь поверхности агрегата, этому условию удовлетворяет только шар.

Из всего изложенного выше следует, что “конгломераты” Витватерсранда нельзя называть конгломератами. Для них, как я уже писал, наиболее подходящим названием будет термин “псевдоконгломераты”.

Здесь я не могу не остановиться на одном эксперименте, решающем сразу две фундаментальные проблемы. После того, как мною были опубликованы три статьи о механизме расслоения ультрабазитовых магматических расплавов, в институте высоких давлений АН СССР провели уникальный опыт: расплавили базальт и медленно охлаждали расплав под давлением в 1000 атмосфер в водородной среде. В результате была получена концентрически расслоенная

глыба. В ее центральной части раскристаллизовался пироксен, к периферической зоне сменяющийся менее основными породами. Этим экспериментом, во-первых, однозначно решается проблема ликвационного расслоения базальтоидного расплава при его остывании, протекающем в условиях стабильных высоких давлений и в основной среде. Причем в центре агрегата раскристаллизовывается ультраосновная его часть (чаще дуниты). Во-вторых, эксперимент наглядно демонстрирует образование кварцевых “галеков” “конгломератов” и сфероидов пирита, более сотни лет выдававшихся в качестве доказательства аллювиального происхождения золоторудного месторождения Витватерсранд (открыто в 1886 г.), ошибочно относившегося геологами всего мира к россыпям.

Обработка месторождения Витватерсранд показала, что золото приурочено к нижним слоям псевдоконгломератов (мощностью около фута) с резким возрастанием содержания в углеродистых слоях, развитых в основании псевдоконгломератов. Их природа в течение длительного времени определялась неоднозначно, и только совсем недавно она была раскрыта в работе [8]. В ней авторы излагают результаты своих исследований углеродистых образований из месторождения Витватерсранд, которым ими уделено основное внимание, так как, во-первых, они оказались менее всего изученными, а, во-вторых, с ними связаны наибольшие концентрации золота этого месторождения. Изучение углеродистых слоев производилось сканирующим электронным микроскопом и рентгеновскими лучами с привлечением других вспомогательных методов. В итоге авторы пришли к выводу, что столбчатые слои являются фоссилизированными цианобактериальными матами с типичным для них нитчатым строением. Этот факт подтвержден американскими микробиологами, выделившими ДНК цианобактерий из руд месторождения Витватерсранд, как отмечают авторы указанной работы (стр. 24). Цианобактериальные маты формируются в лагунах в аридных или семиаридных обстановках.

Изучая золото микробиальных слоев, авторы выделили в качестве простейших форм его обособлений – пластинки, слабо гофрированные, которые располагаются между нитями. “Толщина таких пластинок – доли мкм, гофрировка отражает неровную поверхность нитей... Они в общем параллельны нитчатости” (стр. 28).

“Другой, более сложной формой проявления золота является полное копирование нитей, по сути их полное замещение, в конечном счете, и появление

форм, напоминающих слойки, пластинки из золота” (стр. 29).

“Более полной и более значительной по массе золота формой являются золотые пучки из замещенных золотом микробиальных нитей, часто в виде пустых трубочек, т.е. замещенных после ухода трихом”. “В поперечных срезах таких пучков иногда хорошо видно сочетание таких трубочек, с целыми пластинками-веерами... Видимая длина таких пучков может достигать нескольких сотен мкм... Некоторые из таких пучков в срезах напоминают, благодаря обилию пустотелых трубок, строение многоствольных минометов” (стр. 29). Эти три главные формы золота в углеродистых слоях месторождения Витватерсранд, как впрочем и многие другие, но по массе имеющие второстепенное значение, возникают, как считают авторы, в результате репликации золота по нитям микробиальных слоев и замещения углерода этих слоев золотом.

Максимальные или даже уникальные концентрации золота в породах с повышенной углеродистостью (черные сланцы, графит) общеизвестны. Я еще в 1945 г. показывал академику С.С. Смирнову образцы из разведывавшейся нами золотоносной кварцевой жилы на склоне долины Малый Ат-Юрх. В ее зальбандах, где наблюдалась расщепленная на тонкие пластинки, перемежавшиеся с кварцем, черносланцевая вмещающая порода, обычно концентрируются уникальные содержания золота. В книге [7] я отмечал, что открытие золоторудного месторождения Мурунтау (Узбекистан), а в последующем Сухого Лога (Россия) некоторые исследователи стали развивать идею об изначально осадочном их происхождении. Например, В.Г. Гарьковец [2] предложил в классе эндогенных выделять коровые (литогенные), среди которых – метаосадочные и апоосадочные месторождения. Однако в Мурунтау на глубине 4005–4300 м скважиной подсечен гранитоидный массив, в породах которого зафиксированы торит, монацит, уранинит, арсенопирит, сфалерит, магнетит, золото в ассоциации с графитом. В порообразующем кварце и плагиоклазе гранитов рудные минералы присутствуют в виде тончайших включений (3–10 мкм), образуя струйки и индивидулы, развивающиеся по трещинкам, в которых они ассоциируют с твердофазным углеродистым веществом. В золоторудном месторождении Мурунтау, сформировавшемся в алевролитах, обогащенных органическим веществом, повторяется рудный парагенезис гранитов. Рудная минерализация фиксируется в кварцевых жилах, выполняющих разломы, и в дробленных (брекчированных) алевролитах, то

есть в наиболее проницаемых зонах, связанных с системой разломных структур.

Прецизионными исследованиями руд Сухого Лога зафиксировано золото в виде включений размером в единицы микрометров в пиритах и в виде пленок (десятые доли микрометров) в сростаниях с графит-серицитовыми агрегатами, а также в неопределенных формах серебра, платина и палладий в виде включений кластерной субкристаллической размерности в золоте, пирите, халькопирите, минералах никеля и в сростаниях с графитом, антроксолитом, кварцем и алюмосиликатным материалом черных сланцев. В крупнейшем золоторудном месторождении России (Наталка, Северо-Восток), золото-пиритовая минерализация, сопровождающаяся ассоциацией других сульфидов, наложилась на высокопроницаемые зоны брекчированных дробленных черносланцевых пород, насыщенных графитом.

Причина такой избирательности золотом углеродсодержащих пород до сих пор никем не объяснена. За всю историю развития золотодобывающей промышленности золото в породах с повышенной углеродистостью представлялось как инертный компонент к последним, то есть никаких признаков физико-химических взаимодействий между золотом и углеродистым веществом не было замечено.

Тем не менее, авторы работы [8] в микробактериальных слоях достоверно установили не только наличие общеизвестной связи золота с углеродом, но и псевдоморфозное замещение золотом углерода, слагающего микробактериальные нити, с сохранением мельчайших скульптурных деталей последних.

Авторы указанной работы, не объясняя механизма такого взаимодействия золота с углеродом в микробактериальных слоях, отнесли месторождение к россыпям, сформировавшимся в лагунах в аридных или семиаридных обстановках. В эти лагуны водотоками с окружающих территорий, по их мнению, было привнесено золото, которое и зафиксировалось в основном в углеродистых слоях, мощность которых не превышает нескольких сантиметров, часть его сконцентрировалась в нижней зоне перекрывающих эти слои «конгломератов» (в кавычки взято мною – Н.Ш.).

Однако известно, что в аридных и семиаридных условиях литогенетическая роль воды или сводится к нулю, или столь слабо проявляется, что ни о каком переносе и тем более переработке и сортировке громадных количеств аллювиального материала и речи не может быть.

Тем не менее, результаты исследований псевдоморфоз золота по микробактериальным нитям столбчатых

слоек в месторождении Витватерсранд позволяют создать непротиворечивую модель генезиса этого месторождения. Их открытие для меня, длительное время занимавшегося этой проблемой, явилось последним звеном, которого не доставало в разрабатывавшейся мною концепции.

Золотовмещающий комплекс рудного поля Витватерсранд хорошо изучен, он включает: а) микробактериальные углеродистые столбчатые слои, залегающие на гранитогнейсовом архейском фундаменте под псевдоконгломератами, в настоящее время всеми относимыми к конгломератам, б) псевдоконгломераты, состоящие из кварцевых шаровидных «галек», сцементированных кварцево-каолин-серицитовым цементом, в) пирит в форме шаровидных стяжений, получивших название пиритовой картечи. Формирование этого комплекса происходило в менявшихся тектонических и физико-географических обстановках. Три из них зафиксированы в современных особенностях месторождения и являются его генетической основой. Это, во-первых, формирование микробактериальных матов в семиаридных условиях, вошедших в комплекс в виде столбчатых углеродистых слоев и, видимо, полное завершение формирования всей системы Витватерсранд, перекрывшей микробактериальные маты. Во-вторых, погружение всего комплекса на глубины со сдавливающими напряжениями, где и образовались сфероиды (шары) кварца и пиритовая картечь, возможно, некоторое количество алмазов. В-третьих, напряжения сжатия в комплексе сменились растягивающими напряжениями, что несомненно связано с глубинными разломами. Растяжение сопровождалось образованием микротрещиноватости и брекчированием пород*, проявившемся в некоторой его части.

В таком виде витватерсрандский комплекс пород стал матрицей, на которую наложилось золотое оруденение. В этой матрице наиболее проницаемой зоной оказался контакт органических слоев и псевдоконгломератов с архейским фундаментом. Поэтому не случайно золото-урановый гидротермально-флюидный диффузионный поток сбрасывал рудный комплекс именно в этой зоне. Золото создавало репликации вдоль нитей столбчатых слоев, формировало псевдоморфозы по углероду, заполняло интерстиции между брекчиями. Некоторая его часть сконцентрировалась в маломощном (менее фута)

*Мне недавно прислали для исследования образец витватерсрандской руды. Он брекчирован, видимое золото заполняет интерстиции, наиболее крупные его выделения тяготеют к черным сланцам.

слое псевдоконгломератов, перекрывающих микробинальные столбчатые слойки. Не подлежит сомнению, что этот процесс протекал весьма длительное время, измеряемое десятками миллионов лет, а может быть даже больше.

Итак, изучение создавших месторождение процессов однозначно показывает, что Витватерсранд имеет гидротемально-метасоматический генезис. Оно сформировалось в мезозоне земной коры, куда поступало золото, серебро, уран со значительных глубин из одного источника и в течение длительного времени. К их транспорту, скорее всего, причастны флюиды, насыщенные цианидами или другими золотосодержащими комплексами, растворимыми в термах.

Однако гидротемально-метасоматический генезис этого уникального золото-уранового месторождения вызывает, по меньшей мере, два вопроса, на которые необходимо дать ответ. Это, во-первых, почему возникло месторождение, из которого уже добыто около 50 тысяч тонн этого металла, и, как полагают эксперты, оставшиеся в нем запасы могут быть оценены еще в 50 тысяч тонн? И, во-вторых, чем можно объяснить образование золотых псевдоморфоз по углеродистым столбчатым слойкам?

На первый вопрос можно ответить только в том случае, если удастся установить причину “стягивания” или атомов, или молекул элементов. Оно проявляется во многих геологических процессах и, в том числе, например, при образовании слоев при формировании расслоенных интрузий ультраосновных пород. Нередко встречающиеся крупные самородки золота или платины, вероятнее всего, обязаны тому же процессу стягивания к центру роста агрегатов этих металлов. С процессом стягивания несомненно связаны уникальные массы металлов и, возможно, других элементов, являвшихся источниками образования месторождений полезных ископаемых, грандиозных рудных поясов и полей, имеющих планетарное значение. Их примером может служить вулкан Лакос в Чили, изучавшийся проф. В.И. Старостиним. Этот вулкан в течение длительного времени изливает чистый магнетит. Ко второму примеру условно можно отнести вулкан Кудрявый на о-ве Итуруп, который в течение длительного времени изливает андезитобазальтовые лавы, обогащенные рением. Такие источники, видимо, формируются в ходе дифференциации внутрипланетного вещества, скорее всего, в верхнемантийной зоне.

Установлено, что Р, Ag, Au при плавлении проявляют аномалии магнитных эффектов, то есть становятся парамагнитными. Вероятно этот факт можно

распространить и на пересыщенные растворы соединений Au или содержащие его радикалы, устойчивость которых в гидротермах стабилизируется щелочами или другими элементами, молекулярными и атомными соединениями или радикалами. Возможно, что парамагнетизм, подобно гравитации, образует поле, которое определяет стягивание металлов в массы, являющиеся источником для месторождений, рудных полей, поясов, металлогенических провинций. Исследования в этом направлении могут дать совершенно неожиданный результат и поэтому являются весьма перспективными.

Все сказанное выше позволяет ответить и на второй вопрос: почему в месторождении Витватерсранд максимальные концентрации золота связаны с углеродистыми слойками? Так как выше было показано на примерах золоторудных месторождений Мурунтау, Сухой Лог и Наталка, что Витватерсранд в этом отношении не является исключением, ответ на поставленный вопрос имеет общее значение: максимальные концентрации золота в присутствии углерода являются общей закономерностью образования золоторудных месторождений. Но почему? Сегодня на этот вопрос никто не может ответить. Классики геологической науки, изучавшие рудные месторождения, их геохимию, минералогию, кристаллографию, даже близко не подходили к ответу на этот sacramентальный вопрос. Всегда специалисты самого высокого ранга ассоциацию золота с кварцем или с углеродом относили к самому собой разумеющемуся факту, природному явлению, существо которого навсегда спрятано от человеческого разума.

Прочитав работу [8], я решил, что ответ на этот вопрос можно получить, если проанализировать рудообразующий процесс, основываясь на законах физической химии, на электронном и даже ядерном уровне. Общеизвестно, что в настоящее время всякий химический процесс рассматривается с двух позиций: а) энергетической и б) магнитной. Поскольку естественное рудообразование развивается по тренду затухающих тепловых эффектов, то, естественно, предпочтение мною было отдано магнитному сценарию. Такой подход к анализу проблемы оправдывается еще и тем, что, во-первых, с этих позиций она никем не изучалась, во-вторых, как известно, магнитные эффекты фиксируются во многих химических реакциях. Однако объяснение этого явления не давалось, и тем более не предпринималось даже попыток приложения его к разработке соответствующей теории развивающихся процессов.

Но прежде, чем продолжить анализ материала, дающий ответ на второй вопрос, остановлюсь, опи-

раясь на работы академика А.Л. Бучаченко [1] и др., на магнитном аспекте химических реакций. Он связан с электронами и ядрами химических элементов.

Электроны – это магнетики, обладающие угловыми вращательными моментами или квантовыми спинами, которые сохраняют в пространстве ориентацию подобно гироскопу. Во множестве органических и неорганических соединений электроны имеют попарную, противоположную друг к другу ориентацию вращательных моментов. Их электронный спин равен нулю; такое спиновое состояние получило название синглета. Однако имеется множество химических элементов и их соединений, в которых присутствуют неспаренные электроны. Если имеется один электрон, то его спин равен S , и в противоположных направлениях вращения он дает два случая организации, называемых дублетом. В случае двух неспаренных электронов происходит либо компенсация спинов, тогда сумма их равна нулю (синглет), либо сложение, дающее суммарный спин, равный 1. Такое спиновое состояние получило название триплет. Это спиновое состояние имеет три ориентации.

Спиновые состояния определяют способность вступать в реакцию химических объектов, или наоборот возникает такое спиновое состояние, которое налагает абсолютный запрет на реакцию. Реакционно способными являются объекты, в которых суммарный спин реагентов совпадает со спином продуктов реакции. Электрон обладает магнитным моментом, он чутко реагирует на всякое магнитное поле, какой бы малости оно ни было. Магнитное поле может рекомбинировать спиновое состояние участвующих в реакции объектов, переведя их из неакционно способных в реакционно способные и наоборот, то есть снять спиновый запрет на реакцию или рекомбинировать спиновое состояние таким образом, что возникнет запрет на реакцию.

Каким магнитным полям, оказывающим влияние на спиновое состояние объектов, участвующих в химических взаимодействиях, в частности в рудообразующих процессах, следует отдать предпочтение? На этот вопрос ответ лежит на поверхности. Это прежде всего магнитные ядра отдельных изотопов некоторых элементов. С точки зрения рассматриваемой мною проблемы, то есть рудообразующего процесса, в котором в качестве ведущих элементов выступают золото, серебро или уран, как это имеет место в месторождении Витватерсранд, к ним, в первую очередь, можно отнести изотоп углерода: ^{13}C . Этот изотоп имеет магнитное ядро.

В приведенных выше примерах (Витватерсранд, Мурунтау, Сухой Лог, Наталка) золотая минера-

лизация наложилась на структуры с растягивающими напряжениями, которые рассматриваются как матрицы отложения рудных минералов. Золото в эти структуры поступало, скорее всего, из единых мощнейших источников. В них запасы этого элемента должны были превосходить запасы месторождений, созданных за счет этих источников. Можно утверждать, что переход минералообразующего вещества из источников (верхнемантийная зона) в структуры минералообразования (земная кора) инициировался большой разностью напряжений. В верхнемантийной зоне, по-видимому, сохранялись сдавливающие напряжения, тогда как в рудообразующей структуре развивались растягивающие напряжения, что можно объяснить образованием разломных структур. В каком виде осуществлялся транспорт золота? В ряде золоторудных месторождений, где золото дает максимальные концентрации в связи с углеродом, набор элементов или радикалов повторяется: во включениях, как правило, обнаруживаются CO_2 , CO , N_2 , CH_4 , C_2H_4 . Это позволяет отдать предпочтение цианидам, которые могут образовывать соединения типа $[\text{Au}(\text{CN})_4]$ или другие какие то неизвестные золото-содержащие радикалы. Возможно цианид Au в присутствии N аморфотизируется. Флюид этого комплекса переносится термальными водами в матрицу, в которой присутствует углерод и его изотоп ^{13}C , содержащий магнитное ядро, то есть в магнитное поле углерода, где претерпевает рекомбинацию электронных спинов. Новая спиновая комбинация приводит к разрушению цианидного комплекса Au, и золото выпадает в магнитном поле углерода, то есть оказывается в ассоциации с углеродом (органическим или неорганическим). При формировании золоторудного месторождения Витватерсранд золото из флюида создавало репликации вдоль микробиальных нитей и даже замещало их углерод, формируя псевдоморфозы золота по углероду.

Но, как известно, значительная часть золоторудных месторождений относится к тому типу, где золото присутствует в ассоциации с кварцем. В них углерод или отсутствует, или обнаруживается в незначительных количествах в качестве жильных карбонатных минералов. Возникает вопрос: что в этом случае определяет ассоциацию золота с кварцем? Я не ошибусь, если скажу, что и в этом случае рудообразующий процесс развивается по тому же сценарию, который рассмотрен выше, где магнитные поля ядер некоторых изотопов выступают в качестве рекомбинатора электронного спинового состояния золотосодержащих комплексов. Здесь ведущую роль играют изотопы ^{29}Si , ^{17}O и, несомненно, SiO_2 , который содержит

магнитные ядра указанных изотопов. Разумеется, золотой комплекс в гидротермально-флюидном растворе может быть иным, однако повсеместное присутствие в плутоногенных золотокварцевых месторождениях альбита $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, а в вулканогенных золотокварцевых – адуляра $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ указывает на то, что в этих случаях цианиды натрия и калия играют решающую роль в миграции этого элемента в рудообразующую зону.

Здесь рассмотрены два крайних случая концентрации золота: в магнитном поле изотопа ^{13}C и в магнитных полях изотопов ^{29}Si и ^{17}O , однако существует бесчисленное количество золоторудных месторождений, в рудовмещающем комплексе которых присутствуют изотопы с магнитными ядрами ^{13}C , ^{29}Si , ^{17}O как органического, так и неорганического происхождения. В этой ситуации рудообразующий процесс протекает по той же схеме, а магнитные поля, рекомбинирующие спиновое состояние золотосодержащих комплексов, создают те же изотопы углерода, кремния и кислорода.

Можно предположить, что в развитии рудного процесса играет роль и ферромагнетизм. На эту мысль наводит тот факт, что для золоторудных провинций характерно присутствие именно пирита (FeS_2), а для оловорудных – пирротина (FeS). В жильном комплексе в первых, как правило, присутствует пенин $\{(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_8\}$, а для вторых характерен тюрингит $\{\text{Fe}_{3.5}(\text{Al,Fe}^{\cdot\cdot})_{3.5}[\text{Si}_{2.5}\text{Al}_{1/5}\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 - n\text{H}_2\text{O}\}$, то есть магнезиальный и железистый силикаты.

Таким образом, в основе рудообразующих процессов лежат магнитные ядра некоторых изотопов элементов, спиновое состояние участвующих в реакциях объектов и его возможная рекомбинация магнитными полями ядер изотопов, магнитные эффекты расплавов, пара- и ферромагнетизм. Идея о переработке золота бактериями или грибами и его усвояемости этими организмами является недоразумением, так как не имеет под собой физико-химической основы. Золото в эти организмы попадает с водой, которую в больших количествах перерабатывают эти организмы. Оно присутствует в виде какого-то растворимого комплекса с соответствующей спиновой комбинацией, которая рекомбинируется ^{13}C , золотосодержащий комплекс разваливается, и золото “усваивается” организмами.

В сложном, но развивающемся неравновесном рудообразующем процессе большая роль принадлежит водороду, дегазирующему из внутренних сфер Земли. Однако его значение в геологических процессах – особая проблема, на которой я не могу останавливаться.

Из изложенного выше следует, что проблема Витватерсранда является частным случаем всех рудообразующих процессов, протекающих по единой схеме. Его уникальность определилась компактностью рудовмещающей структуры (менее 300 тысяч km^2), определившей концентрацию золота в количестве около 100 тысяч тонн в наиболее проницаемой зоне этой структуры, которой оказался контакт архейского фундамента с наложенной на него структурой (столбчатые слои цианобактерий и псевдоконгломераты), сформировавшейся в ходе тектоногенеза. Витватерсранду можно противопоставить Северо-Восток России, который, по моим подсчетам, оценивается таким же количеством золота, но его рудовмещающая структура оказалась не компактной (более 3 млн km^2), и поэтому здесь произошло рассеивание золота, поступавшего из внутрисферного, по-видимому, единого источника.

В заключение хочу отметить, 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.

Я весьма благодарен Э.Л. Школьнику, Е.А. Жегалло, Л.М. Гирасименко и Ю.В. Шуваловой за то, что они представили мне свою работу, которая оказалась золотым ключиком, помогшим мне открыть дверь в царство Истины, где любому, ее познающему, наденут лавровый венок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бучаченко А.Л. Магнитный сценарий химической реакции. Наука и человечество, М.: Знание, 1990. С. 193–201.
2. Гарьковец В.Г. Концепция литогенного рудообразования // Отечественная геология. 1992. № 12. С. 3–8.
3. Нел Л.Т. Проблема генезиса уранинита в золотоносных конгломератах Южной Африки. Тр. XXI Международного геол. конгр. М.: Мир, 1964. Вып. 3. С. 258–274.
4. Портнов А.М. Глубинные конгломераты: месторождения золота, урана, алмазов // Природа. 1980. № 7. С. 27–33
5. Шило Н.А. Сахарова М.С. Природа пиритовых образований отложений Витватерсранда // Геология рудных месторождений. 1986. № 2. С. 85–89.
6. Шило Н.А. Проблема механизма формирования парагенезисов минералов в россыпях, образующихся в перигляциальных и аридных условиях // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14, № 3. С. 311
7. Шило Н.А. Учение о россыпях – теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 2002. 575 с.
8. Школьник Э.Л., Е.А.Жегалло, Л.М.Гирасименко, Ю.В.-Шувалова Углеродные породы и золото в них бассейна Витватерсранд, ЮАР – исследования с помощью электронного микроскопа. М., 2005. 120 с.

9. Щеглов А.Д. О генезисе золоторудных месторождений района Витватерсранд // Докл. РАН. 1993. Т. 333, № 1. С. 79–82
10. Щеглов А.Д. О металлогении Южно-Африканской республики, генезисе золоторудных месторождений Витватерсранд и проблеме открытия их аналогов в России. СПб: Изд.-во ВСЕГЕИ, 1994. 44 с.
11. Щеглов А.Д. О некоторых особенностях золоторудных месторождений Витватерсранда и их эквивалентах в восточных районах России // Тихоокеан. геология. № 2. 1995. С. 160–166.
12. Hallbauer D.K., Kable E.J.D. Fluid inclusions and trace element content of quartz and pyrite pebbles from Witwatersrand conglomerates: their significance with respect to the genesis of primary deposits // Ore genesis – The State of Art / Eds Anstutz G.C. et al. Berlin; Heidelberg: New York, 1982. P. 742–752.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

N.A. Shilo

The Witwatersrand, and the problem of ore formation

The problem of ore formation at the Witwatersrand gold-uranium deposit is dealt with. The alluvial and explosive-hydrothermal origin of spheroidal pyrites and, accordingly, gold-bearing pseudoconglomerates is denied. The primary character of spheroidal forms and pyrite crystallization *in situ* under endogenic conditions is proved. The association of Au with carbonaceous rocks is explained from the point of view of nuclear magnetic physical-and-chemical phenomena.

Key words: gold, carbon, ore formation, large deposits, Witwatersrand.