

**РОЛЬ ПРИРОДНЫХ КЛАСТЕРОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
КАК ИСТОЧНИКА РУДНОГО ВЕЩЕСТВА  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В. Н. Матвиенко<sup>1</sup>, В. М. Ненахов<sup>2</sup>, Ю. Д. Калашников<sup>3</sup>, В. Л. Левин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии Национальной академии наук Республики Казахстан, г. Алма-Аты

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет

<sup>3</sup> ООО «РЗК Инжиниринг», г. Москва

Поступила в редакцию 23 августа 2018 г.

**Аннотация:** приводятся результаты обоснование дальнейших исследований по увеличению извлекаемости золота и других благородных металлов из так называемых «упорных» руд. Прежде всего, это касается руд, содержащих ультратонкое и наноразмерное золото и платиноиды, связанные с высокоуглеродистыми рудовмещающими комплексами, определяющими значительный потенциал благородно-металльного оруденения в виде крупнейших месторождений, в том числе месторождений – гигантов. Показано, что неизвлекаемое, наноразмерное золото составляет значительную, иногда подавляющую долю в общем балансе ресурсного потенциала рудных объектов. Рассмотрено понятие «кластерное» золото, дана классификация происхождения и предложены гипотезы формирования кластерных форм металлов, в том числе сорбционная, бактериальная, космическая. Обобщен опыт изучения упорных руд и технологий их переработки, показаны возможности и перспективы инновационных подходов по повышению извлекаемости благородных металлов на основе перевода кластерных неизвлекаемых форм в извлекаемые «металлические», в том числе гравитационными методами. Показана принципиальная возможность создания условий самосборки для перевода кластерного в металлическое золото. Приведены примеры для такого перевода платиноидов и других металлов.

**Ключевые слова:** упорные руды, ультратонкое и наноразмерное золото, пластовое золото, высокоуглеродистые рудовмещающие комплексы.

**THE ROLE OF CLUSTERS NOBLE METALS AS A SOURCE  
OF ORE SUBSTANCE IN THE FORMATION DEPOSITS**

**Abstract:** The paper contains the results and the basis for further works dealing with the increase in gold and other noble metals extraction from the so-called “refractory” ores. First of all it refers to the ores that contain ultrathin and nanosized gold and platinooids associated with highly carbonaceous ore-bearing complexes that determine considerable potential of noble metal mineralization in the form of large deposits including giants deposits. It is shown that unrecoverable nanosized gold represents a considerable, sometimes the greatest portion in the total balance of resource potential of ore objects. The concept of “cluster” gold is considered; the classification of the origin of cluster forms of metals is given; the hypothesis of their formation is proposed (bacterial, sorptive, cosmic). The experience of refractory ores investigation and methods of their processing is generalized; the potentialities and prospects of innovation approaches to the increase in noble metals extraction on the basis of transformation of cluster unrecoverable forms into recoverable “metallic” ones, by gravitational methods, for example, are shown. The principal potentiality of creation of self-assembling conditions for transformation of cluster gold into metallic one is shown. The examples of platinooids and other metals transformation are given.

**Keywords:** refractory ores, ultrathin and nanosized gold, cluster gold, highly carbonaceous ore-bearing complexes.

## Введение

Современное состояние изученности геологии и вещественного состава большинства известных золоторудных месторождений, с одной стороны, а также применяющихся способов обогащения руд, рудоподготовки и технологий извлечения благородных металлов – с другой стороны, на наш взгляд, пришли в явное противоречие. Детальнейшее изучение вещественного состава руд в целом и имеющих технологических типов руд, в частности, применение для обогащения новых суперсовременных способов рудоподготовки и различных модификаций оборудования преимущественно гравитационного и флотационного обогащения не способствуют заметному увеличению извлечения полезных компонентов. Различными исследователями доказано, что применение новых способов дробления и истирания руд (использование для этих целей электрогидроизмельчителей, дезинтеграторов и пр. оборудования, исключаящих применение шаровых мельниц, конусных истирателей и щековых дробилок и пр.) приводит максимум к 20–30 % увеличению извлечения благородных металлов.

Вместе с тем, в настоящее время практически нет ни одного способа эффективной переработки сложных (упорных, высокосульфидных, углеродсодержащих и пр.) руд, в которых преобладает доля метастабильных (ионной, кластерной и пр.) форм благородных металлов. Нет и способов максимально полного извлечения тонкодисперсного и супермикроскопического самородного золота, имеющего, с одной стороны, четко выраженную гранцентрированную кубическую структуру, а с другой – обладающего необычными физико-химическими свойствами [1, 2, 3, 4, 5].

Изучение кластерных форм благородных металлов в рудах в настоящее время находится на начальной стадии, несмотря на то, что возможность их широкого участия в природных процессах, впервые была выявлена более 30 лет тому назад [6, 7, 8, 9, 10, 11 и др.].

Авторами была предпринята попытка детального изучения природных кластерных форм благородных металлов в рудах с целью использования полученных результатов для создания технологий их извлечения.

## Методика

В основе проведенных работ лежит всестороннее изучение фазового состава и типомофизма золота в рудах на макро – микро – и наноуровнях [1, 2, 4, 5, 12, 14], проведенное в Институте геологических наук НАН РК с 1983 по 1995 гг. В. Н. Матвиенко и В. Л. Левиным при участии аналитика П. Я. Котельникова

Кроме того, в течение 2001–2003 гг. проводилось детальное изучение природных кластерных форм благородных металлов в рудах различных золоторудных месторождений Республики Казахстан и Российской Федерации и разрабатывались новые аналитические методики их определения. Начиная с 2001 и по 2011 гг. выполнялись работы по созданию и отработке режимов работы промышленных дезинтеграторов и концентраторов для переработки руд (Ю. Д. Калаш-

ников, В. Н. Матвиенко, Л. А. Нехорошев). В работах также принимали участие высоко квалифицированные сотрудники ИГН им. К. И. Сатпаева АН Казахстана в области электронной микроскопии, микрозондирования и микрохимических методов анализа – Ф. Курмакаева, Е. Полканова, Т. А. Шабанова, Т. Ж. Неталиева, Н. В. Остапова и др.

В основе работ технологического плана была заложена идея металлизации кластерных форм благородных металлов принципиально новыми способами рудоподготовки с помощью центробежных дезинтеграторов, позволяющих разгонять с помощью роторов потоки рудной крошки 3–5 мм на встречу друг другу со скоростью звука. При этом не происходит переизмельчения руды, а в равной степени натирок самородного золота на шары и частицы пустой породы, как при дроблении и истирании руды в шаровых мельницах или электроистирателях.

Особое внимание уделялось подготовке пульпы при строго определенных соотношениях Т:Ж. Параллельно с отработкой режимов работы концентраторов авторских конструкций, производились испытания серийных концентраторов Нарофоминского производства, фирмы «Итомак» и концентрационных столов «Джемими». Целью их было объективное выявление наиболее эффективных концентраторов, позволяющих максимально полно извлекать из руд благородные металлы с получением концентратов с содержаниями благородных металлов не менее 100–2500 г/т, в том числе, и прежде всего, при переработке руд с тонкодисперсным и супермелким золотом, размером менее 5 мкм.

Экспресс контроль над технологическим процессом на всех стадиях осуществлялся авторским аналитическими методами анализа (в том числе и методом «Прямого купелирования», также разработанным В. Н. Матвиенко), как более эффективная альтернатива пробирному, атомно-сорбционному и даже нейтронно-активационному анализам, позволяющим извлекать весь комплекс благородных металлов в королек.

Разработка «*Пирощелочного анализа*» и его модификаций [15] позволила получить не только уточненные содержания золота в различных типах руд золоторудных месторождений, но и оценивать каждый раз его фазовые соотношения (по сути, был создан эффективный вариант фазового анализа). Пирощелочной анализ прошел испытания в многочисленных лабораториях Казахстана, Узбекистана, Дальнего востока России и Киргизии.

## Понятие, классификация и характеристика природных кластеров золота и других благородных металлов

Под кластерными формами золота понимаются группы атомов и молекул наноразмерного уровня с уникальными свойствами, отличающимися от свойств металлического золота. Кластеры, как правило, находятся в углеродистой оболочке, в связи с чем высвобождение благородных металлов из них требует спе-

циальных, нетрадиционных подходов.

По происхождению кластерное золото можно разделить на две группы: первая – кластеры первичные осадочного происхождения и вторая кластеры вторичные, связанные с разнообразными рудоформирующими процессами. Наиболее важной для понимания происхождения всего многообразия золоторудных объектов, является первая, связанная с первичной аккумуляцией золота в так называемых литогеохимических формациях, современным прототипом которых является бассейн Черного моря и территории с широким распространением черных сланцев, аналогичных Кызыловской зоне смития в Восточном Казахстане. В данном случае углерод является природным сорбентом-поглотителем, экстрагирующим ионное золото из морской воды. Содержание в морской воде последнего в ионной форме по разным оценкам колеблется от 3 до 5 т в одном кубическом километре. Существенную роль в процессе сорбции и аккумуляции играли не только чистые химические свойства органического углерода, но и, прежде всего, бактерии.

С большой долей вероятности можно предположить, что кластеры представляют собой единичные клетки, группы или «колонии» клеток отдельных частей *металл-экстрагирующих палеобактерий* (рис. 1).

Последние в процессе своей жизнедеятельности,

скорее всего, использовали атомы благородных металлов не только для своего нормального жизнеобеспечения, но и в защитных целях: серебра – для «формирования защитных оболочек больных клеток», золота и платиновых металлов – для нормальной функциональной деятельности клеток и эффективного жизнеобеспечения бактерий. При отмирании металл-экстрагирующих палеобактерий происходило их разрушение с высвобождением кластерных форм благородных металлов. Подтверждением тому могут служить результаты экспериментов по культивированию в Австралии бактерий, «питающихся» хлоридами золота. Из этих клеток в последующем образовывались фуллерены и подобные им формы фиксации металлов. В участках интенсивного развития металл-экстрагирующих бактерий (наряду с другими факторами хемогенной сорбции, геохимических барьеров и пр., способствующими изначальному накоплению благородных и тяжелых металлов) формировались литогеохимические формации (основания единой золоторудной колонны [16]), которые, в нашем понимании, являлись основным источником [17, 18] рудных элементов при формировании месторождений. Металл-экстрагирующие палеобактерии (рис. 2) нами фиксировались в большом количестве ранее при электронно-микроскопическом изучении руд и рудовмещающих пород золоторудных месторождений Амантайтау, Архарлы.

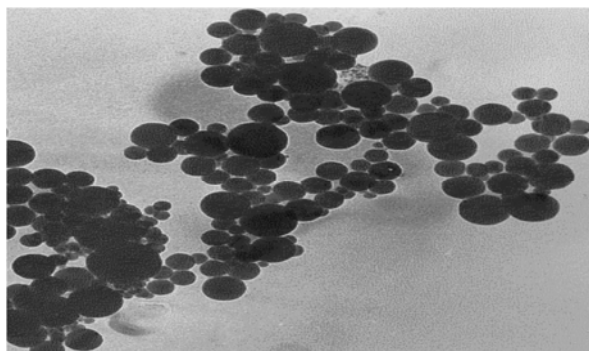


Рис. 1. «Колонии» единичных сферических золото-органических протокластеров из руд месторождений - Бакырчик (слева) и Архарлы (справа).

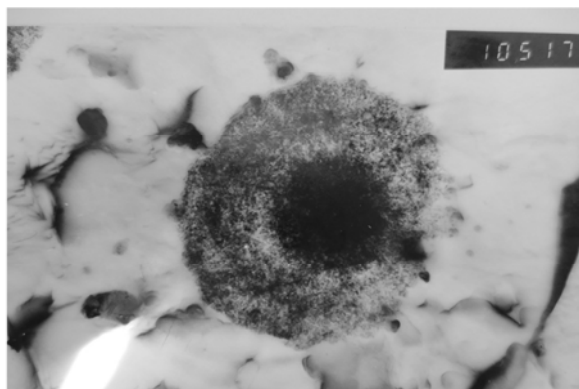


Рис. 2. Золотосодержащая палеобактерия (ув. 105000 раз) месторождения Бакырчик (слева). Палеобактерии, замещенные сульфидом железа (увеличение 55000 раз) из руд месторождения Архарлы (справа).

Не исключен и космический фактор источника рудного вещества, что подтверждается в последние годы многочисленными исследованиями состава космической пыли в арктических льдах. И в этом плане в первую очередь необходимо обратить особое внимание на результаты изучения различных по составу и площадному распространению на Земной поверхности частиц космической пыли в зависимости от характера распространения на территории Земли преобладающих видов металлических и неметаллических полезных ископаемых. Вполне вероятно, что ареал максимального скопления космической пыли, которая содержит больше платины, палладия, кобальта, никеля и др. цветных металлов на отдельных участках земной поверхности (например, Антарктиды) заслуживает первоочередного внимания.

Если рассматривать ледники Антарктиды в этом плане, то они поражают количеством найденных в них остатков метеоритов и наличием различной по составу космической пыли, которая по данным исследователей в сотни раз превышает обычный фон. В период потепления эти покровы тают и несут в Мировой океан огромное количество космической пыли различного состава, которая является исходным материалом для формирования в последующем литогеохимических формаций, являющихся источниками рудных и нерудных (в частности оксиды кремния) компонентов в будущих рудных зонах и месторождениях.

Повышенная концентрация гелия-3, металлов (кобальта, платины и никеля) обязывают учитывать факт вмещательства космической пыли в состав ледникового щита. При этом вещество внеземного происхождения остается в первозданном и не разбавленном водами океана виде, что само по себе является уникальным явлением. Вполне вероятно, что ареал максимального скопления космической пыли, которая содержит в 100 раз больше платины, палладия, никеля, кобальта и других цветных металлов на территории ледников Антарктиды может потенциально являться уникальным по масштабу и запасам источником рудных элементов. С этих позиций на территории Земного шара можно назвать десятки рудных поясов. Изучение и их анализ с позиций первичного накопления рудного вещества как кластеров из космической пыли позволит уже в обозримом будущем по-иному оценивать глобальные и локальные потенциальные перспективы рудных и нерудных полезных ископаемых.

### Проявление наноформ золота в рудных процессах

Содержание кластерных форм золота, как в пиритах, так и аренопиритах зависит не только (и может быть не столько от типов месторождений) сколько от условий их образования. На основе изучения типоморфизма золота и золотосодержащих минералов и особенностей его фазового состава в рудах и рудовмещающих породах было выяснено: золоторудная минерализация на месторождениях золотосульфидно-

го в углеродистых толщах, золотосульфидно-кварцевого и эпитермального геолого-промышленных типов формировались по трем схемам.

1. На золотосульфидных месторождениях в *черносланцевых толщах* золоторудный процесс проходил по схеме: *матрица* (вмещающие породы) → *сульфиды* + *кластерное золото*.

2. На месторождениях *золотосульфидно-кварцевого типа* – он проходил по схеме: *матрица* (преимущественно кварцево-жильная) → *сульфиды* → *самородное золото*. Из этого следует, что вначале формируется рудовмещающая матрица, затем на нее с отрывом во времени накладываются сульфиды и завершает рудный процесс, опять же с отрывом во времени, отложение самородного золота.

3. Рудный процесс на эпитермальных месторождениях проходил по схеме: *матрица* (водосодержащие формы кремнекислоты) + *кластерное золото* → *сульфиды*.

При этом под матрицей в первом случае понимается рудоматеринская и рудогенерирующая среда, в которой кластерное золото находится в первично седиментогенном состоянии, а во втором и третьем случаях понимаются и кварцевые жилы, зоны окварцевания, и березитизации, и т.п. рудовмещающие породы, «специально» подготовленные дорудными растворами. В результате формируется губкоподобный, напоминающий вулканическую пемзу, каркас, который затем заполняется рудным веществом по одной из указанных выше схем золоторудного процесса (рис. 3). По степени насыщенности каркаса пустотами и полостями можно судить о потенциальной рудоносности рудных залежей в конкретных, локальных участках рудных тел, а по пространственной ориентировке рудолокализирующих полостей – о направлении движения предрудных и рудоносных флюидов. Системный отбор ориентированных образцов из рудных тел и их обработка по нашей методике позволяли судить о пространственном положении источника рудного вещества.

Таким образом, рудовмещающая матрица на всех золоторудных месторождениях, независимо от их формационной принадлежности, возраста вмещающих пород и оруденения в 1 и 2 случаях является первичной по отношению к собственно золоторудному процессу, а в 3-м – синхронной. Особенности формирования матрицы и ее дорудной подготовки по первым двум схемам в значительной степени отличаются по физико-химическим и термодинамическим параметрам от последующего отложения рудных компонентов и, в частности, золота и сульфидов.

Главную роль при формировании матрицы и транспортировке рудного вещества в метастабильных формах по всем 3-м схемам играет миграционно способный кремнезем. Отщепляясь при процессах диагенеза, катагенеза и метаморфизма от минералов материнских пород (движение его начинается уже при диагенезе донных илов) он переносится в зоны разгрузки, расположенные гипсометрически выше. Здесь

происходит заполнение структурных дефектов пород (например, участков их дробления, дегидратационные пустоты и полости, трещинные зоны и т.п.). При этом отмечается четкая зависимость количества подвижных форм (ионных и кластерных) и самородного золота в рудах от степени упорядоченности структуры кремнезема. По мере движения в зоны разгрузки

кремнекислота также служит транспортером не только рудных компонентов в виде кластеров, фуллеренов и пр., но и более крупных частиц. Например, в рудах месторождения Архарлы фиксировались фрагменты диатомовых палеоводорослей и палеобактерий (рис. 4), в рудовмещающих породах, чуждых природе их обитания (наземных вулканитах мощностью до 650 м).



Месторождение Бестобе



Месторождение Акбакай

Рис. 3. Характер матрицы рудовмещающих пород после выщелачивания сульфидов и золота. Светлые участки – вытравленные «каналы» и полости, в которых находились сульфиды и золото.

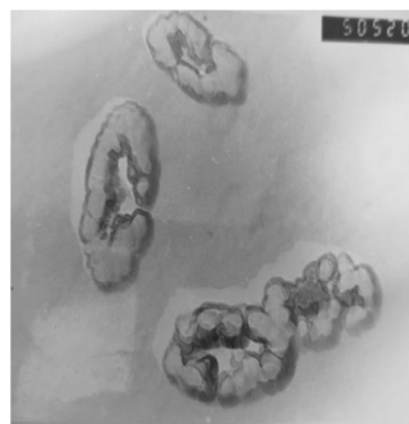
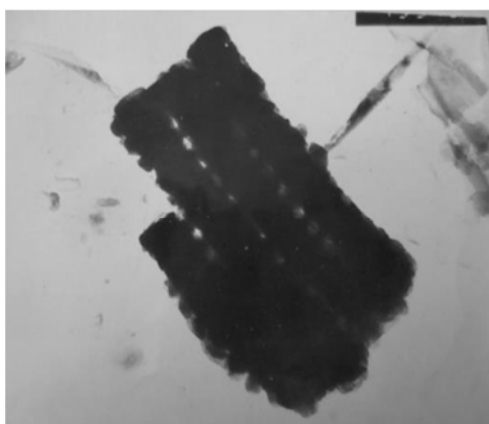


Рис. 4. Слева обломок диатомовой водоросли из аметистового месторождения в руде Архарлы (увеличение в 20 раз); справа палеобактерии из рудного кварца в руде в месторождения Архарлы. (увеличение 1000 раз).

На всех месторождениях наибольшая часть самородного золота фиксируется в кремнеземе (кварце), обладающем четко выраженной зернистостью и многочисленными межзерновыми микрошвами. И чем кварц зернистее (не раскристаллизованнее, а зернистее), тем более крупные выделения самородного золота отмечаются на данном месторождении или на данном эрозионном срезе конкретного рудного тела.

Дальнейшая эволюция водной кремнекислоты приводит сначала к образованию опала, а затем по мере развития эпигенетических процессов под воздействием температуры и давления, его перекристаллизации – в халцедон, и далее в кварц. При отвердении геля кремнекислоты и превращении его

в опал за счет отгона связанной воды формируются истинные растворы, из которых в остаточных линзовидных полостях отлагаются друзы и щетки кристаллов горного хрусталя. Последние как бы «стратифицируют» каждый ритм поступления геля кремнекислоты разгрузки, позволяет определить их масштабы и границы. Так, на золоторудном месторождении эпитермального типа Архарлы нами подсчитано 13 импульсов поступления кремнезема, в то время как на аналогичном по типу рудопроявлении Энбекши только 5. По этому показателю можно делать предварительную оценку перспектив выявленных золоторудных объектов на стадии поисково-оценочных работ.

### Результаты исследования

Было установлено, что в рудах черносланцевого золотосульфидного геолого-промышленного типа, преобладают кластерная и ионная формы золота, в то время как его самородная фаза в подавляющем большинстве представлена в сравнительно ограниченном количестве преимущественно в виде тонкодисперсной разновидности. Так, на месторождении Бакырчик в отдельных штучных пробах содержание тонкодисперсного самородного золота достигает 100 г/т. Максимальное количество самородной фазы золота зафиксировано в густовкрапленных и массивных пирит-арсенопиритовых рудах месторождения. Наиболее же часто повышенные концентрации самородной фазы тонкодисперсного золота устанавливаются в ранних слоистых пирит-арсенопиритовых рудах. Одновременно по данным пирощелочного анализа в большинстве изученных проб руд месторождения Бакырчик установлены десятки г/т кластерной и ионной формы золота, причем последняя часто преобладает (табл. 1).

Таблица 1

Содержание кластерной, ионной и самородной, форм золота в различных типах руд месторождения Бакырчик

№ № п/п	Вес пробы, г	Содержание золота в пробе, г/т				% самородной фазы в общем балансе Au
		Кластерное	Ионное	Самородное	Общее	
1.	75	1,13	3,13	2,70	6,96	38,79
2.	126	19,84	2,50	1,85	24,19	7,65
3.	175	29,14	1,91	10,30	41,35	24,91
4.	160	52,25	2,28	7,60	62,13	12,23
5.	136	5,29	10,80	-	16,09	-
6.	110	22,58	2,09	-	24,67	-
7.	135	166,60	13,33	12,20	192,13	5,83
8.	102	19,1	-	-	19,10	-
9.	100	49,40	-	-	49,40	-
10.	100	34,86	2,04	4,10	41,00	10,00
11.	100	121,18	2,40	65,00	188,58	34,47
Среднее		47,39	3,68	17,86	68,93	16,89

Какой-либо закономерности в соотношении кластерной и ионной форм золота в рудах месторождения Бакырчик не было установлено. В зависимости от состава проб преобладает либо кластерная, либо ионная формы золота, но в целом для месторождения характерны высокие содержания кластерного золота, иногда достигающие нескольких десятков, а в некоторых случаях сотен г/т.

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что в пробах, где зафиксирована самородная фаза золота, ее количество в общем балансе металла в рудах колеблется от 5 до 39 %. Среднее количество самородной фазы в общем балансе золота в рудах не превышает 17 %. Промышленные содержания самородного золота в проанализированных пробах (5–10 г/т и выше) определены в 36 % от их общего количества. Следует отметить, что ранее до наших работ считалось, что самородная фаза золота в рудах месторождения Бакырчик практически отсутствует. Тогда же впервые в рудах месторождений Бакырчик и Энбекши были установлены промышленные содержания платины, а в рудах месторождения Архарлы высокие содержания родия, вплоть до наличия минеральной формы – родита.

Аналогичные количества тонкодисперсной самородной фазы золота пирощелочным анализом в отдельных штучных пробах были установлены и на месторождениях Кумтор (Киргизстан) – до 412,5 г/т, Амантайтау (Узбекистан) – до 45–50 г/т при среднем ее количестве в рудах соответственно 18,7 г/т и 23,15 г/т соответственно.

В рудах месторождений типа «black shales» [5, 13, 16] (за исключением Мурунтау) широко развито углеродистое вещество (УВ) низших ступеней упорядоченности структуры: аморфное, двумерно – и трехмерноупорядоченное, тогда как на Мурунтау значительно чаще встречается антракосолит, шунгит и графит со сверхупорядоченной структурой. Такая оценка характера углеродистого вещества в рудах и рудовмещающих породах позволила предположить, а затем и доказать, широкое развитие на месторождениях природных кластеров, концентрирующих основную массу содержащегося в углеродистых породах золота и других благородных металлов (серебра, палладия и платины). В рудах Мурунтау преобладает УВ средних и высших ступеней упорядочивания структуры. Здесь широко развита самородная фаза золота, тогда как на Бакырчике преобладает кластерная.

Предпринятое в последние годы изучение природных кластерных образований с помощью электронной микроскопии и специальных химических приемов дало возможность изучить и определить их содержания с помощью оригинальные авторских аналитические методов – «пирощелочного и «прямого купелирования» [5]. Это позволяет металлизировать (рис. 5–8) различные виды природных кластеров (металлоорганических, металл-металлических, монометалльных и др.) и «улавливать» содержащиеся в них благородные металлы, выделяя их в корольки.





Рис. 5. Пленки металлизированного кластерного золота из пиритов месторождения Жаркулак на поверхности плава в стеклоглеродной чашке.



Рис. 6. Пленки металлизированного кластерного золота из игольчатых арсенопиритов месторождения Бакырчик на поверхности плава в стеклоглеродной чашке.

Наиболее обогащенными золотом и др. благородными металлами в кластерных и ионных формах являются сульфиды из золотосульфидных месторождений и, прежде всего, в черносланцевых толщах. Наименьшее количество указанных форм золота отмечается в сульфидах из золотосульфидно-кварцевых месторождений. Что касается эпитермальных месторождений, то по сравнению с золотосульфидно-кварцевыми месторождениями, максимальное количество кластерных (коллоидных) форм благородных металлов находится в рудовмещающих матричных кремнистых породах, несмотря на то, что из значительной их части образовалось тонкодисперсное и субмикроскопическое самородное золото.

При дроблении руд золоторудных месторождений Архарлы, Жаркулак и др. с помощью гидроизмельчителей (ЭГИ-К) конструкции Ю. Д. Калашникова и дезинтеграторов (ДИ-КиН) и обогащением с помощью концентраторов Ю. Д. Калашникова и Л. А. Нехорошева, усовершенствованных В. Н. Матвиенко в 2001 году при переработке руд указанных месторождений были получены результаты, которые не укладывались в существующие представления о соот-

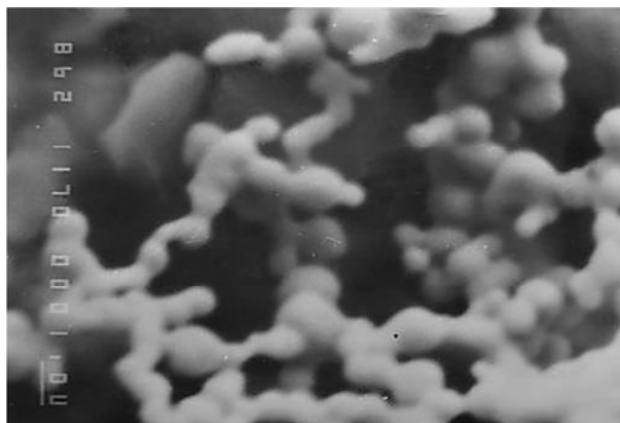


Рис. 7. Вытянутые цепочки металлизированных кластеров золота из кварца Архарлы (слева, размер риски 1 микрон).

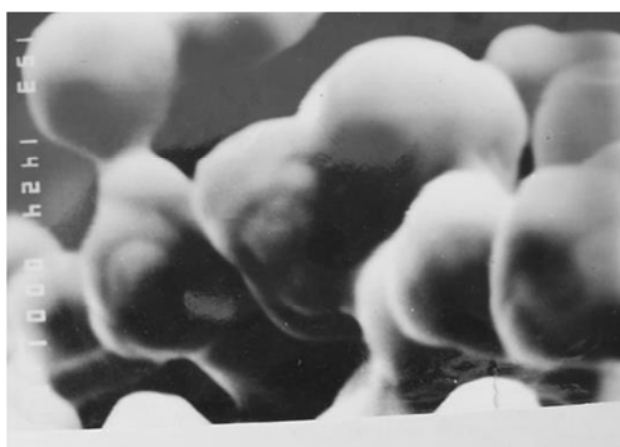


Рис. 8. Характер глобулей металлизированных кластеров золота с зародышевыми кристаллическими формами, извлеченных из золотоносного арсенопирита. Увеличение 15000 раз. Состав глобулей – Au – 100%. Месторождение Бакырчик.

ношении определяемого пробирным и атомно-абсорбционным методами количества благородных металлов, извлекаемых в концентраты и остающихся в «хвостах».

Суть их заключается в следующем. При содержании золота в исходной руде из жилы № 14 месторождения эпитермального Архарлы по данным пробирного анализа равном 3,45 г/т, после ее гидроэлектроизмельчения и дезинтеграции было получено пять концентратов с содержанием золота от 856 до 123 г/т и содержанием серебра от 7685 до 541 г/т, при общем извлечении благородных металлов всего 69,8 %. По данным контрольного пробирного анализа в хвостах было обнаружено 3,62 г/т золота (среднее по 5 пробам). Кроме того, при осмотре аппаратуры было установлено, что внутренняя поверхность концентратора покрыта («анодирована») слоем золота, имеющим слабое «сцепление» с металлом концентратора (рис. 9). Оценка количества осажденного на стенках концентратора золота показала, что на образование пленки потребовалось содержание не менее 40–50 г/т золота в пересчете на первичную руду.

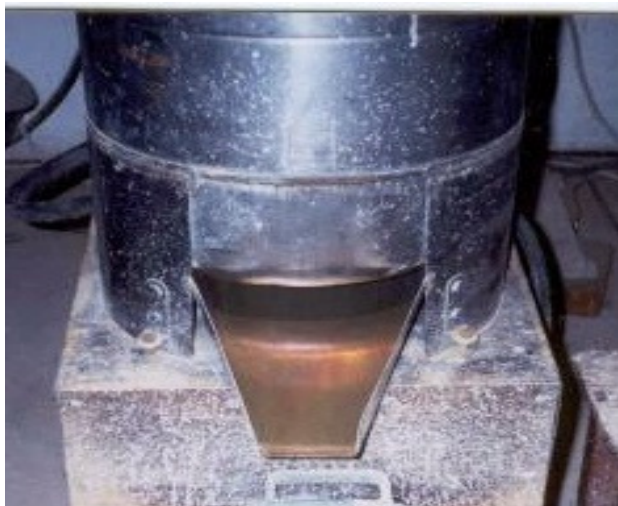


Рис. 9. Золочение чаши концентратора при получения концентрата из руды Жилы № 14 месторождения Архарлы (вид сверху и спереди).

Таким образом, был зафиксирован неизвестный «эффект», с одной стороны приведший к увеличению содержаний золота в «хвостах», по сравнению с исходной рудой, а с другой – к металлизации золота, не определяемого в руде существующими аналитическими методами. Этот эффект в 2004 году был назван по имени впервые обнаружившего и аналитически подтвердившего его исследователя – «эффектом В. Н. Матвиенко». Аналогичные результаты были получены по рудам жилы № 30 месторождения Архарлы. Позже выявленный «эффект» увеличения содержаний благородных металлов был зафиксирован при переработке хвостов ЗИФ месторождения Балей, руд Нежданинского, Бакырчикского, Жаркулакского, Нявленга и других месторождений. При экспериментах с концентратами Нежданинского месторождения, была получена спиралевидная полая трубчатая форма чистого (беспримесного) золота длиной 12 мм диаметром 0,2 мм, в которой было сосредоточено более 25 г/т золота в пересчете на концентрат. Аналогичные спиралевидные трубки размерами в длину 4–5 мм при диаметре 0,1–0,15 мм были получены при анализе хвостов Балейского месторождения, содержащих по данным традиционных (в т.ч. и нейтронно-активационного) анализов от 1,1 до 1,56 г/т золота и не более 5,5 г/т серебра, а по данным разработанных нами анализов суммарное содержание золота было определено как 28,65 г/т, при содержании серебра до 136 г/т.

Нанотрубчатые формы золота и серебра впервые были выделены В. Н. Матвиенко в 1985 году при изучении типоморфизма благородных металлов из руд месторождений Жолымбет и Архарлы при отделении благородных металлов от рудовмещающих пород щадящим пирощелочным методом при температурах до 250–300°C для сохранения их природных форм (рис. 10, 11). Нанотрубчатые формы золота представляют собой скопление вытянутых по оси  $L_3$  тончайших образований длиной 10–15 микрон и диаметром не более 0,01–0,2 микрона. Они располагались груп-

пами в полостях массивного золота. Пробность нанотрубок – 1000, при пробности окружающего их массивного золота 790–820. Нанотрубки 100% серебра из руд месторождения Архарлы представляют собой спутанную войлокоподобную массу в ассоциации с массивными выделениями кюстелита, состоящего на 26–28 % золота и 74–72 % серебра (рис. 12).

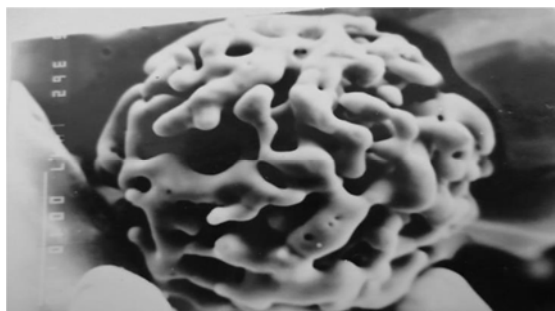


Рис. 10. Скопление нанотрубок золота в ассоциации с массивным золотом в рудах месторождения Жолымбет. Состав трубок – Au = 100 %.

К сожалению, в то время еще не было понятия нанозолото и наносеребро, кроме фотофиксации этих интересных природных образований и определения их составов с помощью микрозонда, они не были детально изучены.

В последние 5 лет Ю. Д. Калашников, изучая характер распространения платиноидов в различных регионах Российской Федерации – Южного и Среднего Урала, Дальнего Востока, Алтая и др. регионов, получил аналогичные результаты увеличения содержаний платиноидов, за счет кластерных и наноразмерных форм в десятки раз больше по сравнению с данными традиционных анализов в сертифицированных лабораториях Москвы. Кроме того, он подтвердил возможность укрупнения кластерных форм

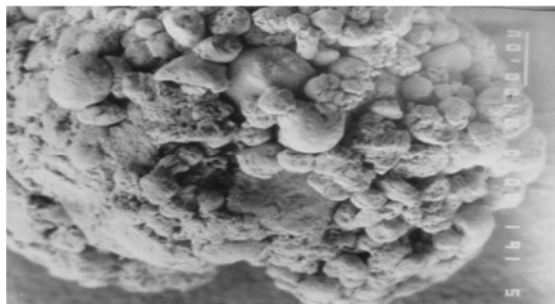




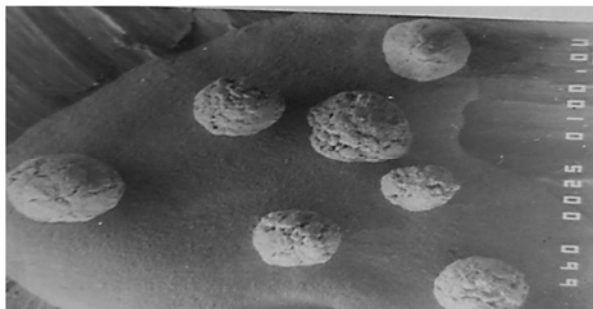
М-ние Бестобе. разм. 0,022 мм. Au–94,64%Ag–5,38%



М-ние Акбакай. разм. 0,165 мм. Au–96,93%, Ag–3,03%

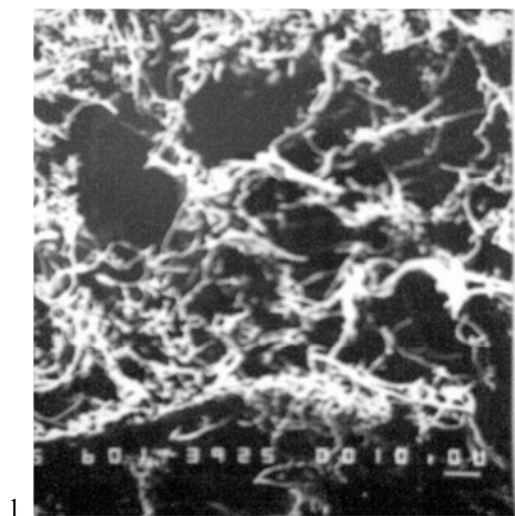


М-ние Олимпийское. разм. 0,86 мм. Au–98,82 % Ag–1,18%

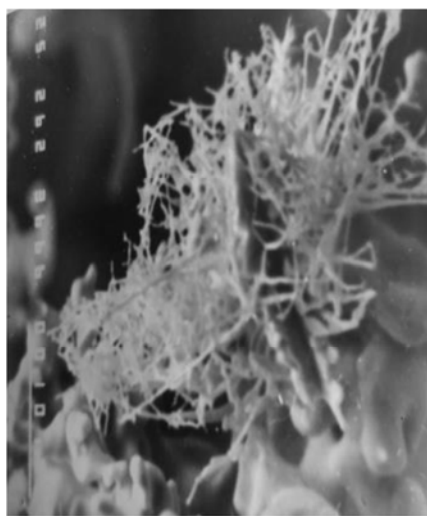


Месторождение Олимпийское. разм. от 0,19 до 0,345 мм

Рис. 11. Сферические формы металлизированных золотых (с серебром) «собранных» кластеров.



1



2

Рис. 12. Скопление нанотрубок (1) и игольчатых нанокристаллов (2) 100 % серебра на поверхности кюанита в рудах месторождения Архарлы (1) и Ньявленга (2).

платины до гравитационно извлекаемых размеров, аналогичных тем, что были получены по золоту В. Н. Матвиенко. В связи с этим, выявленный ранее «Эффект Матвиенко» подтвержден Ю. Д. Калашниковым для платиноидов и в научной литературе его следует называть «Эффектом Матвиенко-Калашникова».

В последующие годы по рудам месторождения Жаркулак были получены еще более «необъяснимые» явления с позиций классических технологий. Суть их в следующем. При двойной сухой дезинтеграции богатых кварцевых руд Жаркулака весом 250 кг, содержащих 31,5 г/т (среднее по 5 пробам) золота с помощью усовершенствованного В. Н. Матвиенко концентрата КСКиН после приготовления пульпы при со-

отношении Т:Ж=1:0,9 был получен концентрат весом 3,560 кг с содержанием золота 1548,5 г/т при извлечении его 87,5 %. В «хвосте» после переработки руды методом «прямого купелирования» было определено 17,3 г/т золота (среднее по 5 пробам), т.е. 54,9 % золота по сравнению с первоначальным содержанием. Похожие результаты были получены нами и при переработке нескольких рядовых партий руды из Жаркулакского месторождения.

При этом проверка данных анализов другими авторскими методами давала соизмеримые результаты.

Не менее удивительное «явление» было зафиксировано через 15 дней при анализе тех же «хвостов» теми же методами. В них содержание золота не пре-

вышло 1,5–2,0 г/т. В целом из руд месторождения Жаркулак максимальное суммарное извлечение золота в концентраты при отработке режимов оптимальной работы концентраторов нередко составляло 140–160 % по сравнению с данными пробирного анализа первичной руды. При этом максимальное извлечение золота из руд месторождения по данным авторских методов анализа не превышало 85–90%.

Аналогичные результаты были получены для хвостов из месторождений Балей и Нежданинское. При анализе исходных «свежеполученных» хвостов были получены одни результаты, а по прошествии 7–10 дней в них же было определено в 3–5 раз меньше золота, чем сразу после переработки руды.

И, наконец, следует остановиться на результатах «металлизации» природных кластеров из руд Жаркулакского и Архарлинского эпитермальных месторождений, полученных нами в 2003–2008 гг. Подготовка пульпы из дважды дезинтегрированной золотосульфидно-кварцевой руды просеянной через сито с ячейкой 0,25 мм весом 170 кг производилась с помощью грязевого насоса при соотношении Т:Ж=1:0.9 и перемешивании пульпы в течение 30 мин. В концентратах из этих руд были обнаружены золотые, серебряные, золотосеребряные, свинцовые, медные, цинковые, железные шарики и бляшки размером более 0,25 мм (редко до 1,5–2,5 мм) явно сформировавшиеся из кластерных форм. Их химический состав приведен в табл. 2. Металлизация и укрупнение кластеров благородных металлов с образованием сферических и иных форм происходит также и при сплавлении со щелочью некоторых типов руд кварцево-жильных месторождений Акбакай, Бестобе, Зармиан, Кубака и др.

Металлизация кластеров характерна не только золоту, но и свинцу, меди, серебру. Металлизованные кластеры представляют собой слабо окатанные, а также уплощенные и вытянутые частицы металла от десятых долей до первых миллиметров по размерности (рис. 13).

Микронзондовым анализом (аналитик В. Л. Левин) в золоте были обнаружены только незначительные количества серебра и в одном образце - железа, в серебряных шариках – кроме золота, в меди – доли % Fe, Cl, Pb и много Zn, а в свинце доли % железа и кремния.

На самом деле имеются различные соотношения в металлизированных кластерах золота и серебра при преобладании последнего. Однако во всех проанализированных золотых шариках кроме серебра другие примеси составляют доли % и, наоборот, в серебряных шариках отмечено только золото. Что касается меди, то лишь в одном образце были определены высокие содержания цинка. Это может свидетельствовать о том, что при металлизации кластеров меди и цинка образовался интерметаллид этих элементов (имеющих большое сродство), не имеющий аналогов в природе. В новообразованиях свинца из кластеров фиксируются в основном доли % железа и кремния.

Таким образом, выявленный эффект – укрупнения кластеров до гравитационно-извлекаемых размеров не экзотическое явление. Он характерен не только для благородных металлов, но для цинка, свинца, меди и даже углерода и других элементов, имеющих природное самородное состояние. Главное - создать оптимальные условия для укрупнения и концентрации самородных элементов в кластерной форме, при которых образуются кристаллы.

Таблица 2

Состав металлизированных кластеров

2.1. Состав золотых шариков										
№№ проб	Fe	Ni	Cu	Rh	Ag	Te	Au	Hg	Pb	Σ %
12-3а	-	-	-	-	0,53	-	99,47	-	-	100
12-k-o-k	0,19	-	-	-	0,37	-	99,44	-	-	100
13-k	-	-	-	-	0,67	-	99,33	-	-	100
14-2	-	-	-	-	0,52	-	99,48	-	-	100
A-5	-	-	-	-	0,16	-	99,84	-	-	100
14-k-o-k-3-	-	-	-	-	-	-	100,0	-	-	100
2.2. Состав серебряных (с золотом) шариков										
14-k-o-k-3	-	-	-	-	92,69	-	7,31	-	--	100
12-k-o-k-4	-	-	-	-	94,52	-	5,48	-	-	100
13-2	-	-	-	-	92,29	-	7,71	-	--	100
2.3. Состав медных «бляшек»										
M-1	-	-	97,94	0,20	-	-	-	-	1,86	100
M-2	0,11	31,59	68,30	-	-	-	-	-	-	100
M-3	0,12	-	99,88	-	-	-	-	-	-	100
M-4	-	-	100,0	-	-	-	-	-	-	100
2.4. Состав свинцовых «бляшек»										
S-1	0,43	-	-	99,57	-	-	-	-	-	100
S-2	0,35	0,71	-	98,94	-	-	-	-	-	100
S-3	0,37	-	-	99,63	-	-	-	-	-	100
S-4	0,24	1,28	-	98,48	-	-	-	-	-	100

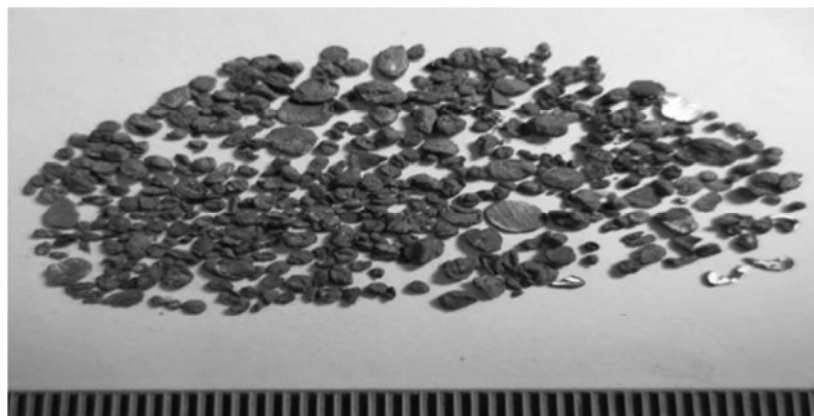


Рис. 13. Металлизованные кластеры золота, свинца и меди (внизу масштабная линейка, 0,1 мм).

Нами и ранее из самых сложных и упорных руд различных месторождений после их обработки на гидроэлектроизмельчителе и дезинтеграторе постоянно получались концентраты, которые содержали на 30–40 % больше благородных металлов, по сравнению с их количеством в исходной пробе, определенным пробирным и атомно-абсорбционным анализам. Кроме того, в «хвостах» оставалось от 25 до 35 % благородных металлов, относительно данных в исходной пробе. Например, из руд месторождения Жаркулак после их двойной сухой обработки на дезинтеграторе, в концентраты суммарно извлекалось не менее 72,59–79,23 % золота. В то же время в «хвостах» этих же проб авторскими анализами определялось от 57,7 до 61,88 % золота по сравнению с исходными пробами (пробирные анализы выполнены в ТОО ПИЦ «Геоаналитика», г. Алма-Аты). При этом всегда отмечалось золочение с примесью меди внутренней поверхности концентраторов. Следует отметить, что в технологических экспериментах использовались пробы руд весом 100–150 кг каждая.

#### Обсуждение результатов исследования

Выяснение природы отмеченного явления с помощью электронно-микроскопических исследований позволило установить в рудах золотосульфидных и особенно эпитермальных месторождений большое количество различных по форме и размерам преимущественно сферических образований, состоящих из металлоорганических соединений, содержащих определяемые количества благородных металлов. Указанные образования (размером первые десятки ангстрем), как правило, покрыты зональными оболочками, четко фиксируемыми на электронно-микроскопических снимках.

Наряду с многочисленными единичными формами, указанные образования встречаются в виде групп и цепочек (рис. 14), и значительно реже – в виде агрегатов, состоящих из групп облачных сферических стяжений, объединенных единой «оболочкой» (рис. 15).

Обширный электронно-микроскопический фактический материал (более 700 наблюдений, зафиксированных на фотографиях) позволил нам сделать вывод

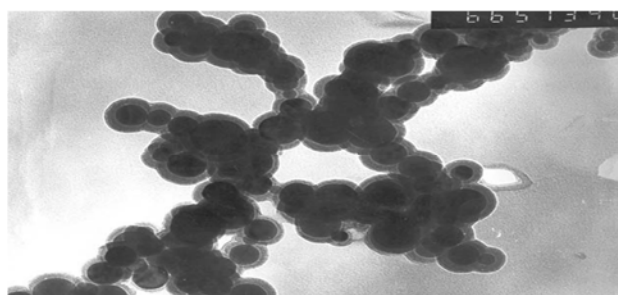


Рис. 14. Сферические образования (сферулы) - протокластеры начальных форм природных драгметаллов. Месторождение Бакырчик. Увеличение 66500 раз.

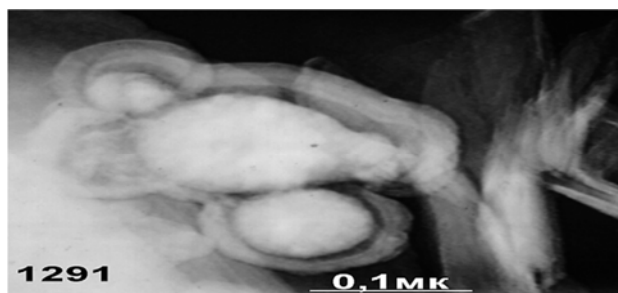


Рис. 15. Сообщества группы кластеров в единой зональной оболочке. Месторождение Бакырчик.

о том, что указанные сферические образования, имеющие внешние зональные «оболочки», представляют собой природные кластерные формы (металлоорганические кластеры первого порядка) участвующих в рудном процессе металлов.

По крайней мере, это относится к наиболее вероятному исходному источнику, формам фиксации и транспортировки благородных металлов (золото, серебро, металлы платиновой группы) на золоторудных месторождениях в черных сланцах (Бакырчик и др.) и близповерхностных месторождениях типа Балеи и Архарлы. В рудах штокверковых месторождений (Жаркулак и др.) кроме указанных металлов в кластерной металло-органической форме (кластерах первого порядка) фиксируются также медь и свинец.

Анализ полученного фактического материала по строению кластеров в рудах месторождений Бакыр-

чик и Архарлы позволил среди их значительного многообразия выделить следующие основные формы: 1—единичные кластеры сферической, эллиптической и слабо вытянутой форм с четко выраженной зональной оболочкой (размером первые десятки ангстрем; 2—группы кластеров, объединенных единой оболочкой с четко выраженными сферическими формами, составляющих из единичных кластеров (размером десятки первые сотни ангстрем) и 3 — сообщества групп кластеров, представляющих собой «облачные» стяжения, размером от сотен до первых тысяч ангстрем. Последние две группы всегда покрыты единой «оболочкой» зонального строения (рис. 15, 16).

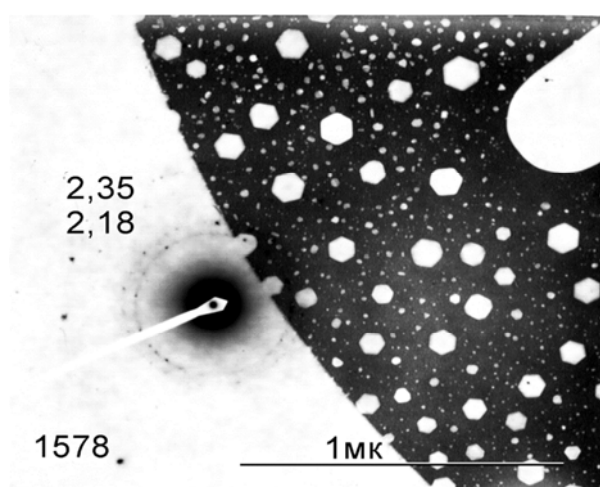


Рис. 16. Продукты распада облачных стяжений групп кластеров под воздействием электронного пучка (сферические мелкие частицы — золото; более крупные гексагональные — графит).

После специального механического воздействия на руды и металлизации кластеров было выяснено, что в кластерной металлоорганической форме (кластерах первого порядка) в рудах ряда месторождений (Балей, Нежданское, Архарлы, Бакырчик, Жаркулак и др.) обнаруживаются также платиноиды (платина, палладий и родий), свинец и медь.

Под воздействием сфокусированного электронного пучка указанные облачные образования «взрываются», распадаясь на мельчайшие сферические частицы, диагностируемые под электронным микроскопом как золото, и пластинчатые кристаллиты гексагонального габитуса, диагностируемые как графит (рис. 15).

Электронно-микроскопическими исследованиями в группах кластеров и сообществах групп кластеров достоверно показали наличие наряду с углеродистым веществом, серебра и золота (аналитики Ф. Курмакаева и Т. Шабанова).

#### Эволюция форм благородных металлов в рудном процессе

Предполагаемая модель металлизированных природных кластеров благородных (и возможно некоторых цветных) металлов, встречающихся в природе в самородном состоянии — свинец, медь и др. объясняет их

чрезвычайную устойчивость не только к природным, но и искусственным воздействиям. Оно также объясняет, почему современные аналитические методы (пробирный и атомно-абсорбционный) не могут определить истинного количества фиксируемых ими благородных металлов. Не разлагаясь под воздействием кислот при низкой температуре, кластеры отличаются высокой «летучестью» под воздействием высоких температур.

Экспериментально нами было установлено, что искусственные кластерные формы Ag начинают сублимировать при температуре 70°C (1,71 % от их массы). Извлеченные из руд Архарлинского месторождения после их обработки на электрогидроизмельчителе и последующей дезинтеграции кластерные формы благородных металлов (преимущественно серебра) позволили с помощью микрозонда Суперпроб-733 (аналитик В. Л. Левин) проследить их эволюцию с образованием самородного серебра под воздействием кислорода воздуха с фиксацией этих процессов на фотографиях.

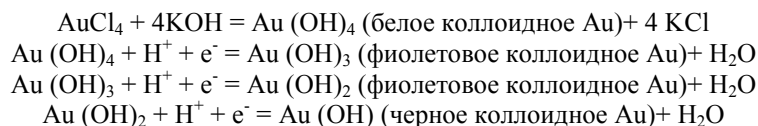
Металлизация кластеров происходит, видимо, при интенсивном окислении их внутренней органической составляющей после механического (или термохимического) разрушения внешних устойчивых оболочек. В начале металлизации образуются игольчатые дендритовые кристаллы, из которых затем формируются каплевидные и сферические стяжения самородного серебра. Из последних на заключительной стадии окисления первичных кластеров вначале образуются скелетные и каркасные, а затем массивные кристаллы самородного серебра. При этом указанная металлизация кластеров происходит при температуре 25°C и давлении 1 атм. Аналогичным образом ведут себя кластеры, фиксирующие золото и металлы платиновой группы.

Нахождение благородных металлов в виде кластеров позволяет объяснить не только вероятный источник основного количества золота, серебра, палладия, платины и др. в рудах месторождений, но и различие в пробыности золота в эндогенных рудах, а также возможное присутствие в рудах многих золоторудных месторождений серебра, платиновых и других металлов.

На начальных стадиях диагенеза и литификации осадков разрушение кластерных форм благородных металлов приводит к образованию их разнообразных метастабильных подвижных форм: хлоридов, сульфатов, тиосульфатов и др. Наиболее важное значение среди них имеют хлориды золота, особенно четырехвалентного. Более устойчивые формы золота на начальных этапах рудного процесса, скорее всего, представлены гидроксидами золота типа  $Au_n(OH)_m$  где  $n=1, a m=$ от 1 до 4. Важную роль в транспортировке золота в рудных растворах могут играть  $H_2S$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  и др. газы, постоянно присутствующие в газожидких включениях в кварце, карбонатах и сульфидах. При этом, наряду с хлоридами двух и четырехвалентного золота типа  $[AuCl_2]^-$ ,  $[AuCl_4]^-$  оно может

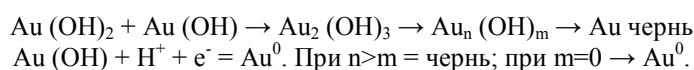
длительное время находиться в миграционноспособном состоянии в рудных растворах в виде комплексов  $Au(HS^-)$ ,  $[Au(HS)_2]^-$  или комплекса  $[Au(HS)_2S]^{2-}$  при наличии ионов свинца в присутствии теллура. По мере нарастания температур в природных объектах сна-

чала образуется белое кластерное золото  $[Au(OH)_4]$ , которое затем переходит в фиолетовое  $(Au(OH)_3-Au(OH)_2)$ , далее – в черное  $(Au(OH)_2)$ , коричневое  $Au(OH)$  и, наконец, в металлическое  $Au^0$ .



Образующееся коллоидное золото транспортируется в зоны рудоотложения гелем кремнекислоты, где за счет перекристаллизации последнего постепенно металлизуется, образуя вначале монометалльные и металл-металлические кластеры. Последние

под воздействием термодинамических условий рудоотложения в благоприятной физико-химической обстановке группируются в тонкодисперсные и супермикроскопические образования самородной фазы, описанные выше, по схеме:



В этой схеме авторы в обобщенной форме отразили свое представление о золоторудном процессе от накопления рудного вещества из зон размыва в зоны седиментации в виде ионных, кластерных и металлоорганических соединений в условиях ранней мезозоны через многочисленные метастабильные соединения благородных металлов в виде хлоридов, тиосульфатов и сульфатов благородных металлов в условиях переходных термодинамических параметров эпи- и мезозоны в более стабильные формы в виде теллуридов, селенидов и пр. Здесь же в локальных участках рудных тел начинают образовываться самородные формы благородных металлов при явном их подчинении в количественном отношении метастабильным формам.

### Заключение

Обобщая все изложенное, можно утверждать, что найдены управляемые способы разрушения оболочек первичных металлоорганических кластеров. Выяснена возможность их трансформации в моно-, би-, три- и т.д. металльные, кластеры (кластеры первого, второго, третьего и более высоких порядков). И самое важное, удалось механическим и химическим путем укрупнять металлические кластеры независимо от их состава (табл. 2) до размеров, позволяющих не только определять количество зафиксированных в них благородных металлов, но и извлекать (пока частично) их на разработанных и апробированных авторами в промышленных масштабах концентраторах с применением оригинальных способов рудоподготовки.

В связи с изложенным выше авторы считают, что для разработки эффективных технологий извлечения кластерных, супермелких, тонкодисперсных форм благородных металлов, превышающих в несколько раз их количество в общем балансе Au, Ag, Pt, Pd в рудах по сравнению с видимой самородной фазой (*и это уже установленный факт!!!*) недостаточно создания высокоэффективных аналитических методов. Необходимо с помощью методов электронной микроскопии, микронзондирования и пр. начать масштабное

системное изучение не только благородных металлов в указанных формах, но и углеродистого вещества и кремнезема во всех их природных формах и разнообразии в рудах и рудовмещающих породах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулин, А. А. Наноминералогия золота золоторудных месторождений основных промышленных типов / А. А. Абдулин, В. Н. Матвиенко, В. А. Нарсеев // Отечественная геология. – 2000. – № 3. – С. 20–40.
2. Матвиенко, В. Н. Кластеры – протоформа нахождения драгметаллов в рудах и минерализованных породах / В. Н. Матвиенко, Ю. Д. Калашников, В. А. Нарсеев // Руды и металлы. – 2004. – № 5. – С. 28–36.
3. Матвиенко, В. Н. Типоморфизм самородного золота, особенности углеродистого вещества и кремнезема как индикаторы процессов образования золоторудных месторождений / В. Н. Матвиенко // Геология Казахстана. – 1994. – № 6. – С. 14–37.
4. Матвиенко, В. Н. Морфология и условия образования самородного золота на золоторудных месторождениях Северного Казахстана, / В. Н. Матвиенко, В. Л. Левин // Изв. АН КазССР. – 1988. – Сер. Геол. – № 4. – С. 38–46.
5. Матвиенко, В. Н. Роль бонанцевых рудных столбов в балансе рудного вещества. / В. Н. Матвиенко, Т. М. Жаутиков // В сб.: Критерии поисков и оценки золоторудных месторождений Казахстана. Алматы. 1988. – С. 49–58
6. Фазовое состояние углеродистого вещества металлоносных сланцев Дальнего Востока России / И. В. Бердников [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2014. – т. 33. – № 4. – С. 42–49.
7. Черепанов, А. А. Влияние различных методов пробоподготовки на результаты анализа содержания благородных металлов в углеродистых породах Буреинского массива (Дальний Восток России) / А. А. Черепанов, Н. В. Бердников, В. В. Гайдашев // Тихоокеанская геология. – 2015. – т. 34. – № 4. – С. 79–85.
8. Ханчук, А. И. Природа графитизации благороднометалльной минерализации в метаморфитах северной части Ханкайского террейна. Приморье / А. И. Ханчук [и др.] // Геология руд. месторождений. – 2013. – т. 55. – № 4. – С. 261–281.
9. Бердников, Н. В. Платина в углеродистых сланцах: морфология, состав и вопросы генезиса / Н. В. Бердников, М. А. Пугачевский, В. С. Комарова // Руды и металлы. – 2014. – № 6. – С. 18–25.



10. Бердников, Н. В. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА / Н. В. Бердников, Н. С. Коновалова, В. Е. Зазулина // Тихоокеанская геология. – 2010. – т. 29. – № 2. – С 90–96.
11. Черепанов, А. А. Благородные металлы в углеродистых породах восточной части Буреинского массива: новые данные / А. А. Черепанов, Н. В. Бердников // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии. VIII Косыгинские чтения. Мат-лы Всероссийской конференции. 17-20 сентября, Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН. Владивосток, – 2013. – С. 339–342.
12. Матвиенко, В. Н. Способ определения содержания ценного компонента в природных объектах. / В. Н. Матвиенко, А. А. Абдулин, В. Л. Левин // А/с СССР №1471576 на изобретение от 27.08.87 г.
13. Бакырчик (геология, геохимия, оруденение). / В. А. Нарсеев [и др.] // М. 2001. – 174 с.
14. Особенности формирования единой золоторудной колонны с позиций тектонофациального анализа / А. А. Абдулин [и др.] // Тектонофациальный анализ и его роль в геологии, геофизике и металлогении. Алматы, 1991. – С. 152–158.
15. Матвиенко, В. Н. Интегральная геодинамическая модель формирования золотого оруденения. / В. Н. Матвиенко, Т. М. Жаутиков, Г. Т. Жаутикова // Сб. Геодинамика и минерагения Казахстана. Алматы: РИО ВАК РК, ч.2, 2000. – с. 25–45.
16. Матвиенко, В. Н. Металлогения золота Казахстана. / В. Н. Матвиенко, Т. М. Жаутиков // Сб. Минерагения и перспективы развития минерально-сырьевой базы. Алматы, «Гылым». Часть 2. 1999. – с.33–50.
17. Тектонофашии и геология рудных объектов. / Е. И. Патаха [и др.] Алма-Ата. Наука. 1989. – 208 с.
18. Матвиенко, В. Н. Геолого-генетическая модель формирования золотосульфидной и золотосульфидно-кварцевой формаций / В. Н. Матвиенко, Т. М. Жаутиков // Деп. КазНИИТИ. №5816, Алматы, 1989. – с. 35–42.

*Институт геологии Национальной академии наук Республики Казахстан, г. Алма-Аты*

*Матвиенко Валерий Николаевич - доктор геологических наук, лауреат Государственной премии Республики Казахстан*

*E-mail: valeratomy36@mail.ru Тел.: +7(705)412 34 61*

*Левин Владимир Леонидович, доктор геологических наук*

*E-mail: levin\_v@inbox.ru*

*Тел.: +7(701)317 06 07*

*Воронежский государственный университет*

*Ненахов Виктор Миронович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой общей геологии и геодинамики*

*E-mail: nenakhov@geol.vsu.ru*

*Тел.: +7 (473) 220-89-89*

*ООО «РЗК Инжиниринг», г. Москва*

*Калашников Юрий Дмитриевич, генеральный директор*

*E-mail: ykalash@mail.ru*

*Тел.: 8 985 784 87 51*

*Institute of Geologic Science National Academy of Science of The Republic of Kazakhstan, Alma-Aty*

*Matvienko V. N., Doctor of Geology, a laureate of the State prize of the Republic of Kazakhstan*

*E-mail: valeratomy36@mail.ru*

*Tel.: +7(705)412 34 61*

*Levin V. L., Doctor of Geology*

*E-mail: levin\_v@inbox.ru*

*Tel.: +7(701)317 06 07*

*Voronezh State University*

*Nenakhov V. M., Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the General Geology and Geodynamics Department*

*E-mail: nenakhov@geol.vsu.ru;*

*Tel.: +7 (473) 220-89-89*

*«RZK Engineering ltd», Moscow*

*Kalashnikov Yu. D., General Director*

*E-mail: ykalash@mail.ru*

*Tel.: 8 985 784 87 51*