

О ГЕКСАГОНАЛЬНОМ ЗОЛОТЕ

I.

Осенью 1935 г. мне было доставлено бывшим аспирантом М. А. Жеромским несколько очень небольших по размерам кристалликов золота, которые были обнаружены инж. В. И. Гордеевым при исследовании им одного из иловых отстойников Беркульского завода, откуда циановые растворы черпались с помощью улитки для дальнейшего их распределения по цинковым осадителям.

При рассмотрении под микроскопом найденные кристаллы золота В. И. Гордееву и М. А. Жеромскому показались необычными и скорее напоминали кристаллы гексагонального вида. Этот необычный для золота кристаллический облик побудил В. И. Гордеева передать полученный им материал мне — для соответствующего исследования.

Опубликование нижесообщаемых сведений и вытекающих из изучения данных кристаллов золота следствий несколько задержалось в виду ожидания дополнительного материала, получение которого по непредвиденным обстоятельствам задержалось¹.

II

Полученный через М. А. Жеромского материал был представлен небольшим числом кристалликов золота, размеры которых, как можно судить на основании измерений, не превышают: в длину 0,22 мм, в поперечнике — 0,060 мм (табл. 1).

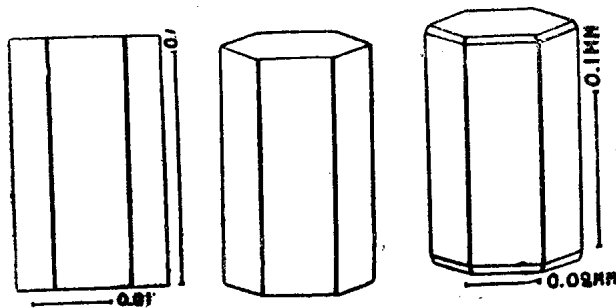
Таблица 1

Отдельные измерения величины кристаллов

№№ по порядку	Длина (в мм)	Ширина (в мм)
1	0,165	0,044
2	0,099	0,022
3	0,110	0,060
4	0,220	0,055
5	0,121	0,044

¹ Материал данной статьи доложен 27 марта 1937 г. на заседании Томского отд. Менделеевского химического общества.

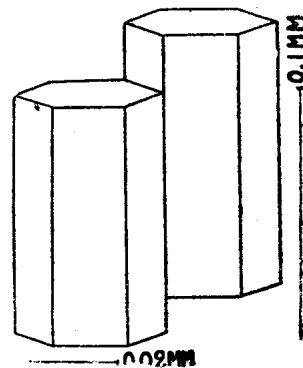
Кристаллики золота были представлены как одиночными кристаллами, так и их сростками, имеющими характер двойников. Из кристаллических форм на кристаллах развиты преимущественно грани гексагональной призмы ($10\bar{1}0$) и пинакоида ($00\bar{1}0$). Кроме того, имеются несовершенно развитые грани, которые представлены гранями гексагональной бипирамиды, вероятно близкой к ($10\bar{1}1$).



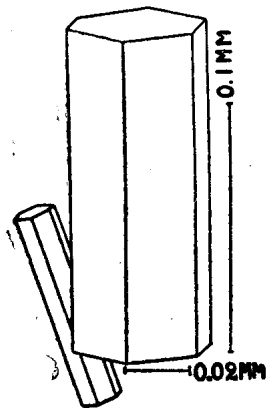
Фиг. 1. Кристаллы золота

1. Отдельный кристалл золота, на котором развиты грани призмы и пинакоида; ребро между гранями призмы и пинакоида притуплено гранью бипирамиды, несколько матовой и не дающей рефлекса (фиг. 1).

2. Два сростка золота представляют два параллельно сросшихся гранями призмы кристалла. В одном сростке кристаллы золота несут только грани призмы и пинакоида. На другом сростке на кристаллах, кроме обычных граней призмы и пинакоида, развиваются узкие грани бипирамиды, лежащие в одном поясе призмы и пинакоида (фиг. 2).



Фиг. 2. Параллельное срастание двух кристаллов золота

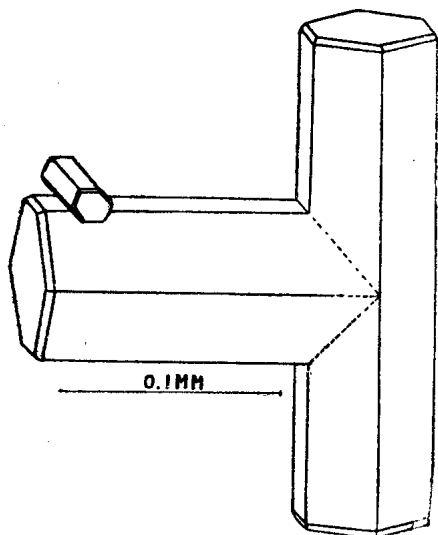


Фиг. 3. Кристалл золота с приросшим другим кристалликом меньшего размера

3. Следующий кристалл золота представляет сросток относительно крупного кристалла ясно гексагонального облика, несущего, как правило, грани призмы и пинакоида, ребро между которыми притупляется узкой полоской грани бипирамидальной формы. К только-что описанному кристаллу прирастает параллельно плоскости пирамиды небольшой призматический кристаллик золота (фиг. 3).

4. На другом образце имеем сросток золота из трех кристаллов, при чем к призматическому кристаллу, относительно большому по размерам, под прямым углом прирастает другой кристаллик золота, несколько меньший по величине, к которому так же в перпендикулярном направлении к главной кристаллографической оси прирастает небольшой кристаллик также ясно гексагонально-призматического характера (фиг. 4).

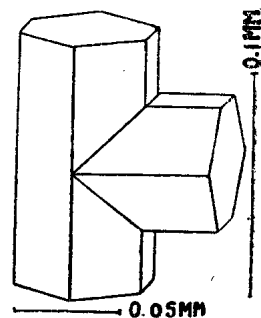
На границе срастания двух относительно больших по размерам кристаллов развивается с первого взгляда губчатая масса золота, которая затушевывает часть шва между срастающимися кристаллами и часть граней призмы, расположенных поблизости к этому шву.



Фиг. 4. Двойниковое срастание кристаллов золота

Губчатая масса при более сильном увеличении оказывалась сложенной субмикроскопическими кристалликами золота также гексагонального облика.

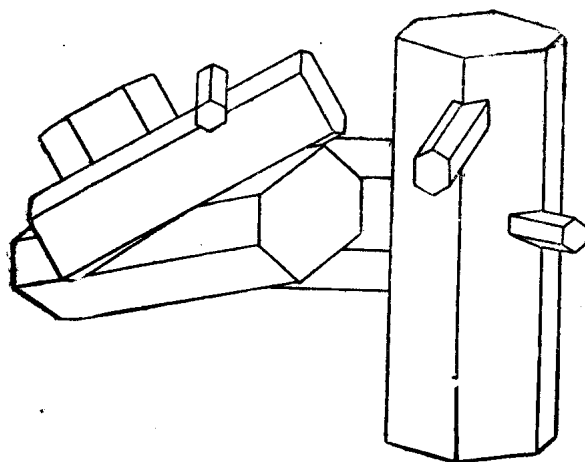
На относительно крупных кристаллах развиты узкие полоски бипирамиды.



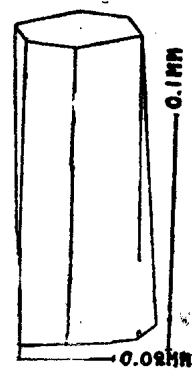
Фиг. 5. Двойник золота

5. На одном из сростков мы имеем также два одинаково развитых кристалла явно призматического характера. Оба кристалла срастаются по плоскости, параллельной грани нормальной бипирамиды (фиг. 5).

6. Наконец, один образец представляет сложное образование золота, состоящее из нескольких кристаллов, примерно одинаковой величины, а к одному из них перпендикулярно к ребрам призмы прирастает несколько мелких призматических кристалликов золота; участок граней призмы между основаниями мелких кристалликов носит несколько губчатый характер (фиг. 6).



Фиг. 6. Сложная группа кристаллов золота



Фиг. 7. Кристалл золота, скрученный по вертикальной оси

7. Случай деформации кристаллов золота во время роста вы-

ражаются в некотором их искривлении по оси и на гранях параллельно ребру призмы и пинакоида появляется штриховка.

8. На одном кристалле золота, несущего лишь грани призмы и пинакоида, заметно некоторое скручивание вокруг вертикальной оси кристалла (фиг. 7).

Таким образом, для всех кристаллов золота, присланных В. И. Гордеевым, характерным является призматический их характер и сочетание призмы и пинакоида, сопровождаемых узкими гранями бипирамиды. Все это вместе взятое резко отличает данные кристаллы от кристаллов кубической системы.

III.

Цвет гексагонального золота красноватый с некоторым желтоватым оттенком. Особенно резко эта окраска выступает, если кристаллики гексагонального золота оказываются по соседству с золотом обычного золотисто-желтого цвета.

IV.

Вопрос о нахождении и получении кристаллов золота гексагонального характера в литературе ставился многократно. Однако за неимением убедительных материалов кристаллы золота и до сих пор рассматриваются исключительно как принадлежащие к кубической системе, к которой их впервые отнесли Haüy и Rome de l'Isle (1, 296)¹. Исследования G. Rose кристаллов самородного золота в части принадлежности их к правильной системе (3; 4; 30, 198) подтвердили выводы Haüy и Rome de l'Isle (3, 4). Позже в крупных сводных работах и работах справочного характера P. Groth (5, 6), C. Hintze (1, 236), E. S. Dana (7, 14, 15; 38, 16), В. И. Вернадский (2, 269; 7, 263), Н. Leitmeier (9, 187), А. К. Болдырева (10, 86, 96), P. Niggli (11, 131) и Н. Schneiderhöhn (37, 63) и в отдельных работах, напр. G. Rath (12), Helmhacker (13), П. М. Еремеев (14) и другие рассматривают золото как кубическое, а уклонение его кристаллов от правильных форм трактуется как искажение благодаря удлинению или укорочению кристаллов вследствие их роста вдоль тригональной оси симметрии. Подобное толкование без критического подхода — подчас очень категорическое (16, 292) — может быть не было особенно полезным для того, чтоб беспристрастно разобраться в некоторых противоречиях, которые имелись в то время уже и в отношении кристаллических форм золота.

Повидимому, первые сведения о гексагональном золоте принадлежат Zenger, который в 1861 г. на основании микроскопических измерений признал изучаемые им кристаллы золота за гексагональные, а кубовидные формы рассматривал как ромбоэдр с углом между гранями в $88^{\circ} 4'48''$ (1, 239, сноска). Однако в

¹ Цифры в скобках, набранные жирным шрифтом, указывают на порядковый номер литературного источника, обычным шрифтом — на страницы ссылок.

1862 г. Kenngoth, как говорит С. Hintze, сумел опровергнуть утверждения Zenger и показать неправильность его доводов (1,239, сноски). К сожалению, С. Hintze не считал нужным критически рассмотреть доводы и возражения только-что упомянутых исследователей.

В 1878 г. А. Н. Chester, работая над золотом, на несовершенных его кристаллах наблюдал формы гексагональной призмы (5,6) и грани пирамиды (15,313), полярный угол которых был равен 46° .

Позже, в 1885 г. W. P. Blake на октаэдрических кристаллах золота из Кланкри в Монтане нашел очень мелкие и недоступные для измерения призматические кристаллы золота, которые обладали гексагональным характером и завершались остропирамидальными формами. Тот же автор описал также мелкие кристаллики золота из Сонора в Калифорнии, которые несли грани гексагональной призмы, грани пирамиды и базопинакоида. Двугранный угол $\infty P : P = 50^\circ$. Между прочим данные кристаллы рассматривались как аналогичные кристаллы золота А. Н. Chester (15, 313). Это сходство E. S. Dana считает невероятным, так как кристаллы А. Н. Chester были получены из амальгамы золота путем обработки ее азотной кислотой, как и кристаллы из Сонора, полученные также искусственно (15,313).

В 1893 г. сведения о золоте с гексагональным обликом появляются в нескольких статьях (16, 17, 18, 19).

А. Liversidge в течение ряда лет, занимаясь изучением золота в кварцевых и кальцитовых жилах и образованием его в россыпях и металлургией золота, приходит к выводу, что оно в окристаллизованном состоянии встречается исключительно редко (16, 291). По его данным, обычно в коренных месторождениях золото находится в форме неправильных чешуек, зерен, в волосовидных и проволочных образованиях. В более или менее ясно окристаллизованных формах, согласно его наблюдениям, золото можно встретить лишь в относительно мягких породах — кальцитовых, глинах, серпентинах и других. А. Liversidge предполагал, что оно, будучи в растворе в метеорных водах, осаждается вокруг самородков золота, обязанных своим происхождением коренным месторождениям. Наблюдаемое данным исследователем окристаллизованное золото близко по своим формам отвечало шестигранным призмам и встречалось в форме таблиц и звездочек и не было встречено им в ясно распознаваемых кристаллах правильной системы (16, 291).

Опытные исследования над выпадением золота из растворов позволили А. Liversidge получить его в осадке в виде шестигранных призм, таблиц и звездочек, которые осаждались между прочим на помещаемых в раствор зернах золота. Наблюдения над естественными формами кристаллов золота и формами, получаемыми при осаждении из золотых растворов, дали возможность исследователю утверждать, что золото может кристаллизоваться в формах гексагональной системы (16, 291).

Miers, реферируя данные А. Liversidge и никоим образом не вдаваясь в критику возможности и невозможности существования гексагональных форм золота, категорически возражает против выводов этого исследователя и говорит, что каждая форма золота может выглядеть как правильная, но каждая из них может развиваться по оси симметрии третьего рода и тем самым уклоняться от правильных форм (16,292). Далее, он считает, что гексагональные таблички и призмы золота представляют лишь укороченные или удлиненные по тройной оси кристаллы кубической системы (16,292). С данным Miers отпором А. Liversidge был согласен и Р. Groth, который считает, что гексагональные формы золота можно толковать только как правильные, развившиеся по тригональной оси (5, 6).

Как было отмечено выше, в том же 1893 г. о гексагональном облике кристаллов золота были опубликованы статьи Ф. В. Вильма и Е. С. Федорова. Ф. В. Вильм, многократно обрабатывая амальгаму золота азотной кислотой, получал красноватые и желто-буроватые шарики, которые при нажиме стеклянной палочкой легко распадались в зернистый порошок. Та же картина получалась, если золото растворялось в натровой амальгаме, а затем обрабатывалось азотной кислотой. Получаемые в этом последнем случае кристаллы золота были относительно крупнее по размерам и были представлены блестящими иглами и призмами до 2—3 мм длины, группирующимися, прорастая друг друга, в звездчатые образования. Призматические формы кристаллов золота завершаются косыми гранями (17;18, 326).

Ф. В. Вильм полагает, что полученные им из амальгамы кристаллики золота содержат ртуть, которая с золотом образует твердый раствор (17,258). Вероятно, это не совсем так. Следует думать, что кристаллы золота образуются на амальгаме, не успевшей разложиться под действием азотной кислоты и по этой причине захваченной кристаллами золота во время их дальнейшего роста. Подобные случаи захвата ртути золотом имели место и в опытах А. Н. Chester при получении им золота в кристаллах.

Полученные Ф. В. Вильмом кристаллики золота были исследованы Е. С. Федоровым. В распоряжении последнего находились призматические кристаллики с блестящими гранями; толщина кристалликов не превосходила 0,025 мм. Они изучались на универсальном гониометре. Измерения пояса призмы дали углы, близкие к 60° (19,456, 457). Конечные грани кристаллов не лежат в одном поясе с гранями призмы и занимают положение, соответствующее положению граней ромбического додекаэдра (19, 457). Однако автор оговаривается, что недостаточные по размерам конечные грани и неудовлетворительные рефлексии на них не позволили установить их точное кристаллографическое значение (19,457).

Несмотря на неполноту данных, полученных при изучении кристаллов гексагонального облика, Е. С. Федоров считает, что

они ни в какой мере не могут рассматриваться как полиморфная разновидность золота, ибо кристаллы Ф. В. Вильма принадлежат к кубической системе и оказываются лишь вытянутыми по оси третьего порядка (19, 458). Впрочем, Е. С. Федоров в своих выводах о характере кристаллов Ф. В. Вильма опирается на соответствующие выводы в связи с изучением аналогичных форм, описанных G. Rose (3) и G. Rath (11).

Еще в 1887 г. E. S. Dana описал кристаллы золота из Орегона, где оно встречается в форме нежных дендритовидных образований, которые слагаются ясно образованными кристалликами, несущими остроромбоэдрический облик. Здесь также встречены отдельные кристаллы, которые имеют вид шестигранных пирамид, каковые формы на других кристаллах получают лишь подчиненное и очень слабое развитие (20, фиг. 3; 6, 15, фиг. 7, 8). Грани шестигранной пирамиды притупляются тремя тетрагонами. По словам E. S. Dana, положение плоскостей на рассматриваемых кристаллах золота и *немногие*¹ измерения дают основание выявить их кубический характер (20, 276). Производимое же впечатление ромбоэдрической симметрии автор объясняет соразмерным искажением кристаллов в направлении тройной оси (20, 276). Поэтому все присутствующие грани на кристалле в данном случае рассматриваются как грани икоситетраэдра (311). Впрочем, имеющиеся грани на кристаллах с одинаковым успехом, как замечает E. S. Dana, можно рассматривать так же, как грани острого (4041) и тупого (2025) ромбоэдров и гексагональной бипирамиды (2243) (20, 277).

E. S. Dana в только-что отмеченном случае искажения видит один из примеров псевдосимметрии и склонность ряда кристаллов одной симметрии подражать кристаллам другой с сохранением при этом рациональных символов граней (20, 277).

Однако, рассматривая изображения кристаллов золота E. S. Dana, с некоторой натяжкой можно согласиться, что тетрагональные грани, которые выглядят как грани тупого и острого ромбоэдров, являются гранями икоситетраэдра, но тригональные грани тех же кристаллов в таком случае мы должны признать за икоситетраэдрические, получившиеся в результате неизометрического роста кристаллов. Далее, немногие измерения, о которых упоминает E. S. Dana, едва ли могут быть признаны достаточными для подтверждения уклонения данного вида кристаллов от идеальной формы с сохранением в описываемом случае ряда двугранных углов. На этом основании мы в праве присоединиться к мнению А. К. Болдырева, который говорит, что кристаллы золота из Орегона по виду скорее напоминают тригональные комбинации, нежели кубические (9, 96).

А. Bastoix, описывая месторождения золота, имеющиеся на территории владений Франции, отмечает, что в пустотах кварце-

¹ Курсив мой. — К.

вых жил месторождения Андавакаеры на острове Мадагаскар встречаются вытянутые по тройной оси кристаллы золота с гранями (311), которые по своему характеру оказываются идентичными кристаллам золота E. S. Dana из Орегоны (21, 845, фиг. 1 и 2, 846). Подобного характера кристаллы золота, по словам А. Lacroix, встречаются и в других месторождениях того же острова (21, 846).

В 1903 г. Н. Аверкиев опубликовал статью в случае выпадения кристаллического золота из растворов помощью формальдегида. Он указывает, что золото из растворов может быть восстановлено щавелевой и серной кислотами, железным купоросом и формальдегидом. Применяя последний реактив для осаждения, автор получал относительно крупные кристаллы золота, заметные невооруженным глазом. Проверка опыта показала, что золото в кристаллической форме получается только из сильно подкисленных растворов (17, 329, 330). При этом получают пластинчатые кристаллы до 0,8 мм в поперечнике. Кристаллы имеют тригональные и шестигональные очертания, при чем в последнем случае три, вероятно, призматические грани, ограничивающие пластинку золота, — по размерам больше, а другие три таких же грани, лежащие между ними, заметно меньше (22, 334, фиг. 3 и 5). Сам автор в наблюдаемых тонкопластинчатых кристаллах хочет видеть комбинации куба и октаэдра и формы (110), (hkl) (hkk) (22, 334).

В данном случае мы можем лишь констатировать, что кристаллы золота предпочитают развиваться перпендикулярно тройной оси симметрии, и сожалеем, что исследователь в своей статье не дает никаких указаний, уточняющих его соображения о только-что перечисленных формах.

В 1912 г. E. Hatschek и A. L. Simon, работая над выяснением образования золота в кварцеворудных месторождениях, экспериментировали и наблюдали за выпадением золота из растворов в кремнеземистом геле. Золото осаждалось различными осадителями как жидкими, так и газообразными, при чем образование кристаллов этого металла шло то относительно быстро, то очень медленно. В ряде опытов авторами были получены блестящие пластинки и листочки золота шестигранного и трехгранного очертания (23, 266), близко напоминающие пластинчатые кристаллы Н. Аверкиева, т. е. шестигранные пластинки напоминали собой как бы комбинацию двух тригональных призм. Получаемые авторами кристаллы-пластинки были очень тонки и просвечивали зеленоватым цветом.

Если пластинчатые кристаллы Н. Аверкиева росли на дне его кристаллизаторов, то у E. Hatschek и A. L. Simon получались висющими в твердеющем геле, т. е. в данном случае форму полученных пластинчатых кристаллов нельзя так просто объяснить искажением в силу невозможности равномерного роста кристаллов, растущих на дне кристаллизаторов.

Заканчивая краткий обзор литературного материала по золоту, имеющему гексагональный облик, необходимо отметить, что на ряду с кубическим золотом встречается золото в гексагональных формах, которые преимущественно имеют облик то призматический, то пластинчатый. Призматического характера кристаллы несут грани $(10\bar{1}0)$, (0001) и $(10\bar{1}1)$; из них призматические грани всегда получают преимущественное развитие. Базопинакоид, развиваясь, в одних случаях притупляет гранный угол бипирамиды, в других — получает преобладающее значение над гранями бипирамидальной формы, а на некоторых кристаллах В. И. Гордеева развиты лишь грани призмы и пинакоида. Эти соображения, как мы видели выше, вытекают из наблюдений А. Н. Chester и W. P. Blake и моих личных. Кристаллы Ф. В. Вильма также несут грани $(10\bar{1}0)$ и $(0\bar{1}11)$ ромбоэдра и по своему характеру не противоречат, в сущности, другим кристаллам золота гексагонального облика.

Едва ли гексагональному характеру кристаллов противоречат пластинчатые кристаллы Е. Hatschek и А. L. Simon, а также и Н. Аверкиева.

Одной из замечательных особенностей для всех случаев получения гексагонального характера кристаллов золота является подкисленная среда.

Необычные кристаллы золота из Орегона, описанные Е. S. Dana и отмечаемые также А. Lacroix на Мадагаскаре, несут ясно выраженный дитригональный характер, а приписываемая им принадлежность к кубической системе А. К. Болдыреву кажется несколько сомнительной. Он больше склоняется рассматривать их в основном как ромбоэдрическую комбинацию (10, 96).

V.

В установлении для золота кристаллов гексагональной системы лежит решение вопроса о его полиморфизме, против чего в свое время возражал Е. С. Федоров (19, 457).

Н. Leitmeier, говоря о золоте в «Handbuch der Mineralchemie», указывает, что аллотропические формы кристаллического золота достоверно неизвестны (9, 187). По его данным, J. Thomsen на основании термохимических исследований золота приходит к выводу, что рядом с обычными его формами существуют еще две модификации, каждая из которых отличается лишь по термическим особенностям (9, 187). J. Thomsen, останавливаясь на термохимических особенностях своих модификаций, получаемых им в осадках (31, 356, 358, 366), отмечает лишь морфологические особенности осадков, их цвет и блеск, но кристаллохимическому и кристаллографическому исследованиям эти модификации золота им не были подвергнуты.

Н. Louis, основываясь на имеющихся литературных данных у G. Rose (3, 4), J. Thomsen (31) и L. Knaffl¹, принимает для золота по крайней мере два аллотропических состояния (24, 329). Модификация золота **a** обладает желтой окраской и свойственными ей кристаллическими формами кубической системы. Вторая модификация золота **b** — аморфная по Н. Louis в отличие от первой красная, бурая и пурпурово-красная (25, 329). Обе модификации золота выпадают из резко различного характера концентрации растворов и по различному относятся к амальгамации (9, 187; 24, 330). Аморфная модификация золота неустойчива, и, как показал Н. Louis, при нагревании до 600—700° в течение не более полутора часов аморфная разновидность превращается в кристаллическую без сколько-нибудь заметного термического эффекта (25, 85); при этом оказалось, что при нагревании в пределах 450—600° или 400—483° золото, переходя из аморфной в кубическую модификацию, изменяет свою окраску в желтый цвет (25, 85).

Из только-что изложенного следует, что две модификации золота Н. Louis — кристаллическая и аморфная — будут аналогичны, вероятно, двум модификациям Thomsen, полученным им в осадках (31, 356, 366).

Как было отмечено выше, Е. С. Федоров не нашел возможным признать в гексагональном облике кристаллов золота. Ф. В. Вильма указания на полиморфную его разновидность (19, 457).

Далее, W. Stein, изучая окраску металлов, особенно золота, констатировал в тонких пластинках золота явление дихроизма (26, 175). По этому поводу В. И. Вернадский говорит, что явление дихроизма в тонких пластинках золота указывает даже на непринадлежность этих пластинок золота в правильной системе», и очень вероятно, что «в тонких пластинках золото принадлежит к другой полиморфной разновидности» (2, 269, сноска). Однако в этом заключении нельзя не признать крайности, которая никакими имеющимися данными не оправдывается и требует допущения, что первично образующееся золото в пластинках является гексагональным и в дальнейшем преобразуется в кубическое.

И, наконец, P. Groth, который еще в 1906 г. считал, что золото кристаллизуется только в кристаллах кубической системы (5, 6), и поддерживал возражения против мнения о существовании гексагонального золота (5, 6), в 1921 г. в своем труде «Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie», говоря о полиморфизме, отмечает, что полиморфной разновидностью кубического золота является золото, обладающее явно выраженными одноосными свойствами (27, 263).

Находка инж. В. И. Гордеева описанных выше кристаллов золота в гексагональных формах и сходных с формами кристаллов А. Н. Chester и Н. Blake, очевидно, склоняет к мысли при-

¹ Ding: polut. Journ., 1863, vol. CXVIII, s. 282.

знать, что рядом с кубическим золотом существует полиморфное золото, которому свойственна гексагональная структура и которое при определенных условиях образования всякий раз получает устойчивые формы в виде гексагональных призм. К этой полиморфной разности нужно отнести и те призматические кристаллы гексагонального облика, которые получали А. Liversidge и Ф. В. Вильм из соответствующих растворов. Кристаллы золота, полученные Н. Аверкиевым, Е. Hatschek, А. L. Simon и другими, с предпочтительным направлением роста перпендикулярно оси третьего порядка также, вероятно, являются кристаллами гексагональной системы. Точно так же гексагонального вида кристаллы золота встречаются изредка в естественных условиях. К числу подобных образований нужно отнести кристаллы золота Е. S. Dana из Орегона и А. Lascoix с острова Мадагаскара и некоторые кристаллы золота Южного Урала, описанные П. В. Еремеевым.

Отнесение кристаллов золота гексагонального облика к кристаллам гексагональной системы, вероятно к дитригональному классу, совпадает с новыми мнениями Р. Groth о возможности для золота выделить одноосную его модификацию и подкрепляются вместе с тем старыми данными W. Stein и соображениями о полиморфизме золота В. И. Вернадского.

Некоторая неуверенность, существующая в настоящее время, заключается в неясности, рассматривать ли кристаллы золота принадлежащими только к голоэдрическому классу кубической системы (11, 131; 5, 6; 6, 323; 14, 37, 38), или их относить к одной из гемиздрий без осей четверного порядка, как это допускает В. И. Вернадский (2, 269; 8, 263), или, наконец, следуя А. К. Болдыреву, рассматривать кристаллы кубического золота как принадлежащие то к гексооктаэдрическому, то гексатетраэдрическому виду симметрии (10, 86; 28, 115). Эта двойственность в понимании кристаллов кубического золота при отрицании полиметаморфизма, повидимому, вытекает не столько из несовершенства его кристаллов, сколько из-за ряда невозможностей, вероятно, изучить их многие особенности, которые позволили бы притти к единому мнению по этому поводу. Мне лично кажется, что в двойственном поведении кубического золота можно было бы точно так же видеть проявление полиморфизма, т. е. кристаллы гексооктаэдрического и гексатетраэдрического (2, 269, сноска; 29, 278) характера можно было бы рассматривать как полиморфические разновидности, отличающиеся друг от друга своими структурными особенностями.

Изучение термических свойств золота позволило Thomson выделить и различать модификации, которые, может быть, и отвечают двум модификациям кубического золота.

Таким образом, на основе материала, приведенного выше, представляется возможным для золота различать три кристаллические полиморфные модификации: две кубические и одну гек-

сагональную. Однако только-что высказанные соображения заслуживают дальнейших и серьезнейших исследований в этом направлении. Случай выпадения гексагонального облика кристаллов из растворов, в той или иной степени подкисленных, обращает внимание и выдвигает вопрос, не будет ли каждая из возможных модификаций золота характерна для определенных генетических условий.

VI.

Если обратиться к данным рентгенографических исследований золота как в виде образований, отвечающих составу элемента, так и в виде сплавов с другими металлами и металлоидами, образующих смешанные кристаллы, то оказывается, что золоту—возможно—свойственно большее число полиморфных разновидностей, чем мы можем предполагать на основании кристаллографических его изучений на материале, с которым мы обычно сталкиваемся.

Так, М. Нейбургер в своей сводной работе по изучению рентгенографии металлов и сплавов (32) приводит в отношении золота нижеследующие данные, сведенные им в таблицу (32, 200).

Таблица 2

Типы решеток сплавов золота с металлами и металлоидами

Элементы и их сплавы	Вид кристаллической решетки	Тип решетки	Параметры в А. Е.	
			a	c
Au	Куб с центрированными гранями . . .	Тип меди	4,070	—
AuCu	Тетрагональный с центрированным. гранями	Особ. тип	3,980	3,720
AuCu ₃	Куб с центрированными гранями . . .	(Особ. тип 1)	3,750	—
AuSb ₂	Куб с центрированными гранями . . .	Тип пирита	6,636	—
AuSn	Гексагональная . . .	Тип никкелина	4,307	5,496
AuZn	Центрированный куб	Тип хлористого цезия	3,190	—
AuZn ₃	Кубическая	—	7,880	—
Au ₂ Zn ₃	Центрированный куб	Тип γ-латуни	9,270	—
AuAl	Кубическая	—	—	—
AuPd	Куб с центрированными гранями . . .	—	3,975 ²	—
AuAg	Куб с центрированными гранями . . .	—	4,065 ³	—

¹ 32, 186. ² 32, 74. ³ 32, 53.

Первое, что бросается в этой таблице в глаза, это довольно большое разнообразие типов решеток, которое свойственно данным сплавам. Данное разнообразие будет еще более разительным, если сравним типы решеток исходных продуктов с типом решетки соответствующего сплава. Напр., в сплаве AuCu, как видно, проявляется тетрагональная решетка (32, 57—65), тогда как для исходных продуктов характерна центрированная; для олова характерны тетрагональный, кубический и ромбический типы решеток, тогда как для сплава AuSn характерна гексагональная. Такой же характер решетки проявляет в сплавах Sn с Cu, Ni и Pt. Для Zn мы имеем гексагональный тип решетки, в сплавах золота с Zn в различных пропорциях появляются решетки кубического характера. Только в сплаве Zn_2Mg проявляется гексагональный тип решетки, да и то несколько отличный от решетки, свойственной металлическому цинку.

Если мы примем во внимание закон Гримма в отношении образования металлами смешанных кристаллов в сплавах, возможного лишь при химической и физической однотипности, т. е. два металла могут дать смешанный кристалл в том случае, если их пространственные решетки являются подобными (33, 198; 32, 8) и они производят в кристаллах одинаковое действие (34, 82), и учтем при этом очень важный вывод В. М. Гольдшмидта, что изоморфия, а стало быть, и получение смешанных кристаллов, скорее является следствием строения соединения, молекулы, чем ее химического состава и химического сродства двух или нескольких тел, образующих соединение (34, 73), то из только-что предложенной таблицы следует, что для золота в различных его соединениях возможны не менее 7 типов пространственных решеток, для каждой из которых будет свой типичный элементарный параллелепипед.

Если посмотрим аналогичные данные для Cu и медных сплавов с другими элементами, то окажется, что медь должна иметь не менее 11 типов пространственных решеток. Для Sb и сплавов с ней установлено не менее 9 решеток, для As — не менее 7, для Al — не менее 9 решеток различных типов (32, 200 — 207, табл. 107).

Отсюда мы можем сделать смелый, но не без основания, вывод, что, вероятно, каждый элемент, в том числе и золото, может обладать большим числом типов решеток, каждая из которых является устойчивой лишь при особых условиях, что и вскрывается в сплавах и, вероятно, будет вскрыто и в солевых соединениях.

Подтверждение только-что изложенного вывода о возможной множественности полиморфизма для элементов мы можем найти у А. Е. Ферсмана в его «Геохимии». А. Е. Ферман, развивая положение О. Наһп о способности веществ, находящихся в растворе в тонкорассеянном состоянии, давать смешанные кристаллы с веществами, выпадающими из тех же растворов в том случае, если это тонкорассеянное вещество входит в пространственную ре-

решетку кристаллизующегося с ним вещества (36), указывает, что ионы элементов только в том случае улавливаются из разбавленных растворов другой решеткой, если они по своим размерам и по своему типу могут образовать с ней изоморфную постройку и если эта постройка энергетически выгоднее, чем чистый кристалл (35, 371). Другими словами, это тонкорассеянное вещество — гость квартирант, входя в решетку, скажем, «хозяина», не нарушает его однотипности кристаллической геометрии. Это значит, что в данном случае «гость» способен обладать сходственной решеткой с решеткой «хозяина», способен приспособляться, перестраиваться в соответствии с обстановкой. В соответствии с этим можно, пожалуй, сказать на основе изучения кристаллического состояния сплавов, что пространственная решетка сплава по характеру своего строительного плана в соответствии с энергетическими и физическими свойствами может уклоняться от геометрической структуры пространственных решеток исходных продуктов, что мы и видели на деле изучения структур ряда сплавов. Это уклонение еще более разительно в солевых соединениях, геометрия пространственных решеток которых подчас очень резко отличается от геометрии решеток исходных продуктов.

VII.

Только-что сказанное лишний раз подтверждает, что золото может встречаться в природных условиях по сравнению с кубическим и в иных геометрических формах. Возможное разнообразие пространственных решеток делает вполне реальными предположения В. И. Вернадского и А. К. Болдырева, что кубическое золото может быть не только в формах гексаоктаэдрического класса, но и в формах тетраэдрического и пентагонального и других классов.

VIII.

В заключение о находке гексагонального золота следует заметить, что нахождение золота в отстойниках Берикульского завода выдвигает на очередь вопрос практического характера, нельзя ли найти новые методы для полного восстановления золота из его циановых растворов, не прибегая к цинковым осадителям, и тем самым ополовинить гидрометаллургический процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hintze, Carl, Dr., Handbuch der Mineralogie. Bd. I, 2. Lief, 1898.
2. Вернадский, В. И., Опыт описательной минералогии, т. I, 1901, стр. 268—275.
3. Rose, G., Ueber die chemische Zusammensetzung des gediegenen Goldes, besonders des Goldes vom Ural. — Poggen. Annal. d. Phys. u. Chem. 23 Bd., 1831.
4. Rose, G., Ueber die Krystallformen des Goldes und des Silbers. — Poggen. Annal. d. Phys. u. Chem. 23 Bd., 1831.
5. Groth, P., Dr., Chemische Krystallographie. I Tl. 1906.

6. K o k s c h a r o w, Nikolai, Materialien zur Mineralogie Russlands. 6 Bd., 1870, ss. 321—350.
7. D a n a, E. S. Descriptive Mineralogy, 1900.
8. В е р н а д с к и й, В. И., История минералов земной коры, т. I, вып. II.
9. L e i t m e i e r, H. Gold — D o e l t e r C. u. H. L e i t m e i e r, Handbuch der Mineralchemie. Bd. III, 2 Half, 1926, ss. 186—285.
10. Б о л д ы р е в, А. К. Курс описательной минералогии, вып. I, 1926.
11. N i g g l i, P. Lehrbuch der Mineralogie. II. Zweite Aufl., 1926.
12. R a t h, G., Mineralogische Mitteilungen. 1. Zur Krystallisation des Goldes — Zeitschrift f. Kryst. u. Miner. I Bd. ss 1—8.
13. H e l m h a c k e r, R. Gold von Sysertska am Ural.— Mineral. Mittheilungen. I, 1877. ss. 1—12.
14. Е р е м е е в, П. М., Описание некоторых минералов из золотоносных россыпей на землях Оренбургского казачьего войска и на Башкирских землях. Горн. журн. 1887, III, стр. 263—309.
15. D a n a, E. S. Ref: B l a k e, W. P., Prismatisch aus gebildete Goldkrystalle.— Zeitschrift f. Krystall. u. Miner. Bd. X, 1885, s. 313.
16. M i e r s. Ref: L i v e r s i d g e, A., Krystallisation des Goldes in hexagonalen Formen.— Journ. Roy. Soc. South Wales, 1893, 27, — Zeitschrift f. Krystall. u. Miner. 1893, Bd. 25, ss. 291—292.
17. В и л ь м, Ф. В., О кристаллах золота, содержащих ртуть, Журн. Русс. физико-химич. общ. Т. XXV, 1893. стр. 656 — 667.
18. W i l m, Theodor., Ueber quecksilberhaltige Goldkrystalle.— Zeitschrift f. anorganische Chemie. IV Bd. 1893, ss. 325—334.
19. Ф е д о р о в, Е. С. Исследование порошка золота, полученного при действии HNO_3 на амальгаму золота, Записки СПб Минералог. общ., 2-я серия., ч.30., 1893, стр. 455—458.
20. D a n a, Edward S., Zur Krystallisation des Goldes.— Zeitschrift f. Krystall. u. Miner., 1887. Bd. 12, ss. 275—281.
21. L a s r o i x, A., Mineralogie de la France et de ses colonies. IV Bd. 1910. ss. 841—846.
22. A v e r k i e f f, N., Ueber die Fällung Krystallinischen Goldes durch Formaldehyd.— Zeitschrift f. anorgan. Chemie. XXXV Bd., 1903, ss. 329—33.
23. H a t s c h e k, E. u. A. L. S i m o n, Die Reduktion von Gold in Kieselsäuregelen und die Entstehung von Goldlagern.— Zeitschrift f. Chemie u. Industrie der Kolloide. X. 1912. Heft, ss. 265—268.
24. S t a f f, Allotropie des Goldes.—Ref: H. L o u i s, Transact. of the Amer. Inst. of Min Eng. Febr, 1894.—Zeitschr. f. praktische Geologie II, 1894.
25. S t a f f., Ueber amorphes Gold.— Ref: H. L o u i s, Transact of the Amer. Inst of. Min. Eng. Oct. 1894—Zeitschr. f. praktische Geologie. III, 1895.
26. S t e i n, W., Ueber die Molekular — und Körperfarbe der Metalle, insbesondere des Goldes und über die blaue Verbindung des Schwefels mit Schwefelsäure. — Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 6. 1873, ss. 172—185.
27. G r o t h, P, Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie, 1921.
28. Курс минералогии под редакцией проф. А. К. Болдырева, доц. Н.К. Разумовского и доц. В. В. Черных, 1936.
29. M a r t i n, K. Ein tetraëdrische ausgebildeter Goldkrystall.— Zeitschrift f. Krystall. u. Miner. Bd. XXIX, 1898, s. 278.
30. R o s e, Gustav, Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere. Bd I: Reise nach dem nördlichen Ural und dem Altai, 1837.
31. T h o m s e n Julius, Thermochemische Untersuchung. XXI. Ueber das Gold und seine Verbindungen.— Journ. f. prakt. Chemie. Bd. 13. 1876, ss. 348—369.

32. Нейбургер, М., Рентгенография металлов и сплавов, 1932.
 33. Эггерт, Джон, Учебник физической химии, 1931.
 34. Goldschmidt, V. M., Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. VII. Die Gesetze der Krystallochemie, 1926.
 35. Ферсман, А. Е., акад., Геохимия, т. III, 1937.
 36. Hahn, O., Ueber die Elemente der letzten Reihe der periodische systems.—Zeitschrift f. anorgan. Chemie, XLII, 1929, ss. 924—929.
 37. Schneiderhöhn, H. u P. Ramdohr. Lehrbuch der Erzmikroskopie. II Bd. 1931.
 38. Дана, Э. С., Описательная минералогия, 1937.
-