Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени Горного института, том XXII, 1948

III. Металлургия и обогащение

Новые платиновые минералы в сульфидных медно-никелевых рудах

Проф. И. Н. Масленицкий

Форма нахождения извлекаемого металла имеет большое значение для выбора технологической схемы переработки руды. Технологу важно знать, в виде каких минеральных образований находится металл, какова химическая и физическая связь между ним и минеральными компонентами руды.

Прямой минералогический и минераграфический анализ нередко оказывается бессильным решить эту задачу, в особенности в тех случаях, когда содержания извлекаемых металлов выражаются несколькими граммами на тонну обрабатываемой руды и когда форма нахождения элементов является необычной Такое положение особенно четко выявилось при изучении формы нахождения платиновых металлов в медно-никелевых рудах. Для наших руд задача эта была впервые разрешена Группой никеля Ленинградского Горного института в результате широко поставленных исследований методами химического и минераграфического анализа образцов руды и максимально унифицированных и обогащенных изучаемыми компонентами фракций, полученных прецизионными приемами гравитационного, электромагнитного и флотационного обогащения. Только таким путем оказалось возможным установить состав, взаимную связь платиновых и никелевых и медных минералов и сделать правильный прогноз поведения этих минералов при обогащении. Впервые были диагностированы в наших рудах такие платиновые минералы как куперит, браггит, стибио-палладинит и сперрилит, дана их химическая характеристика и установлен чрезвычайно важный факт тонкой диспергации большей части палладия в сульфидах никеля и железа. Результаты этих работ были обобщены в специальной монографии и положены в основу схемы технологических процессов нашей медно-никелевой промышленности.

Отсутствие надлежащего количества шлихов не позволило осветить полностью важный вопрос о составе минералов россыпи. После-

дующее изучение шлихового материала россыпи в других организациях не заполнило указанного пробела, так как сделанные авторами выводы базируются в основном на результатах химического анализа отдельных зерен платиновых минералов, ошибочно принятых за мономинеральные образования. В опубликованных анализах отдельных «минералов» остался необъясненным факт значительной недостачи суммы определенных элементов до 100%, в некоторых случаях доходящей до 25%.

В 1946 г., когда в распоряжении группы металлургии оказались достаточные количества металлов из россыпи, а также платиносодержащих шлихов, полученных в процессе обогащения больших масс сульфидных медно-никелевых руд, мы сочли необходимым поставить детальные химико-минералогические исследования шлиховых материалов в развернутой форме. Целью этих исследований ставилось уточнение состава платиновых минералов россыпи и проверка идентичности последних с платиновыми минералами коренных сульфидных руд, что можно было осуществить параллельным изучением шлихов россыпи и шлихов обогатительной фабрики.

Проведенное минералогическое изучение кристаллов платиновых минералов россыпи показало, что шлиховой материал из россыпи представлен разнообразными более или менее совершенными кристаллическими формами: 1) хорошо образованными кристаллами с гранями (100), (111), (110) [1] иногда с проявлением скелетной или ворончатой формы (рис. 1); 2) неравномерно развитыми кубами призматического (рис. 2 и 3) и пластинчатого габитуса (рис. 4). Некоторые кристаллы платиновых минералов отчетливо магнитны, другая часть не обладает этим свойством.

Поскольку при химическом анализе некоторых кристаллов нам также пришлось столкнуться с фактом значительного дефекта суммы элементов, мы вынуждены были уточнить рекомендованную методику химического анализа шлихового материала. После ряда систематических поисков П. В. Фалеевым было установлено, что недостача суммы почти полностью перекрывается ускользавшим при химическом анализе по стандартной методике шлихов оловом, терявшимся в виде летучего тетрахлорида при выпаривании солянокислых растворов. Таким образом, выявилось вхождение в состав платиновых минералов олова. Это обстоятельство заставило еще более внимательно отнестись к составу отдельных кристаллов. Факт нахождения олова в исследованных платиновых минералах шлихов указывает на необходимость тщательной проверки анализов платиновых минералов других месторождений, так как не исключена возможность более широкого распространения минералов платино-палладиево-оловянного комплекса.

С другой стороны, минераграфическое исследование аншлифов отдельных кристаллов россыпи и шлихов обогатительной фабрики показали, что эти кристаллы в большинстве случаев не являются мономинеральными и состоят из двух, трех и даже четырех компонентов. Диагностические отличия этих компонентов под микроскопом нерезки, физические и химические свойства плавно изменяются по мере измене-

[1] Эти определения были произведены проф. И. И. Шафрановским.

ния состава компонентов. На основании исследования под микроскопом Е. В. Искюль установила четыре отдельных минеральных компонента, условно обозначенных как А, В, С и Д. Их характеристика дана в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика платиновых минералов россыпи и шлихов фабрики

Минерал	Цвет	Твердость	Действие кислот				
			разбавленная		концентрированная		царская водка
			HCL	HNO_3	HCL	HNO_3	
1	2	3	4	5	6	7	8
А	Белый, с розоватым или желтым оттенком. Наиболее светлый	Наиболее твердый (4—4,5)	— —	— —	— —	— —	
В	Чуть темнее А, отчетливо выраженный серовато-желтый оттенок	Мягче минерала А	— —	— —	— —	— —	— —
С	Темнее В. Коричневатый или розоватый оттенок	Как у минерала В	— —	— —	— —	— + [1]	+ + [2]
Д	Самый темный. Отчетливо выраженный буровато-желтый оттенок	Мягче С	— —	— —	— + [3]	+ + [4]	+ + +

Обозначения:

Не действует — —
Действует слабо — +
„ быстро + +
„ мгновенно + + +

Наиболее распространенным в шлихах оказался минерал А. Он составляет основную массу магнитных скелетных кубических кристаллов, обычно тесно связан с минералами С, реже с минералами В и Д. Под микроскопом в минерале А очень часто констатируются эмульсионные включения минерала С (рис. 5, 6), равномерно распределенные по всей массе кристалла, иногда концентрирующиеся в периферийных частях (рис. 7). Значительно реже минерал А содержит вклю-

[1]) Налет бурого цвета.
[2]) Налет бурого цвета не стирающийся.
[3]) Стирающийся бурый налет.
[4]) Минерал быстро растворяется, в результате чего появляется разъеденная бурая поверхность.

чения минерала С в форме крупных вытянутых в цепочку включений, которые приурочены к плоскости октаэдра (рис. 8). Таким образом, минерал А и С находятся в тесной связи один с другим, причем наблюдающиеся между ними структурные взаимоотношения являются типичными для продуктов распада твердых растворов. Необходимо отметить, что такие микроструктуры выявлены наиболее отчетливо на более крупных кристаллах, что, видимо, объясняется особыми физико-химическими условиями (температура, давление, время), при которых формировались крупные кристаллы.

Минерал С кроме нахождения в форме вышеуказанных включений в минерале А встречен почти в чистом состоянии в виде немагнитных окатанных удлиненных кубических («призматических») кристаллов. Нередко с поверхности такие кристаллы имеют оболочку, состоящую из минерала А (рис. 9, 10, 11).

Минерал В встречен в форме хорошо образованных немагнитных кубических кристаллов, довольно часто он наблюдается в тесном срастании с минералом С (рис. 12 и 13).

Минерал Д обычно находится в срастании с минералами С и А, часто в форме тонких графических структур в последнем (рис. 14 и 15), иногда в форме поверхностных корочек. Травление смесью $HCL + KCLO_3$ выявляет на поверхности минерала Д зернистую структуру (рис. 16 и 17).

Минераграфические исследования кристаллов платиновых минералов показали наличие в них остатков включений материнской магмы в виде сульфидов (пирротина, пентландита, халькопирита и др.), магнетита и ильменита. Результаты исследований зерен платиновых минералов под микроскопом с достаточной четкостью показывают, что даже хорошо образованные кристаллы не являются мономинеральными. Поэтому заключения о составе отдельных минералов на основании одного химического анализа без учета внутренней структуры могут оказаться ошибочными. Исходя из этого в нашей работе при установлении состава платиновых минералов химическому анализу подвергались только наиболее унифицированные фракции, в которых максимально концентрировался определяемый минерал. Средние результаты таких анализов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав платиновых минералов

Минералы	Pt	Pd	Fe	Sn	Cu	Ni	Нер. остаток
	в процентах						
А	77—81	0,8—1,3	11—13	до 0,4	0,3—1,2	0,5—1,4	0,5—1,7
В	57—63	12—20	0,6—0,9	21—27	0,3—2,2	0,45	1,0—2,3
С	15—20	40—45	0,3—2,3	28—33	5—12	0,1—0,7	0,25—1,5

Ввиду отсутствия в исследованном материале кристаллов и зерен, состоящих преимущественно из минерала Д, состав последнего не мог быть установлен.

Таким образом, как в материале из россыпи, так и в шлихах, выделенных из сульфидных медно-никелевых руд, в первую очередь с достаточной надежностью был выявлен минерал А, представляющий типичную магнитную ферроплатину, небольшое содержание палладия в которых объясняется наличием мелких включений палладиевого минерала С. Вторым, четко диагностированным объектом, является минерал С. Значительное содержание в нем олова и постоянство соотношения палладия к олову в отдельных кристаллах (табл. 3), соответствующее соединению Pd_3Sn_2, дают основание считать минерал С медистым станнопалладинитом.

Таблица 3

Состав немагнитных окатанных призматических кристаллов

Образцы кристаллов	Нер. остаток	Pt	Pd	Sn	Cu	Fe	Ni	Au	Pd/Sn	Pd/Pt
	в процентах									
3а	1,76	14,85	40,07	30,81	10,66	1,50	0,25	—	1,29	2,75
3В	0,75	13,39	45,69	32,86	5,31	1,09	0,31	0,60	1,39	3,4
а	0,62	17,11	44,25	28,80	5,72	2,32	0,74	0,44	1,35	2,6
3В	1,18	19,39	40,29	30,42	7,38	0,51	0,35	0,48	1,32	2,1
е	0,26	18,75	38,13	30,60	11,58	0,37	0,13	0,23	1,25	2,0
f	0,31	17,65	39,50	30,04	10,61	1,36	0,08	0,45	1,30	2,1
g	0,49	18,24	37,11	33,75	9,46	0,35	0,10	0,50	0,10	2,1
i	2,49	15,17	40,78	28,08	20,78	1,21	0,24	—	1,45	2,7

Минерал В, представленный совершенно однородными немагнитными кубическими кристаллами, имеет более сложный состав. Результаты анализа двух групп кристаллов приведены в табл. 4.

Таблица 4

	Pt	Pd	Sn	Cu	Fe	Ni	Au	Pd/Sn	Pt/Sn	Pt/Pd
	в процентах									
1 группа	52	21	22	2	1	0,5	0,2	1	2,37	2,5
2 группа	63	12	21	0,4	1	0,5	0,1	0,55	2,87	5,5

И хотя весовое отношение платины к олову в наших анализах соответствует соединению Pt_3Sn_2, т. е. станноплатиниту, не исключена возможность наличия в минерале В и станнопалладинита, а скорее всего в данном случае мы имеем твердый раствор этих двух соединений.

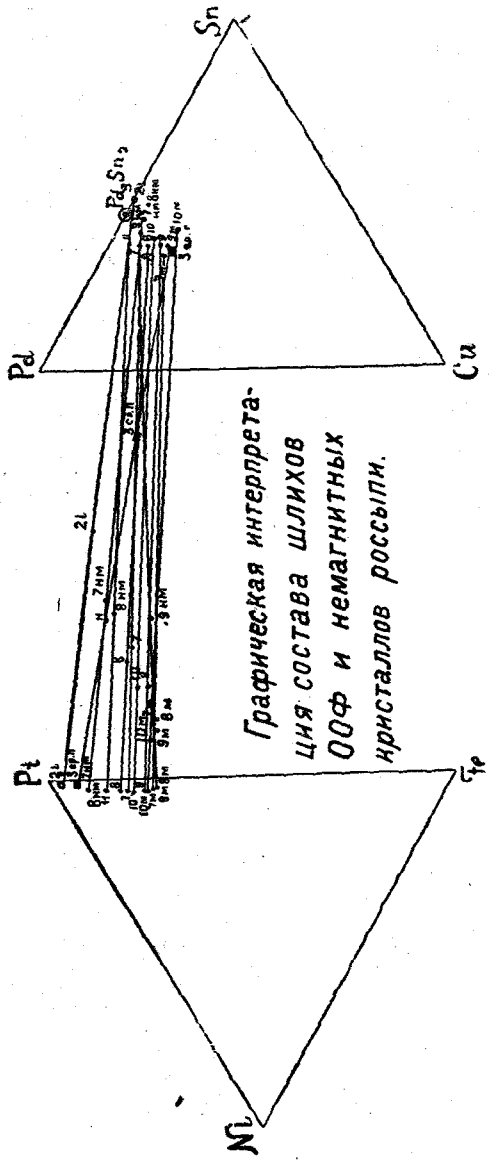


Рис. 19.

В шлихах, выделенных на обогатительной фабрике и по данным минераграфического анализа состоящих в основном из тех же минералов, как и шлихи россыпи, ферроплатина, и медистый станнопалладинит являются преобладающими минералами. Это особенно четко подтверждается графической интерпретацией результатов большого количества анализов фабричных шлихов. Если объединить в соответствии с результатами минераграфического анализа определенные химическим анализом элементы в две группы «триад» — Pt, Fe, Ni и Pd, Sn Cu — и после соответствующих пересчетов нанести результаты на две тройные диаграммы (фото 18), то отчетливо видно существование двух, совершенно отличных по составу минеральных образований.

Диагностированные в шлиховом материале новые платиновые минералы, идентичные по форме и минераграфическим константам со свободными платиновыми минералами коренных руд, конечно, представляют собою лишь небольшую часть содержащихся в медно-никелевых сульфидных рудах платиноидов. Как показали исследования группы никеля, основная масса платиноидов, в особенности палладия, в этих рудах тонко диспергирована в сульфидах железа и никеля. Однако несомненно, что выявление новых, неизвестных до сего времени, платиновых

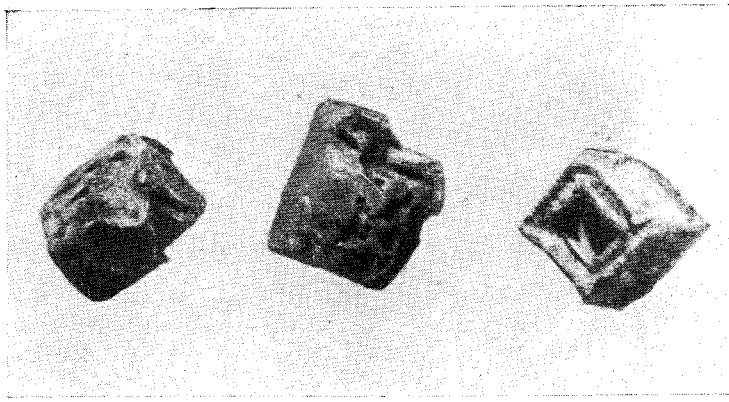


Рис 1. Кристаллы кубической формы (ув. 10)

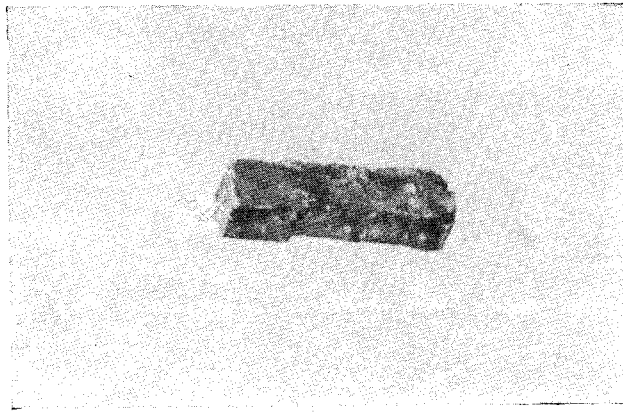


Рис. 2. Призматический кристалл (ув 10)

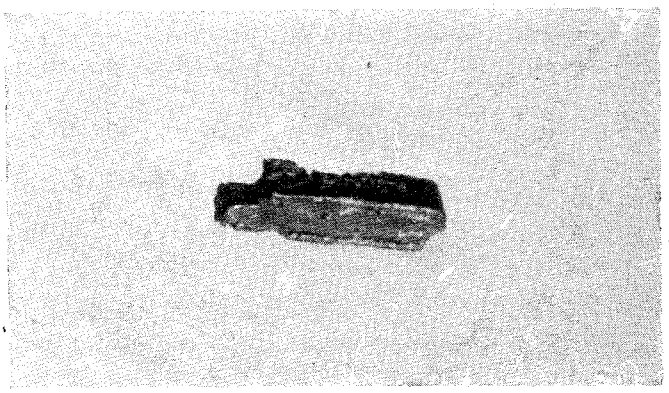


Рис. 3. Призматический кристалл (ув. 10)

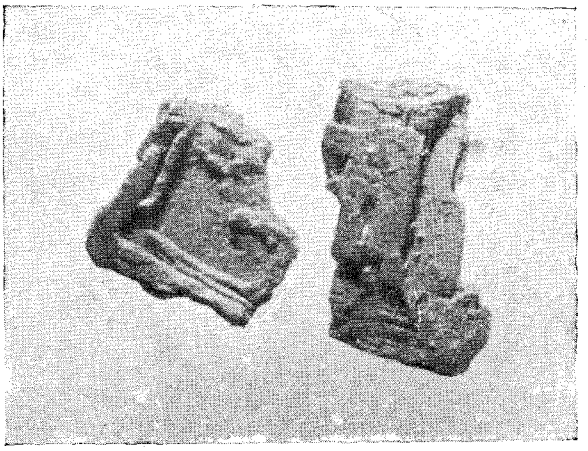


Рис. 4. Кристаллы пластинчатого габитуса (ув. 10)

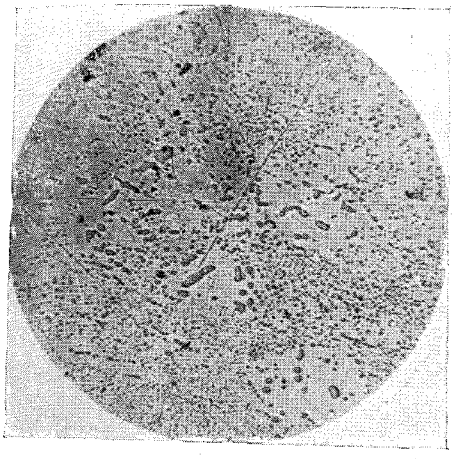


Рис. 5.

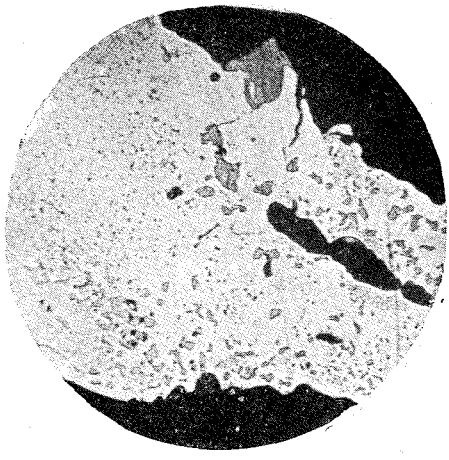


Рис. 6.

Эмульсионные включения минерала С
(увел. 75)



Рис. 7. Периферийные выделения минерала С (увел. 75)

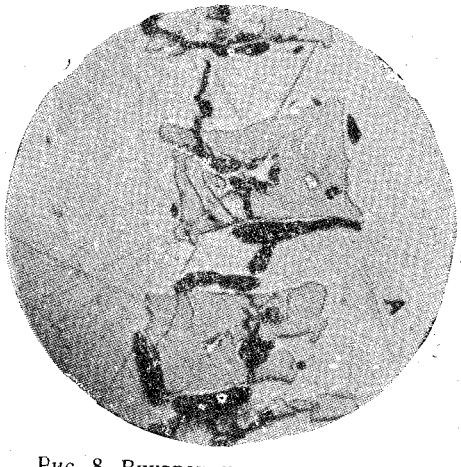


Рис. 8. Внутренние включения минерала С (увел. 75)

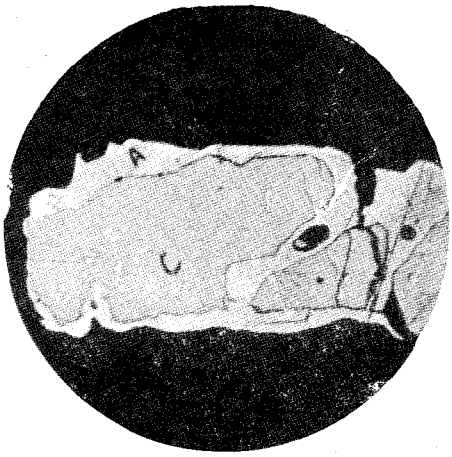


Рис. 9.



Рис. 10.

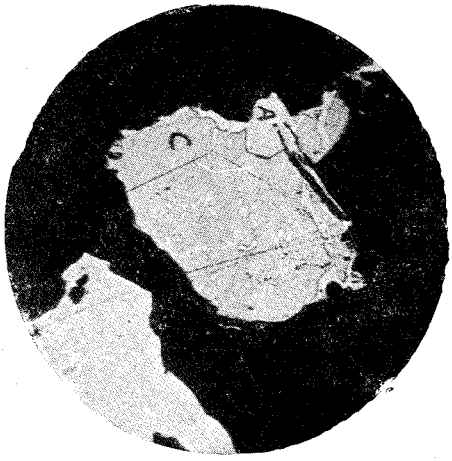


Рис 11.
Поверхностные выделения минерала А на кристаллах минерала С (ув. 75)

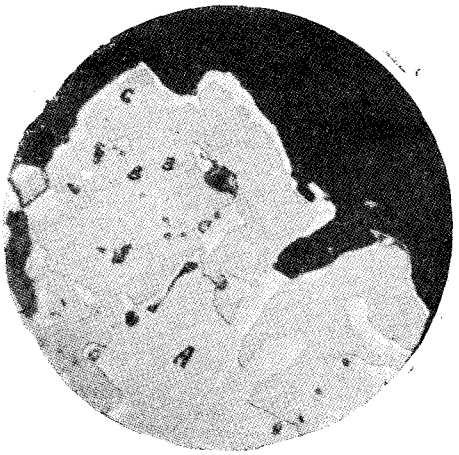


Рис. 12.

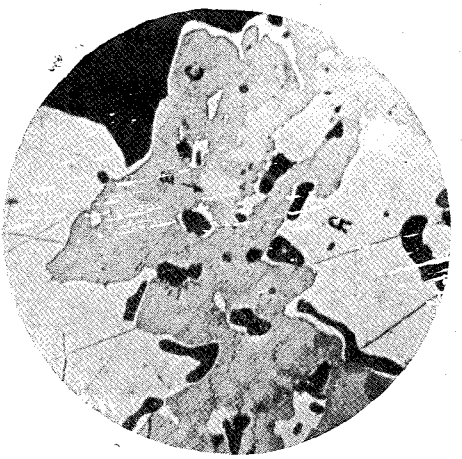


Рис. 13.

Характер срастания минералов A, B, C, (ув. 75)

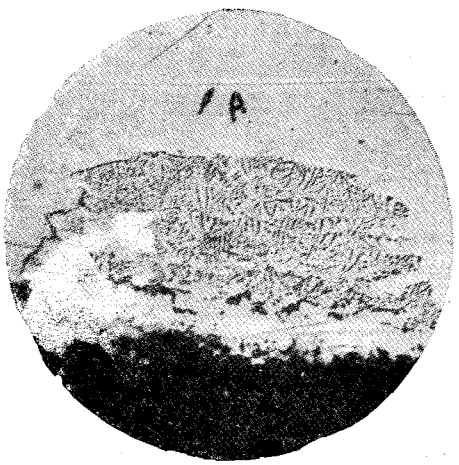


Рис. 14.

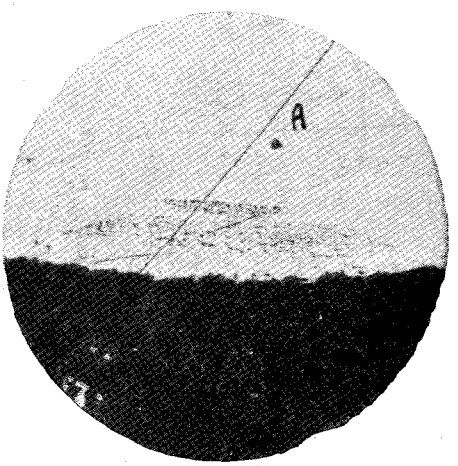


Рис. 15.

Структура включений минерала Д (ув. 75)

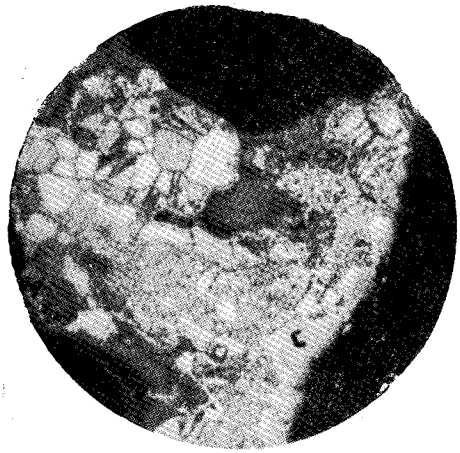


Рис. 16.



Рис. 17.
Зернистая структура минерала Д (ув. 75)

минералов ставит перед геохимией сульфидных медно-никелевых месторождений новые вопросы.

Вместе с тем возникает необходимость постановки ряда специальных физико-химических исследований — изучения растворимости платиноидов в расплавах сульфидов железа, меди и никеля, а также изучения систем: платина-палладий-олово, палладий-олово-медь.

В связи со спецификой физических свойств новых минеральных комплексов (хрупкость, пониженный удельный вес) перед технологами-обогатителями возникают трудности при гравитационной концентрации этих минералов обычными приемами и необходимость учета этих свойств минералов при разработке схем и выбора аппаратуры обогатительных фабрик.