

## К ВОПРОСУ ГЕОХИМИИ ПЛАТИНЫ

О. Е. Звягинцев

Проследить поведение элемента во всех его проявлениях в земной коре значит полностью знать геохимию этого элемента. По отношению к металлам платиновой группы мы далеки от такого полного познания, но работы последних лет продвинули нас значительно вперед. Высокие цены на платину на мировом рынке во время мировой войны и непосредственно после нее толкнули геологов, минералогов, химиков, физиков и практических деятелей к изучению этого элемента с целью найти лучшее применение или найти замену ему и, главное, найти новые месторождения платины. Все эти работы привели к успешному разрешению поставленных проблем. Особенно важно, что найдены новые значительные месторождения платины и ее спутников в Ю. Африке и других странах. Изучение Ю.-Африканских месторождений платины не только привело к результатам чисто практическим, но и широко осветило генезис платиновых металлов (П. Вагнер, Купер, Меренский и др.)<sup>1</sup> и значительно расширило наши представления о формах нахождения металлов платиновой группы в природе. Были найдены новые минералы: куперит (сернистая платина, PtS), стибиопалладинит (сурмянистый палладий PdSb), браггит (сернистая платина — палладий), никель (Pt, Pd Ni) S<sub>2</sub>.

Изучение Уральских месторождений платины также получило стимул. Ряд работ русских геологов, минералогов и геохимиков дал новое освещение вопросу о происхождении коренных месторождений платины уральского типа. Крупные ученые — А. Н. Заварицкий<sup>2</sup>, Н. К. Высоккий<sup>4</sup>, А. П. Карпинский<sup>5</sup>, С. Ф. Жемчужный<sup>6</sup>, А. Г. Бетехтин<sup>7</sup> и др. — дискутировали этот вопрос в связи с рядом различного рода новых наблюдений.

Коренные Уральские месторождения платины находятся в 10 массивах ультраосновных пород: дунитов, пиро-



О. Е. Звягинцев,  
доктор химии

ксенитов и перидотитах. Происхождение этих месторождений в свете перечисленных работ рисуется следующим образом: в толщу пород вторгались громадные интрузии основной (богатой окислами магния и железа и бедной кремнеземом) магмы. Эти интрузии медленно охлаждались, отслаивая опускавшиеся вниз как более тяжелые фации ультраосновной магмы. В результате процесса дифференциации основных магм произошли массивы горных пород, которые вскрыты теперь денудацией и в толще которых могут находиться платиновые месторождения. Все десять уральских дунитовых массивов имеют в общем одинаковое строение: в центре залегает дунит (порода, наиболее богатая оливином), образующий ядро интрузии. Его окружают пироксениты, образуя неправильное, иногда прерывающееся кольцо; далее следуют перидотиты, габбро и, наконец, на периферии залегают еще менее основные габбродиориты и диориты. Тесная связь и постепенные переходы между этими породами показывают, что они есть продукты последовательной дифференциации общей родоначальной магмы, которая происходила на большой глубине (по Обручеву не менее 5—10 км). Громадная интрузия разделялась по удельному весу: дуниты, как более тяжелые, опускались вниз, их покрывал слой пироксенитов и над ними находились габбро и диориты. Теперешнее кольцевое расположение этих пород объясняется тем, что они представляют собой вскрытый денудацией купол интрузии, причем дуниты соответствуют наиболее глубокой денудации.

Платина, находившаяся в расплавленной магме интрузива, при застывании последнего, как более тяжелая попала в большей своей части в дунитовую часть; некоторая, небольшая, часть осталась в пироксинитах и совсем малая часть — в перидотитах и габбро. При остывании дунитовой магмы порядок выделения минералов из расплава таков: в первую голову выделялся хромит, затем оливин, затем сульфиды, включенные в оливине. Платиновые металлы выделялись в различные стадии этого процесса: осмистый иридий выделялся первым и, вероятно, ранее хромита. Платина выделялась иногда ранее, иногда одновременно и, наконец, в некоторых случаях несколько позднее хромита. Разница во времени ее выделения объясняется различным ее составом: более железистая платина с более низкой температурой плавления выделялась позднее; платина с меньшей примесью железа — раньше.

Часть платины, и вероятно значительная, не выделялась, а находилась в остаточном расплаве. При дальнейшем остывании дунита эта платина выделялась из остаточных фаций в виде шпир и жил причудливой формы, которые хорошо известны в Н.-Тагильском районе.

Таким образом среди минералов коренных месторождений платины мы должны найти большое разнообразие состава самородной платины и других самородных платиновых металлов. Изучение их представляет крупный интерес так как помогает ближе изучить процесс образования месторождений платины и их распределения в дунитовой толще.

ТАБЛИЦА 1

Состав самородной платины)

	Урал, прииск Качканар, верховья р. Гусевки	Урал, р. Ис, Верхне-Косвенский прииск	Урал, Крутой Лог, Тагильский район
Платина . . . . .	90,16	76,80	70,92
Железо . . . . .	6,26	7,50	11,57
Палладий . . . . .	1,18	0,30	0,20
Иридий . . . . .	1,32	0,45	0,23
Родий . . . . .	0,33	3,83	1,88
Медь . . . . .	0,38	следы	7,97
Осмистый иридий . . . . .	0,18	9,24	3,45

С. Ф. Жемчужному<sup>6</sup> принадлежит большая и основательная работа по изучению самородков платины. На основании физико-химического анализа и изучения химического состава платиновых самородков С. Ф. Жемчужный пришел к выводу, что изученные им самородки являются продуктом застывания расплава, а не выделения из раствора.

Дальнейшее изучение самородной платины велось А. Г. Бетехтиным<sup>7</sup>, Б. Р. Карповым<sup>8</sup> и др. Было наблюдаемо зональное строение платины, произошедшее вследствие вторичных явлений в уже затвердевающей массе породы. Открыта „цементация“ платиновых зерен железом, медью и никелем из окружающей среды. Слово „цементация“ здесь понимается так, как это понимают металлурги (цементная сталь). В результате цементации зерна платины приобретали сваружки слои, обогащенные железом, никелем и медью\*.

Платина, вымытая из дунитов во время процесса денудации, попадала в русла рек и ручьев, в лога—в россыпи.

\* А. Г. Бетехтин, впервые изучивший состав этих оболочек, считает медистую и никелистую платину за особые минеральные виды.

Там при трении о песок и гальку поверхностный железистый слой зерен стирался, и оставались частицы с более богатым содержанием платины, чем частицы из коренных месторождений.

Физико-химическая природа самородной платины теперь для нас ясна: она представляет собой твердый раствор железа и других компонентов (меди, иридия, никеля, палладия, родия) в платине. Как показали работы Н. С. Курнакова и В. А. Немилова<sup>9</sup>, все эти элементы дают в сплавах с платиной твердые растворы.

Осмистый иридий находится в естественном платиновом сплаве в виде включений.

Осмистый иридий выделился из расплава раньше платины, и потому его зернышки обычно включены внутри зерен платины; часто зернышки этого минерала встречаются и отдельно от платины, а в пироксенитах и перидотитах (и в змеевиках, образовавшихся из них) имеются месторождения осмистого иридия без платины\*.

Изучение физико-химической природы осмистого иридия представляло также большой интерес и было предпринято мной совместно с Б. К. Бруновским<sup>10</sup>.

Исследование кристаллической решетки осмистого иридия (имеющего гексагональное строение) различных месторождений и различного состава (табл. 2) привело к следующим результатам: по составу этот минерал колеблется в широких пределах, осуществляя непрерывный ряд переходов от иридиевого осмия к осмистому иридию, т. е. от 60 до 30 % осмия. Независимо от состава кристаллическая решетка минерала остается одной и той же, изменяя лишь в небольших пределах параметр. Эта решетка тождественна с решеткой чистого осмия. Такие соотношения весьма характерны для твердых растворов.

На основании этих данных мы пришли к заключению, что осмистый иридий представляет собой по своей физико-химической природе естественный твердый раствор иридия и других элементов в осмии с сохранением кристаллической решетки последнего.

Табл. 3 и рис. 1 дают сопоставление состава и параметров кристаллических решеток осмистого иридия.

Чрезвычайно интересной оказалась физическая структура кристалликов осмистого иридия. Обычно этот минерал встречается в россыпях в виде мелких (0,5 мм и менее) чешуек с металлическим блеском. Среди этих чешуек нами были найдены хорошо образованные кристаллы гексагональной симметрии. Такие кристаллы нами были подвергнуты

\* Коренное месторождение осмистого иридия в перидотитах открыто А. А. Ивановым в 1935 году на Урале в Тагильском районе.

ТАБЛИЦА 2

(Состав осмистого иридия)

	Сибирь, Забайкалье	Урал, Невьянский район	Урал, Мнасский район	Северный Кавказ р. Лаба*
Иридий . . . . .	24,5	44,9	44,3	33
Осмий . . . . .	46,0	37,1	35,5	43
Платина . . . . .	7,4	8,9	6,6	7
Родий . . . . .	нет	0,2	0,2	—
Рутений . . . . .	18,3	2,5	13,4	13
Золото . . . . .	следы	—	—	—
Железо . . . . .	2,6	3,5	—	4,6
Медь . . . . .	следы	следы	—	—

ТАБЛИЦА 3

(Состав и параметры кристаллических решеток осмистого иридия)

Происхождения	Состав %		Параметры		c/a
	Os + Ru	Ir+Pt+Rh	a	c	
Невьянский район . . .	44,3	50,9	2,620	4,235	1,617
Сысертский . . . . .	43,9	50,5	2,710	4,287	1,582
Мнасский . . . . .	48,9	51,1	2,697	4,282	1,588
Забайкалье . . . . .	64,3	31,9	2,710	4,282	1,581
Кузнецкий Алатау . . .	44,5	42,7	2,713	4,267	1,573
Сев. Кавказ . . . . .	56	40	2,67	4,41	1,65
Осмий . . . . .	100	—	2,716	4,331	1,595

\* Наличие осмистого иридия на Северном Кавказе впервые установлено нами.

изучению по методу Лауэ и по методу вращающегося кристалла рентгеновскими лучами.

Рентгенограммы рис. 2 показали, что кристаллы осмистого иридия дают тот же эффект, что провальцованные металлы — так называемую „фазерструктуру“. Иными словами, кристаллы представляют собой только по внешнему виду целые кристаллы, на самом деле они являются совокупностью мелких, ориентированных в определенном направлении блоков. Ориентация последних в общем совпадает с ориентацией большого кристалла, уклоняясь от направления тех же осей большого кристалла, из которого они произошли на  $5-12^\circ$ .

Если „фазерструктура“ металлов происходит вследствие механических и термических воздействий, то мы должны предположить, что осмистый иридий в течение своей многовековой жизни претерпел какие-то механические и термические воздействия, бывшие следствием каких-то, пока неизвестных, геологических событий. Это справедливо по отношению к кристаллам осмистого иридия уральских месторождений и кристаллов из Забайкалья и Северного Кавказа.

Наименьшее содержание осмия в образцах осмистого иридия, анализировавшихся мной, было около 30%. Представлялось весьма интересным найти образцы с еще меньшим содержанием осмия и изучить их структуру. Очень вероятно, что могли бы быть найдены минералы — твердые растворы осмия и других металлов в иридии, с сохранением кубической структуры иридия. Старые анализы некоторых образцов осмистого иридия Сент-Клер Девиля и Девре показывают, что образчики с содержанием осмия 25 и менее процентов осмия существуют.

С целью отыскать подобные кристаллы мной<sup>11</sup> был рассмотрен нерастворимый остаток от растворения платины в царской водке. Этот нерастворимый остаток был просеян для удаления мелких частиц и крупный отсев подвергнут просмотру\*.

Крупный отсев состоит из частиц различного рода: 1) частиц платины, не успевших раствориться, 2) кристалликов осмистого иридия, 3) частиц неизвестного рода. По внешнему виду все частицы одинаковы, неправильной угловатой формы и с белым металлическим блеском. Частицы неизвестного минерала отличаются от частиц платины своей твердостью, хрупкостью и нерастворимостью в царской водке. В то время как зерна платины сплющиваются при ударе молотком, зерна неизвестного минерала раскалываются, давая неправильный излом. Осмистый иридий

\* Эта часть работы производилась на Государственном аффинажном заводе в Свердловске.

раскалывается по плоскостям спайкости по базису. Эти признаки позволили выделить несколько зерен неизвестного минерала и проанализировать его. По своему составу он отличается от всех известных минералов платиновой группы (табл. 4).

Новый минерал представляет собой зерна 0,5—2 мм диаметром, неправильной угловатой формы, светло-серебристого цвета с металлическим блеском, под микроскопом совершенно однороден. Твердость его значительная и приближается к твердости осмистого иридия, агатовую ступку царапает; удельный вес 20.

При сильном ударе зерна раскалываются, но не по спайкости, как осмистый иридий, а давая неправильный излом. При легком ударе зерна минерала немного сплющиваются, что показывает на ковкость. Кислоты и царская водка на них не действуют.

Кроме перечисленных элементов, найдены следы железа; палладия и платины не обнаружено.

Рентгенографический структурный анализ произведен Б. К. Бруновским. В отличие от осмистого иридия, имеющего гексагональную решетку осмия, решетка исследованного минерала кубическая (куб с центрированными гранями), чрезвычайно близкая по параметрам к решетке иридия.

Таким образом новый минерал является твердым раствором осмия, золота и рутения в иридии, с сохранением решетки иридия.

Так же, как самородная платина и осмистый иридий, новый минерал относится не к определенным химическим соединениям, а к веществам переменного состава.

Название нового минерала — осмиево-золотистый иридий, или, сокращенно, „ауросмирид“. Это название, по предложению проф. В. И. Крыжановского, было единодушно принято 29 июля 1934 г. на совещании по геохимии и минералогии под председательством акад. А. Е. Ферсмана в Ильменском заповеднике на Урале<sup>12</sup>.

Платиновые металлы существуют в природе не только в форме определенных минералов, но значительное их количество распространено в рассеянном состоянии. До последнего времени рассеянная платина и ее спутники не были предметами изучения, и только в последние годы

ТАБЛИЦА 4

(Состав нового минерала, навеска 0,1024 г)

Иридия . . .	0,0530 г	51,7%
Осмия . . . .	0,0262 "	25,5%
Рутения . . .	0,0036 "	3,5%
Золота . . . .	0,0198 "	19,3%
Сумма	0,1026 г	100,0%

И. и В. Ноддак и В. М. Гольдшмидт дали цифровой материал о рассеянных металлах платиновой группы<sup>13, 14</sup>.

Из анализов И. и В. Ноддак видно, что некоторые кислые породы, в том числе граниты, имеющие колоссальное распространение, содержат платиновые металлы, правда, в ничтожных количествах. Породы основного характера содержат платину и ее спутников в несколько больших количествах. При кристаллизации как основных, так и кислых пород в недрах земной коры, после выпадения в твердом состоянии главной массы вещества, образуются остаточные расплавы, растворы и газообразные продукты, которые проникают в окружающие породы и в толщу, застывшей ранее, наружной части интрузии и образуют различного рода отложения: пегматиты, сульфидные жилы и пр. Особенный интерес представляют для промышленности различного рода сульфиды в виде вкрапленности, магматических отложений, рудных жил, получающихся путем выделения сульфидов тяжелых металлов из газообразной среды или, чаще, из водных растворов.

При дифференциации основной магмы, как было уже сказано, платина попадает в наиболее тяжелые слои расплавленного силиката магния и выделяется из расплава в виде самородного металла. Однако такой случай возможен лишь тогда, когда количество сульфидов тяжелых металлов в исходном расплаве не велико и расслаивание сплава на слои расплавленных сульфидов и слои силикатов не происходит при температурах, выше температур кристаллизации платины.

Если же концентрация сульфидов в магме велика, то происходит расслоение расплава на два слоя: сульфидный и силикатный (при температурах около 1500°), и платиновые металлы, как халькофильные (склонные соединяться с серой), переходят в большей своей массе в сульфидный слой и застывают впоследствии с ним, давая при этом различные минералы и в значительной части оставаясь в рассеянном состоянии во всей толще сульфидов.

Такого рода платину- и палладийсодержащие сульфиды известны в Канаде (в Сюдбери), в Норвегии и в ряде других мест. Кроме платиновых металлов, эти сульфиды содержат также медь и никель и эксплуатируются как медноникелевые. Рассеянные платиновые металлы, не могущие быть рентабельно добываемы как таковые, являются побочным продуктом при добыче меди и никеля.

В СССР известно два крупных рудных района, где имеются месторождения медно-никелевых сульфидных руд, содержащих платину и палладий: Норильский (у устья Енисея) и Монче-Тундра (Кольский полуостров).



Нами были изучены многочисленные пробы обоих этих районов и определено содержание в них платины, палладия и других благородных металлов. На основании наших анализов ведутся экономические подсчеты. Работа по Монче-Тундре продолжается.

Интересное исследование было сделано нами при участии сотрудников обогатительного сектора Гинцветмета: были изучены на содержание платиновых металлов отдельные сульфидные минералы, составляющие норильскую руду: халькопирит, пирротин и пентландит. Оказалось, что платина связана, главным образом, с пирротинном и пентландитом, но не связана с халькопиритом.

Особый интерес представляют для нас сульфидные дифференциаты кислых пород. Аналогично тому, как при дифференциации основных магм платина скопляется в некоторых фациях расплава и в сульфидах, а главная масса интрузива обладает очень малым содержанием платины, так и в кислых массивах главная масса гранита содержит лишь следы платины, а в остаточных расплавах, эманациях и гидротермальных образованиях ее должно быть больше. Особенно любопытно было исследовать на содержание металлов платиновой группы сульфидные руды: медные, цинковые, свинцовые и полиметаллические, так как они перерабатываются, и в процессе металлургической переработки их даже малые количества платины могли бы быть использованы. Под моим руководством была предпринята работа по изучению сульфидных медных и полиметаллических руд СССР на содержание платины. Был собран материал с различных месторождений, который подвергнут анализу\*. Были исследованы руды 17 месторождений.

Материалами для наших анализов служили не средние пробы, а образцы руд. Поэтому на их основании нельзя делать каких-либо промышленных подсчетов.

С целью дать материал для таких подсчетов нами было произведено опробование на платину средних проб двух месторождений полиметаллических руд СССР. Результаты были сообщены заинтересованным организациям; для Аллавердского месторождения данные опробования опубликованы<sup>15</sup>.

Руды представляют собой сложные породы, образованные многими минералами. Поэтому, естественно, возникает вопрос, с какими из составляющих руду минералами ассоциируется платина. Нами были проделаны определения в 11 образчиках чистых минералов, выделенных под микро-

\* При участии сотрудников Государственного оптического института А. П. Филиппова, Ю. М. Толмачева и Н. В. Кременевского.

скопом из руды Шамлугского месторождения Аллавердского района \*. Результаты определений приводятся в табл. 5<sup>16</sup>.

Минералы, не содержащие тяжелых металлов, а также пирит не содержат платины; халькопирит только в одном случае содержал платину. Галенит во всех случаях содержал платину в количествах, больших, чем другие минералы. Сфалерит из шамлугской руды также содержит небольшое количество платины.

Нами был взят хороший образец сфалерита из руды Зангезурского района (Армения) из Шаумянского месторождения. Из этой же руды выделен галенит и пирит. Все три минерала проанализированы на платину и дали следующий результат:

Галенит из штуфа руды Шаумянского рудника . . . . .	5 мг/кг
Сфалерит из того же штуфа . . . . .	1,5 "
Пирит из того же штуфа . . . . .	0,5 "

Такое отношение платины к свинцу несколько неожиданно, так как предвидеть его на основании геохимических закономерностей распределения элементов по сходству атомных или ионных радиусов нельзя: атомный радиус свинца 1,74 Å, платины — 1,38 Å.

ТАБЛИЦА 5

Содержание платины в отдельных минералах, составляющих руду Шамлугского месторождения, в мг/кг

Галенит	с горизонта . . . . .	№ 8	1,0
"	" " . . . . .	№ 13	2,0
Сфалерит	" " . . . . .	№ 8	0,4
Пирит	" " . . . . .	№ 23	не обнаружено
"	" " . . . . .	№ 22	" "
"	" " . . . . .	№ 34	" "
Халькопирит	" " . . . . .	№ 23	" "
"	" " . . . . .	№ 44	" "
"	" " . . . . .	№ 43	1,0
Кварц	" " . . . . .	№ 13	не обнаружено
Гипс	" " . . . . .	№ 13	" "
"	" " . . . . .	№ 42	" "

Нельзя, однако, утверждать, что платина связана только со свинцом; уже цифры табл. 5 указывают на возможность ассоциации платины с другими минералами. Некоторые образцы руд Буронского месторождения (Северный Кавказ) содержали платину, но не содержали свинца.

Некоторые косвенные наблюдения в процессе обогащения

\* Работа по получению мономинеральных образцов производилась Н. Г. Кристиним и его помощниками.

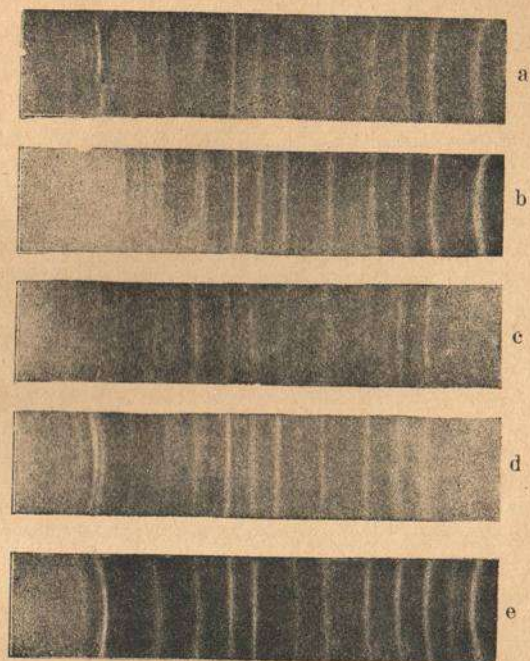


Рис. 1. Рентгенограммы по Дебай-Шереру осмистого придия: а) Невьянского, б) Сысертского, с) Миасского, д) Забайкальского и е) чистого осмия.

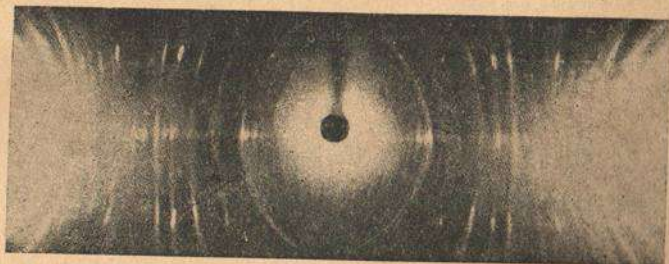


Рис. 2. Дебаеграмма осмистого придия по  $C$  — оси

полиметаллических руд по удельному весу и электромагнитным путем указывают, что платина в этих рудах находится в виде весьма мелких частичек какого-то соединения платины<sup>17</sup>. С целью окончательно объяснить связь платины с галенитом и другими минералами мною, совместно с Э. Л. Писаржевской, были поставлены опыты осаждения платины из растворов ее солей различными минералами: пиритом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом. Оказалось, что платина легче всего осаждается галенитом, затем идет сфалерит, халькопирит; пирит почти не осаждают платину. Реакция осаждения идет крайне медленно: при обычной комнатной температуре определенное нами количество платины при интенсивном размешивании раствора с мелким порошком минерала высаживается лишь через 1— $\frac{1}{2}$  мес. В результате реакции получается сульфид платины, а свинец из галенита, цинк из сфалерита переходят в раствор.

Эти опыты решают вопрос о причинах преимущественной ассоциации платины со свинцом, а также и случаи ассоциации ее с другими минералами. Ими решается также вопрос и о форме, в которой платина находится в сульфидах: она там — в виде сернистой платины.

Кроме того, эти опыты позволяют судить о времени выделения платины: можно думать, что осаждение платины в гидротермальных жилах происходило после осаждения главной массы сульфидных минералов, так как для ее осаждения необходимо было наличие осадителя.

Останавливая на этом изложение работ лаборатории по исследованию руд и геохимии платины и не давая изложения остальных исследований, я хочу указать на значение такого рода работ. Изучение геохимии отдельных элементов не кончается констатированием научных фактов и выводов тех или иных закономерностей. Оно имеет еще и иную цель: помочь овладеть природными богатствами. Нахождение платины в ряде сульфидных руд, которые перерабатываются или будут перерабатываться в огромных массах на наших металлургических гигантах, в масштабах, до сих пор еще невиданных у нас, заставляет задуматься над использованием таких составных частей руды, как рассеянная в них платина. Несмотря на весьма малое среднее содержание платины в исходных рудах, в некоторых случаях извлечение ее может стать рентабельным и дать некоторое количество благородного металла. Некоторые работы для обеспечения такой добычи уже нами проделаны. Горно-металлургическая промышленность СССР представляет еще широкое поле деятельности для применения на практике теоретических выводов геохимии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. П. Вагнер, Месторождения платины и рудники в Ю. Африке, Цветметиздат, 1932.
2. F. A. Vannister, *Mineral. Mag.* **23**, № 138, p. 188—205, 1932.
3. А. Н. Заварицкий, Коренные месторождения платины на Урале — Изд. Геолог. к-та Л., 1928.
4. Н. К. Высоцкий, Платина и районы ее добычи, Изд. Акад. наук, 1928—1933.
5. А. П. Карпинский, Известия Акад. наук, 1926, стр. 123, 170.
6. С. Ф. Жемчужный, Исследование структуры самородной платины, Материалы КЕПС. № 38, Изд. Акад. наук, 1920.
7. А. Г. Бетехтин, Платина, Ломоносовский институт Акад. наук СССР, 1935.
8. Б. Г. Карпов, Известия И-та по изучению платины и других благородных металлов Акад. наук, вып. 5, стр. 363, 1928.
9. Н. С. Курнаков и В. А. Немиллов, там же, вып. 8, стр. 5, 1931.
- В. А. Немиллов, там же вып. 7, стр. 1, 1929.
10. О. Е. Звягинцев, там же, вып. 9, стр. 31, 1932.
- О. Е. Звягинцев и Б. К. Бруновский, там же, вып. 9, стр. 49, 1932.
- О. Е. Звягинцев и Б. К. Бруновский, там же, вып. 12, стр. 5, 1935.
11. О. Е. Звягинцев, Доклады Акад. наук СССР, 1934, т. IV, № 3.
12. Труды Уральского филиала Академии наук СССР, вып. 4, 1935, стр. 19.
13. И. и В. Ноддак, *Zeitschs. phys. Ch. Bodenstein's Festband* 890, 1931.
14. V. Goldschmidt и Ch. Peters, *Nachr. ges. Wiss. göttingen Mat.—Phys. Kl.* 1932, 377.
15. О. Е. Звягинцев и А. Н. Филиппов, доклады Акад. наук, 1935, т. I, № 2—3, стр. 130.
16. О. Е. Звягинцев и А. Н. Филиппов, там же, 1935, т. I, № 23, стр. 136.
17. О. Е. Звягинцев, Геохимия платины, Химтеорет (печатается).