

В. В. ЩЕКИН

## АМАЛЬГАМАЦИЯ ПЛАТИНЫ, КАК ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Амальгамация, как металлургический процесс, дошла с глубокой древности до нашего времени почти в неизмененном виде и к тому же до сих пор остается мало теоретически изученной, несмотря на то, что имеет широкое применение в металлургии золота. В науке вопросы амальгамации представлены очень слабо. Имеется мало работ по изучению амальгам, как систем ртути с металлом. В последнее время проделаны работы, проливающие значительный свет на эти вопросы, но все же эти работы недостаточны для того, чтобы считать вопросы амальгамации всесторонне изученными.

В свете современных взглядов процесс амальгамации может быть изложен следующим образом. Амальгамация, как металлургический процесс, основана на способности металлов смачиваться ртутью без образования полных амальгам, причем масса смачиваемой частицы увеличивается и частица в таком виде приобретает способность к сцеплению с подобными частицами и к образованию суспензии в общей массе ртути. Благодаря таким условиям, облегчается отделение мелких частиц металла от измельченной массы материнской горной породы простейшими способами гидравлической классификации.

Смачивание, как возникновение молекулярных сил сцепления, находится в прямой зависимости от растворимости. Из положения, что все металлы могут давать амальгамы, т. е. растворы в ртути, следует, что все металлы могут смачиваться ртутью. Однако, большинство металлов в нормальных условиях смачиванию не поддаются. Причина: наличие коррозийного фильма на поверхности металла, который на большинстве металлов образуется в очень короткое время под влиянием кислорода воздуха. Воздействия реактива, растворяющего окислы с поверхности данного металла, часто достаточно для того, чтобы поверхность оказалась активной к смачиванию ртутью, если она одновременно не подвергается действию воздуха или других окислителей. Примеры: кусок натрия, плавающий на сухой ртути, достаточно смочить несколькими каплями воды, чтобы вызвать бурное растворение в ртути; цинк и медь быстро амальгамируются в присутствии слабых растворов серной и соляной кислот, свинец — в уксусной кислоте и т. д.

В отношении группы благородных металлов — золота, серебра, платины — принято было думать, что они не образуют в воздухе устойчивых

окислов, а следовательно, не имеют коррозийного слоя. Такое понимание хорошо увязывалось с представлением об амальгамации золота и серебра, но оказалось совершенно противоречивым в отношении чистой платины, так как последняя амальгамации не поддается. Тогда с большой осторожностью было сделано допущение о наличии на ней инертного фильма. Правильное представление о состоянии поверхностей золота и серебра получено лишь благодаря работе Таммана и Аритца (1,2), с большой простотой и ясностью доказавших наличие фильма и на этих металлах. Согласно этой работе, капля ртути на поверхности серебряной и золотой пластины смачивает их в месте контакта и по периферии распространяется, приподнимая слой окисла. Следовательно, золото и серебро, подобно всем остальным металлам, имеют на поверхности коррозийный фильм. Смачиваемость ртутью этих металлов объясняется диффузией ртути через коррозийный фильм, плотность которого допускает эту диффузию, в то время как у большинства металлов, благодаря высокой плотности коррозийного слоя, диффузия ртути через слой окисла невозможна. После этого уже с большей долей достоверности можно говорить о наличии плотного фильма на платине, делающего платину неспособной к амальгамации в нормальных условиях.

В металлургическом процессе немалую роль играет и коррозия ртути. Правда, на жидкой ртути коррозийный слой легко сдвигается при трении, но на амальгамированных улавливающих поверхностях он имеет решающее значение, в особенности если он усиливается окислами легко окисляющихся амальгам, всегда присутствующих в процессе.

Таким образом, вопросы амальгамации являются вопросами теории поверхностных явлений по борьбе и предупреждению коррозии.

### ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР АМАЛЬГАМАЦИИ ПЛАТИНЫ АКТИВНЫМИ АМАЛЬГАМАМИ

Платина совершенно не амальгамируется в обычных условиях. Механическая и химическая очистка поверхности не приводит к амальгамированию. Свежеразрезанная в воздухе платиновая проволока, опущенная в ртуть, не смачивается. Но ломая хрупкую углеродистую проволоку под ртутью, мы неизменно получаем полное смачивание поверхностей излома. Платина прекрасно смачивается при погружении в жидкую амальгаму натрия. Хорошо смачивает платину избыточная ртуть цинковой амальгамы и амальгамированного железа в кислых растворах.

Причины несмачиваемости платины в нормальных условиях, очевидно, общего характера, т. е. наличие плотного коррозийного фильма, образующегося на воздухе почти мгновенно.

Научно-исследовательской лабораторией Уралзолото при Аффинажном заводе в Свердловске произведен за период 1931—1935 гг. ряд работ по изучению известных промышленных способов амальгамации платины активными амальгамами. Работы дали ряд интересных наблюдений, в значительной степени освещавших процесс амальгамации платины в этих условиях.

Первую установку промышленного способа амальгамации платины дал Цахерт в 1918 г. (3). Предлагалось извлечение платины производить, вводя в пульпу порошкообразную цинковую амальгаму, серную кислоту, раствор сульфата меди и пропускать пульпу по амальгамированному шлюзу. В 1929 г. Прентис и Мурдок (4) делают сообщение об освоении этого метода в Южной Африке в применении к извлечению платины из концентратов дунитовых руд. Амальгамация ведется в агитационной бочке, куда вместе с рудой и водой вводится ртуть, цинковая амальгама, серная кислота и сульфат меди. Сообщив данные о высокой эффективности способа, авторы выражают сомнение в целесообразности введения сульфата меди и предполагают ограничиться медью, имеющейся в руде. В 1931 г. мы работали над освоением второго более сложного метода, предложенного Энцлин-Эклондом (5). Авторы предлагают пропускать по железному шлюзу, на который нанесена цинковая амальгама, рудную пульпу со сложным раствором хлоридов цинка, ртути, натрия, соляной кислоты и хлора.

После ряда опытов, исследуя значение каждого из предлагаемых реагентов, нам удалось установить, что покрывая сотрясающийся шлюз мостикообразной цинковой амальгамой и употребляя для образования рудной пульпы только дециномальный раствор соляной или серной кислоты, можно обеспечить извлечение платины из шлиха порядка 95—99%, т. е. практически максимально возможное извлечение (6). Работа повторена в полузаводском масштабе, результаты лабораторной работы подтвердились (7). Эта работа дала нам возможность обобщить и упростить способы Цахерта и Энцлин-Эклонда, а также и заглянуть в сущность процесса.

Если рекомендованные активаторы оказались недостаточно ценными, то, очевидно, основную роль играет реакция цинк — кислый раствор. Если же искать определенного активатора, то таким, очевидно, является водород в момент выделения (*in statu nascendi*), уничтожающий пассивную пленку окислов и восстанавливающий их до металла.

В следующей работе мы пытались более детально изучить этот вопрос (8). Опыты по влиянию сухого водорода на амальгамацию платины дали отрицательные результаты. Длительное пропускание над платиновой пластиной даже нагретого водорода не вызвало смачивания ее ртутью.

Наблюдения в микроскоп за поведением зерна шлиховой платины, положенного на цинковую амальгаму в кислотном растворе, дали следующее: зерно платины через короткое время контакта начинает испускать в отдельных точках бурные потоки мелких пузырьков водорода иного характера, чем крупные пузырьки, медленно нарастающие на цинковой амальгаме. В то же время в контакте зерна с амальгамой начинает медленно нарастать крупный газовый пузырек. Он приподнимает зерно и нарушает контакт. Потоки мелких пузырьков прекращаются, но вновь возобновляются после ликвидации большого пузырька и возобновления контакта.

Эти периоды нарушения и возобновления контакта продолжаются в прямой зависимости от состояния поверхности зерна и крепости раствора

кислоты. Настает момент, когда нарушений контакта больше не наблюдается, т. е. потоки мелких пузырьков не прерываются. При поворачивании зерна стороной контакта вверх обнаруживается, что выступающие точки зерна покрыты ртутью. В дальнейшем ртуть медленно распространяется по всей поверхности зерна. Употребленная нами цинковая амальгама представляла агрегат кристаллов, обильно смоченных ртутью, и погружения зерна в ртуть не могло происходить. Длительность периода от контакта зерна с амальгамой до прочного его прилипания в покойном состоянии выражается следующим образом: в децинормальном растворе серной кислоты зерна различных месторождений с ненарушенной природной поверхностью прилипали в 1—4 минуты, зерна, протертые в ступке, — в 1—2 минуты, поскольку это можно уловить в условиях опыта; на шлюзе прилипание происходит в более короткое время; в сантинормальном растворе кислоты подготовительный период значительно длительнее.

Аналогично с зернами шлиховой платины ведут себя и зерна осмистого иридия, но здесь длительность подготовительного периода находится в большей зависимости от состояния природной поверхности. Нарушение природной поверхности растиранием дает наибольший эффект.

Опыты были повторены с заменой кислотного раствора раствором едкого натра. Здесь, в условиях образования цинката натрия, полностью повторяются все явления, наблюдаемые в кислотном растворе, но в условиях одинаковой концентрации раствора протекают значительно более вяло.

В кислом растворе сульфата меди зерно платины на цинковой амальгаме быстро покрывается фильмом меди. Полное смачивание зерна значительно ускоряется. Зерно, положенное рядом, но не в контакте с амальгамой, как в кислоте, так и в кислом растворе сульфата меди, совершенно не обнаруживает каких-либо изменений, и длительность подготовительного периода при перенесении на амальгаму не изменяется.

Произведены аналогичные наблюдения над зернами платины, положенными на омедненное цементацией и амальгамированное железо, в децинормальном растворе серной кислоты. Установлено, что и здесь повторяются все явления, наблюдаемые на цинковой амальгаме, но протекают значительно более вяло. Опытами было установлено, что для получения той же эффективности извлечения амальгамированным железом, как и цинковой амальгамой, требуется употреблять растворы серной кислоты порядка десятинормального, т. е. увеличить концентрацию кислоты в 100 раз. Прибавление сульфата меди немедленно вызывает отложение медного фильма на платине, при условии контакта с железом. Процесс извлечения значительно улучшается. В децинормальном растворе серной кислоты требуется концентрация сульфата меди порядка 2—3% для получения того же эффекта извлечения, что и цинковой амальгамой в отсутствии сульфата меди.

Амальгама натрия как сухая, так и погруженная в воду, схватывает платину почти в момент прикосновения. Зерно платины, выделяя бурные потоки мелких пузырьков водорода, медленно погружается в жидкую амальгаму. На месте погружения остается грязное пятно, остатки корки

загрязнений; пятно еще длительное время выделяет потоки мелких пузырьков водорода. Аналогия в действии сухой амальгамы и амальгамы в воде объясняется тем обстоятельством, что в воздухе не существует сухой амальгамы натрия. Она всегда покрыта кристаллами едкого натра, плавающими в насыщенном растворе под влиянием влаги, получаемой из воздуха.

Все эти наблюдения не оставляют сомнения, что зерно платины, находясь на влажной амальгаме натрия, цинковой амальгаме и амальгамированном железе в кислом растворе, является катодом электропары платина — натрий, платина — цинк, платина — железо. На платине-катоде разряжаются ионы водорода и, образовав молекулу газа, выделяются в виде пузырьков. На платине также разряжаются ионы меди и отлагается медь. Интенсивность электролитического процесса находится в зависимости от разности потенциалов пары и плотности тока, или в наших условиях, от положения второго металла электропары в ряде напряжений металлов и интенсивности реакции. Эти положения мы наблюдали, сравнивая эффективность натриевой, цинковой и железной амальгам и повышение интенсивности при повышении концентрации кислоты.

Принимая такую установку для хода процесса амальгамации платины, следует признать, что активные амальгамы не исчерпываются испытанными. Высокой активностью будут обладать амальгамы всех металлов, лежащих выше железа в ряде напряжений. К сожалению, свойства этих амальгам нам пока мало известны.

Ввиду того, что все наши работы были чисто прикладного характера, наши наблюдения носят несколько предварительный характер. Так обстоит дело и с изучением самого процесса смачивания платины ртутью. В этом отношении были выдвинуты два правдоподобных предложения: 1) под влиянием возникающих на поверхности платины молекул водорода, меди и пр. оксидный фильм на платине восстанавливается до металла, и чистая поверхность становится способной к смачиванию; 2) предположение проф. Н. Н. Барабошкина: коррозийный фильм пробивается и разрывается током, возникающим в месте контакта микрогальванических элементов, чем открываются пути для диффузии ртути, распространяющейся дальше под фильмом коррозии.

### АМАЛЬГАМАЦИЯ ПЛАТИНЫ ПОД ТОКОМ ВНЕШНЕЙ ЦЕПИ

Выходы об электролитическом характере амальгамации платины активными амальгамами дали возможность поставить ряд опытов для наблюдения над поведением зерен природной платины и осмистого иридия на ртутном катоде, т. е. под током внешней цепи (8).

Капля ртути помещалась в маленькую чашечку, образованную на конце дугообразно изогнутой стеклянной трубки, через которую проходил платиновый провод внешней цепи. На ртуть помещалось влажное зерно платины, и чашечка погружалась в электролит, в положение,

удобное для наблюдения в бинокулярную лупу. Анодом служила платиновая лента. Ток от аккумулятора напряж. в 3.5 V. Плотность тока порядка 1 A на 1 см<sup>2</sup>.

В электролите (децинормальный раствор серной кислоты) полностью повторяются все явления, наблюдаемые на зерне платины, находящемся на цинковой амальгаме в том же электролите. Зерно выделяет потоки мелких пузырьков водорода. В контакте зерна с ртутью образуется крупный пузыrek газа, приподнимающий зерно и нарушающий контакт. Эти явления перемежаются, до тех пор пока зерно не схватится с ртутью настолько прочно, что контакт не может быть нарушен. Далее ртуть распространяется по всей поверхности зерна, и оно медленно погружается в ртуть. В месте погружения еще продолжают выделяться потоки мелких пузырьков. Процесс идет более интенсивно, чем на цинковой амальгаме, ввиду высокой плотности тока. В сантинормальном растворе серной кислоты явления протекают менее интенсивно.

В сантинормальном растворе едкого натра зерно платины испускает потоки мелких пузырьков, но крупных пузырьков в контакте не образуется, и контакт не нарушается. Процесс идет интенсивнее, чем в кислотном электролите при той же концентрации ионов и плотности тока. Интенсивность процесса нарастает некоторое время после включения тока, и он продолжается, постепенно замирая, после выключения тока. Процесс напоминает амальгамацию натриевой амальгамой, которая, несомненно, здесь образуется и участвует в процессе.

Все сказанное об едком натре повторяется и в случае хлористого калия и, несомненно, должно быть распространено вообще на соли щелочных металлов.

В растворе сульфата меди зерно быстро покрывается фильмом меди и смачивается ртутью. Зерна осмистого ирида также безотказно смачиваются на ртутном катоде, но подготовительный период более продолжителен, и предварительная механическая очистка поверхности имеет большое значение для ускорения смачивания.

Этой работой мы получили подтверждение выводов об электролитическом характере амальгамации платины. Получили основные предпосылки и установки для практического осуществления амальгамации платины, как электролитического процесса, и получили достаточно данных о высокой эффективности такой постановки процесса.

### АМАЛЬГАМАЦИЯ УПОРНОГО ЗОЛОТА

Известно, что золото руд и россыпей не всегда свободно смачивается ртутью. Известно также, что существуют виды золота, совершенно не смачиваемого ртутью. Мы располагали образцом одного из типов подобного золота — зернами «ржавого» золота. По внешнему виду эти зёрма, имеющие слабый красновато-бурый оттенок, почти не отличались от обыч-

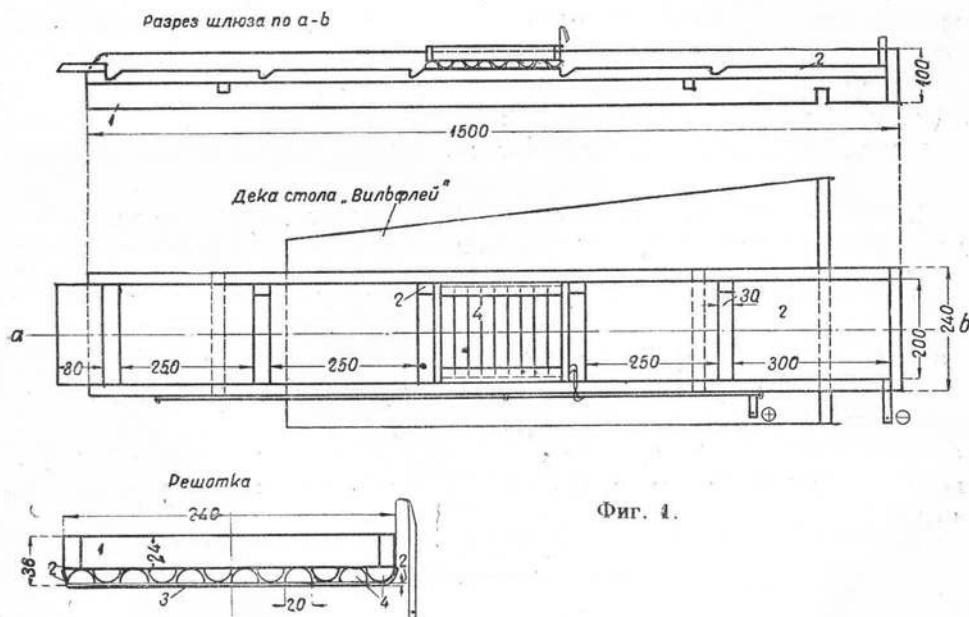
ногого шлихового золота. В кавернах зерен — включения цвета лимонита. Чистой ртутью зерна совершенно не смачивались.

Зерна ржавого золота, положенные на цинковую амальгаму в кислотном растворе, а также на ртутный катод в кислотном и солевом электролите, немедленно прилипают к ртути, испускают бурные потоки водорода и быстро смачиваются ртутью по всей поверхности. Совершенно также в аналогичных условиях ведут себя и зерна нормального шлихового золота. Никакого различия в поведении глаз не улавливает.

Процесс смачивания ржавого золота идет хорошо и быстро, и можно предполагать, что для активных амальгам и электролитической амальгамации не существует упорного золота. Амальгамацию золота на активных амальгамах также следует рассматривать как процесс, идущий под влиянием электролиза.

### ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ АМАЛЬГАМАЦИЯ ПЛАТИНЫ И ЗОЛОТА, КАК ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПРОЦЕСС

Опыты электролитической амальгамации платины и золота были поставлены нами в более широком лабораторном масштабе в непосредственном



Фиг. 4.

применении к рудам и продуктам их обработки (9). К этому времени были уже известны по иностранной литературе приборы, применявшиеся для подобной же электролитической амальгамации: Найтингеля — сотрясающийся шлоз (10) и Зегера — центробежный амальгаматор (11).

Для испытания нами был выбран прибор типа Найтингеля (сотрясающийся шлоз). Подобный же прибор был нами применен при изучении способа Энцлин-Эклюнд в 1931 г. в полузаводской установке, для

извлечения платины из шлихов цинковой амальгамой в 1932 г. Для этих работ он был наиболее рациональным прибором (6—7).

В сравнении с предложенной Найтингелем мы значительно изменили конструкцию оборудования шлюза. Анод Найтингеля в виде сплошного медного листа, перекрывающего шлюз, нами выполнен в виде решеток из угольных стержней. В промышленном приборе совершенно нежелательно применение растворимого металлического анода, так как это вызовет перенос металла анода на катод, образование амальгам этого металла и, как следствие, связывание всей свободной ртути. Вместе с тем сплошной анод вызовет образование газовых скоплений, которые изолируют отдельные участки анода. В интересах удобства наблюдения был построен следующий прибор (фиг. 1). Шлюз длиной в 1.5 м и шириной в 0.2 м разделен канавками на 5 секций, покрытых медными амальгамированными листами. Листы соединены между собой медными лентами, а гибким проводом — с аккумулятором. Секции шлюза покрыты анодными решетками, состоящими из деревянных рамок с прикрепленными к ним медной лентой, угольными электродами, разрезанными по оси. Решетки соединены между собой общим проводом и аккумулятором и лежат на катодном листе, опираясь на резиновую ленту толщиной 2 мм. На первой секции нет решетки. Она служит приемником и распределителем пульпы. Шлюз укреплен на дэке лабораторного стола Вильфлея по ее длине с уклоном 0.025 и механизмом стола приводится в движение вместе с дэкой.

Опыты велись в децинормальном растворе хлористого натрия. Плотность пульпы  $\text{Ж} : \text{T} = 6 : 1$  до  $12 : 1$ .

Опыты дали следующие результаты:

1. Материалы, содержащие металлы в относительно крупных, легко отсаживающихся зернах.

1) Шлихи, содержащие платину в количестве 97.5 г/т и золото 90.6 г/т. При плотности тока  $30 \text{ A/m}^2$  и напряжении 3.7 V извлечено: платины 75.6% и золота 98.8%. При повторном (2—3 раза) возвращении пульпы на шлюз извлечение платины повысилось до 88% при том же извлечении золота.

При плотности тока  $112.5—125 \text{ A/m}^2$  и напряжении 8 V извлечено: платины 98.7% и золота 98.0%. Зафиксировано расположение металлов по шлюзу при плотности тока  $30 \text{ A/m}^2$ . Металлы расположились следующим образом:

Секция шлюза	Платины		Золота	
	мг	%	мг	%
Секция 1-я	нет	—	37.86	54.1
» 2-я	0.64	4.3	31.80	45.43
» 3-я	0.69	4.7	0.05	0.07
» 4-я	6.67	45.5	нет	—
» 5-я	6.67	45.5	0.28	0.40
	14.67	100	69.99	100

Металлы сняты со шлюза не полностью, но расположение характерно. Еще раз подтверждается, что для подготовки платины требуется некоторое время, которое тем меньше, чем выше плотность тока.

2) Исходный материал — штуф руды «Золотая гора», Карабаш с «видимым» золотом.

Золотосодержащая порода — диопсид-хлорит. Золото, удовлетворительно амальгамирующееся. Проба Шервуда, т. е. двухчасовая агитация со ртутью, дает извлечение порядка 69%, 3-метровый обычный шлюз — 42—46%.

При плотности тока  $42.5 \text{ A/m}^2$  и напряжении 3.7 В мы получили извлечение 93.7% на шлюзе 1.5 м.

## 2. Тонко дисперсное и трудно амальгамирующееся золото

1) Исходный материал — ил минус 200 меш и песок минус 100 меш железной шляпы Белореченского рудника.

Из неклассифицированного материала проба Шервуда дает извлечение порядка 12%, шлюз — не выше 5%.

При плотности тока —  $40 \text{ A/m}^2$  и напряжении в 8 В из ила извлечено 12.7%; из песка извлечено 18.0%.

2) Пиритные огарки Полевского завода — тонкое дробление. Плотность тока —  $57 \text{ A/m}^2$ , напряжение — 3.8; извлечено золота 14.3%.

3) Сульфидная руда окисленной зоны Благодатного рудника Березовского района.

Проба Шервуда дает извлечение порядка 45—51%. Обычный шлюз — 34%. При плотности тока  $50 \text{ A/m}^2$  и напряжении 3.7 вольт получено извлечение золота 48%.

В сериях опытов 3, 4 и 5 обнаруживается характерное явление. Поверхность катодных листов шлюза после схода пульпы оказывается покрытой тонким, легко снимающимся налетом цвета руды — красный налет от железной шляпы, черный от огарков, бурый и золотистый — от сульфидной руды. Прилипают частицы золота, еще не освободившиеся от материнской породы.

Несомненно, что трудности извлечения не свободного золота, т. е. не освобожденного из материнской породы путем амальгамации, не устраняются применением электролитической амальгамации.

Предпосылки же для максимально высокого извлечения свободного золота, в том числе и тонко дисперсного или взвешенного, очень широки. Золото и платина, прида в контакт с ртутным катодом, освобождаются от коррозии и случайных загрязнений.

Поверхность ртути в этих условиях свободна от какой-либо коррозии. В условиях непрерывного образования амальгамы натрия скорость смачивания в наших опытах очень высока.

Для улавливания взвешенного золота шлюз — недостаточно рациональный прибор. Следует создать простой прибор, максимально обеспечивающий контакт взвешенного золота с катодом.

Тем не менее, мы на шлюзе получили во всех случаях повышенное извлечение, которое достигается только при пробе Шервуда и которое принято считать за максимально возможное.

Мы считаем, что повышенное извлечение получено за счет не амальгамирующегося золота и той части взвешенного золота, которое имело возможность касаться катода.

Весь цикл описанных работ лаборатории приводит к заключению, что при задании получить максимальное извлечение платины и золота из руд и продуктов их обработки путем амальгамации процесс амальгамации следует строить как электролитический процесс. Работой даны основные принципы такого построения процесса. Для практического применения необходимо детализировать процесс в применении к свойствам каждого вида обрабатываемой руды, а также нужно найти рациональный состав электролита, экономичную плотность тока и выбрать рациональную конструкцию прибора.

Поступило в редакцию 12 октября 1935 г.

Свердловск, научно-исследовательская лаборатория треста Уралзолото при Гос. аффинажном заводе

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тамтампни. Аргент. Die Ausbreitung von Quecksilbertropfen auf metallischen Oberflächen. Ztschr. anorg. und allg. Chemie, 192, Heft I (1930).
2. Барашкин Н. Н. Сущность амальгамации платины. Доклад областному съезду НИТО цветников, 1935.
3. Zacherl V. N. The Mining and Scientific Press, 12/10, 1918.
4. Прентиси Мурдок. J. of Chem. Met. Min. South. Africa, XXIX, 157—176; XXX, 143—144 (1929).
5. Энцлин и Эклюнд. Журн. Цветные металлы № 5, 1930. Перевод И. Н. Плаксина.
6. Щекин В. В. Сводный отчет по изучению метода Энцлина и Энклунда, 1931 г. НИЛ Уралзолото.
7. Щекин В. В. Установление процесса извлечения платины путем амальгамации на обогатительной фабрике Тагильск. комбината. Отчет по теме, 207, 1932, Уралгинцветмет.
8. Щекин В. В., Изучение явлений амальгамации самородных золота и платины. Отчет по теме 167, 1933, Уралгинцветмет.
9. Щекин В. В. Электролитическая амальгамация платины и золота. Отчет по теме, 14, 1934, НИЛ Уралзолото.
10. Nightingall. Metall und Erz, 8, 157 (1932) и реферат «Электролитическая амальгамация», За овладение техникой в цветной и зототплатиновой промышленности, № 9, 1932 г.
11. Thager. Engin and Mining Journal Press, декабрь 1932 и реферат «Электролитический центробежный амальгаматор», Цветные металлы, № 4, 1933.