

Александр
ДЕВОЧКИН

АФФИНАЖ НА РОССИЙСКИХ МОНЕТНЫХ ДВОРАХ

В этой статье Александр Николаевич ДЕВОЧКИН подробно описывает методы разделения золота и серебра, применявшиеся на российских монетных дворах с начала XVIII в. Автор установил даты начала применения способов аффинажа, не совсем корректно обозначенные в литературе или не рассмотренные вообще. Начало применения разделения золота и серебра азотной кислотой с использованием деревянных снарядов вместо метода Шлаттера отнесено к 1819 г., тогда как законодательно переход на мокрый метод был оформлен только в 1825 г. Разделение золота и серебра концентрированной серной кислотой по способу д'Арсе начато на Санкт-Петербургском монетном дворе в 1829 г. (Великий князь Георгий Михайлович и другие указывали 1838 г.). Устройство электролизной лаборатории для аффинажа золота и серебра было произведено в 1908–1910 гг. Рафинирование золота электролизом по способу Вольвилля началось в феврале 1910 г. Рассмотрены способы аффинажа платины до и после ее обретения на Урале.

ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОВ АФФИНАЖА

Аффинаж (фр. *affinage*, от *affiner* – очищать) или **рафинирование** (нем. *raffinieren* от фр. *raffiner* – совершенствовать, очищать) – получение высокочистых благородных металлов путем отделения от них загрязняющих примесей. Аффинаж включает в себя ряд стадий очистки, среди которых преобладают методы концентрирования, химической обработки, пирометаллургического и электролитического рафинирования.

Разделение золота и серебра является частным случаем аффинажа, однако исторически сложилось, что в Российской империи с начала XVIII в. это название закрепилось за аффинажными операциями, лабораториями и конторами. Очевидно, это связано с тем фактом, что первое отечественное золото было извлечено из нерчинского серебра в начале XVIII в. и продолжительное время основным источником золота в России оставалось золотистое серебро Кольвано-Воскресенских и Нерчинского заводов.

Изучение методов аффинажа, присущих определенному периоду, имеет значение не только для истории развития науки и техники. Каждый способ аффинажа имеет свои определенные возможности по достижению степени чистоты металла. Современные физико-химические методы анализа позволяют с высокой точностью определять химические примеси в составе сплавов благородных металлов и могут оказать существенную помощь в определении подлинности монет и медалей или их правильной датировке.

В трудах по аффинажу и гидрометаллургии благородных металлов (О. Е. Звягинцев, И. Н. Плаксин, Л. В. Чугаев и др.) методы, применявшиеся ранее, упоминаются вскользь или рассматриваются недостаточно полно. Это связано с ограниченным применением кислотных методов на аффинажных заводах в настоящее время. Способы, применяемые ювелирными предприятиями, переработчиками вторичных драгоценных металлов и самодельными аффинерами для очистки небольшого количества драгоценных металлов (от десятков граммов до нескольких килограммов), имеют отличия в составе исходного сырья, схемах переработ-

ки и аппаратном оформлении от рассматриваемых исторических методов аффинажа.

В качестве источников информации по методам разделения золота и серебра, применявшимся в XVIII–XX вв., использовались труды президента Берг-коллегии, главного судьи (директора) Монетной канцелярии, директора Санкт-Петербургского монетного двора И. А. Шлаттера, президента Берг-коллегии А. А. Нартова, сотрудников Санкт-Петербургского монетного двора В. И. Данилова, Бонячевского, начальников Санкт-Петербургского монетного двора Н. П. Фоллендорфа, А. Г. Редько. История обретения российской платины на Урале и методы ее аффинажа в Соединенной лаборатории Департамента горных и соляных дел и Горного корпуса и на Санкт-Петербургском монетном дворе были рассмотрены по работам Н. Р. Мамышева, П. Г. Соболевского, А. Кеммерера, Кованько 1-го, К. К. Клауса.

Законодательные акты приведены в соответствии с «Полным Собранием Законов Российской Империи». В тех случаях, когда было невозможно ознакомиться с оригинальными текстами, правительственные распоряжения, документы Сената, Берг-коллегии, Горного департамента, Департамента горных и соляных дел, Министерства финансов и др. рассматривались по трудам Великого князя Георгия Михайловича.

В описаниях методов аффинажа указаны только основные схемы и этапы. Подробно ознакомиться со способами, их вариантами и аппаратным оформлением можно по источникам, приведенным в списке литературы. Для облегчения работы с книгами XVIII в. по тексту приводятся старые (выделены кур-

сивом), тривиальные, современные названия и химические формулы веществ.

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И ОПРОБОВАНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО XVIII В.

Золото и серебро наряду с медью были первыми металлами, использовавшимися человеком. Этому способствовало наличие медных, золотых и серебряных самородков в природе. Сначала для производства бытовых предметов, ювелирных украшений и первых монет использовалось неочищенное золото и природный сплав золота и серебра электрон (электрум) [1]. Невозможно точно определить времена начала очистки золота от примесей, но в древних египетских текстах XX династии (1200–1090 гг. до н.э.) содержатся сведения о двукратной и трехкратной его очистке, а в источниках 1090–945 гг. до н.э. упоминается высокопробное золото. В библиотеке ассирийского царя Ашшурбанипала (VII век до н.э.) имелась рукопись, содержащая гимн богу огня Гибиллю: «О, Гибиль, ты расплавляешь медь и свинец, ты очищаешь золото и серебро...» Об испытании огнем говорится и в Ветхом Завете, в Книге пророка Захария 13:9: «И введу эту третью часть в огонь, и расплавию их, как плавят серебро, и очищу их, как очищают золото: они будут призывать имя Мое, и Я услышу их и скажу: «это Мой народ», и они скажут: «Господь – Бог мой!»

Диодор Сицилийский (I в. н.э.) цитировал описанный Агатархидом (II в. до н.э.) процесс рафинирования золота в Древнем Египте. Золото нагревали в горшках из глины и костяной золы в присутствии



Золотой дарик. 420–375 гг. до н.э. [4]

свинца, олова (?), соли и ячменных отрубей [2]. В античном мире были известны методы получения серебра из черного свинца, очистка золота и серебра купелированием, извлечение золота из руд амальгамацией, огневое золочение и серебрение. Существовали методы дифференциации чистого золота и его сплавов с другими металлами (Архимед, 287–212 гг. до н.э.), применялся пробирный камень для классификации различных сплавов [3, с.14–18]. До сих пор лучшим пробирным камнем считается лидийский кремнистый сланец.

Считается, что первые монеты были отчеканены из электрона в Лидийском царстве в VII в. до н.э., а из чистого золота – во время правления царя Креза (ок. 561–547 гг. до н.э.). Во время правления Дария I (522–486 гг. до н.э.) началась чеканка в огромном количестве дариков (dareikos) – монет из золота около 990-й пробы и массой 8,3–8,4 г [4]. Такой довольно высокой чистоты металла можно достигнуть, только применяя самые развитые для своего времени технологические решения, базирующиеся на научных знаниях.

Алхимия появилась в Египте на рубеже II и III вв. н.э. Основная идея внешней алхимии – трансмутация металлов и, прежде всего, получение золота из неблагородных металлов. Возникновение алхимии совпало с закатом и распадом Западной Римской империи, упадком экономики и торговли, гонениями на науку, уничтожением библиотек. Период алхимии длился более тысячи лет, до XVI–XVII вв., когда произошло определение химии как науки и самостоятельной дисциплины после ряда научных открытий, оживления других естественных наук и развития промышленности, требующей практических знаний. Необходимо отметить значительный вклад в развитие прикладной химии, сделанный алхимиками. Весьма точно были определены удельные веса многих веществ и описаны основные известные металлы, драгоценные камни и минералы [5]. Были открыты цинк, висмут, кобальт, разработаны способы получения серной, азотной, соляной кислот и царской водки, щелочей, изучено взаимодействие кислот с металлами, исследовались процессы, происходящие в растворах, совершенствовалась лабораторная и пирометаллургическая аппаратура. Джабир

ибн Хайян (Гебер) в своем труде «Итог совершенства магистерия» писал: «Золото. Металлическое вещество лимонно-желтого цвета. Очень тяжелое, ковкое, устойчивое при испытании прокаливанием и сжиганием с углем. Растворяется, давая красный раствор и обновляя свою поверхность; легко сплавляется со свинцом и ртутью. Связать его со спиртом очень и очень трудно; большой секрет этого искусства ускользает из памяти тех, кто трудно сообщает».

В начале XV в. азотную кислоту стали использовать для разделения золота и серебра в достаточно крупных масштабах. Было установлено, что разделение происходит более эффективно, если соотношение золота к серебру составляет 1:3, что отразилось в его названии – *квартование*. Этот метод применялся и для определения пробы золота. В XVI в. *квартование* применялось повсеместно в Европе. Парацельс отмечал, что серебро из раствора после разделения можно выделить медной проволокой, а медь – железом. Была усовершенствована методика испытания на пробирном камне. Для более точного определения пробы стали использовать серию из 24 игл с шагом в 1 карат. В книге Ванноччо Бирингуччо (1480–1539) «Пиротехния», изданной в Венеции в 1540 г., отмечается способность сурьмы отделять от золота серебро и медь в расплаве [3, с.25–27].

Начавшаяся в Венеции в 1284 г. чеканка дукатов из золота 986-й пробы и массой около 3,5 г на долгие годы задала стандарт для высокопробной монеты. Большинство стран Европы в течение семи веков чеканили дукаты по этому стандарту. Как инвестиционные монеты дукаты чеканятся в Нидерландах и Австрии и в настоящее время.



Дукат дожа Антонио Венье. Венеция, 1382–1400 гг.

В XVII в. Иоганн Рудольф Глаубер (1604–1668) разработал способ получения чистых и концентрированных азотной и соляной кислот. Его именем позже назвали сульфат натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – глауберова соль), получившийся в качестве побочного продукта в результате реакции серной кислоты и поваренной соли при синтезе соляной кислоты [6, с.26–27].

Накопленные к XVIII в. знания составили фундамент современной химии, минералогии, методов рафинирования металлов и пробирного анализа.

СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА МОСКОВСКОМ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ МОНЕТНЫХ ДВОРАХ С НАЧАЛА XVII В.

В XVII в. в России были развиты металлургия, производство оружия, селитры, пороха, поташа, каменной соли, стекла, бумаги, осуществлялась чеканка серебряной и, периодически, золотой монеты. Большие традиции были у русского ювелирного искусства. Изделия из серебра клеймились в Серебряной палате, а в 1700 г. была учреждена Пробирная палатка при Оружейной палате и началось клеймение золотых изделий [7, с.4–6].

Отличительная особенность развития химии в России – отсутствие алхимического периода, т.к. правительство и духовенство следили за тем, чтобы идеи, чуждые православии, не проникали в страну. Сочинения мистического характера, астрологии и алхимии имели ограниченное распространение, но при этом в штате Аптекарского приказа постоянно числились 2–3 алхимиста, были хорошо известны труды по прикладной химии В. Би-

рингуччо «Пиротехния» (1540 г.), Г. Агриколы «12 книг о металлах» (1556 г.), И.Р. Глаубера «Новые философские печи» (1650 г.) и др. От алхимии старались брать только все самое полезное и применимое в практике. Показательно отношение к алхимии Петра I по цитате А.К. Нартова: «Я ни мало не хую алхимиста, ищущего превращать металлы в золото, механика, старающегося сыскать вечное движение, и математика, помогающего узнать долготу мест, для того, что, изыскивая чрезвычайно, внезапно изобретает многие полезные вещи. Такого рода людей должно одобрить, а не презирать, как то многие противное сему чинят, называя такие упражнения бреднями». Окончательное становление химии как науки произошло после учреждения Петербургской Академии наук в 1724 г. и начала работы в ней М.В. Ломоносова (1742 г.).

На протяжении двух веков, с начала XVIII в., все операции по разделению золота и серебра, а также их очистке были сосредоточены на Московском (до 1752 г. – в части разделения золота и серебра, 1763 г. – рафинирования золота, 1776 г. – серебра) и Санкт-Петербургском (с 1748 г.) монетных дворах.

Начало разделению золота и серебра было положено минцмейстером Иваном Мокеевым в 1718 г., сумевшим успешно выделить золото, содержащееся в количестве около 1%, в нерчинском золотистом серебре [8, с.12–13]. Разделение проводилось т.н. **мокрым способом** с помощью **крепкой водки** (азотной кислоты – HNO_3) [9, ч.1, с.44–56; 10, ч.2, с.82–104].

Первоначально исходный сплав очищали от примесей (медь, олово, свинец, висмут и др.) купелированием со свинцом [10, ч.2, с.66]. Очищенный от примесей сплав золотистого серебра проковывали в тонкие пластины и разрезали на мелкие кусочки. Разделение основывалось на избирательном растворении серебра и немногих оставшихся в сплаве примесей азотной кислотой. Золото оставалось в нерастворимом осадке на дне стеклянных колб, в которых велось разделение. Порошок после отделения раствора нитрата серебра обрабатывался еще несколько раз концентрированной



Медаль в память заключения Ништадтского мира со Швецией 30 августа 1721 г. Золото, 60 мм. Наградные солдатские медали имели отличие в надписи на оборотной стороне – «...СИЯ ИЗ СЕРЕБРА ДОМАШНЕГО МЕДАЛИЯ...» [11]

и разбавленной азотной кислотой, тщательно промывался горячей водой и осторожно высушивался. Полученное золото не требовало дальнейшей перерешетки и после сплавления с бурой в качестве флюса выходило 94–95% пробы¹. Серебро из раствора осаждалось медью или железом и после промывки сплавлялось в слитки 94–95-й пробы. Полнота осаждения серебра проверялась раствором поваренной соли (NaCl).

Азотная кислота получалась при нагреве селитры (KNO_3) и железного купороса ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) [10, ч.2, с.74–79] или действием купоросного масла (серной кислоты – H_2SO_4) на селитру [6, с.26–27]. Железный купорос перед процессом подвергался кальцированию – удалению связанной с сульфатом железа воды [10, ч.2, с.38]. Азотную кислоту перед употреблением очищали от ионов хлора, приливая к ней раствор нитрата серебра (ляпис, «адский камень») с последующим отделением кислоты от выпавшего в осадок хлорида серебра. От качества азотной кислоты напрямую зависит величина *засады* – не отделенного от золота серебра по окончании процесса его очистки или пробирного анализа. Каждая партия кислоты проверяется на засаду проведением анализа сплава максимально чистого золота с чистым серебром. Определенная по разности масс исходного и полученного золота величина *засады* учитывается в последующих расчетах при использовании данной партии кислоты.

При разделении **серебристого золота** (если стоимость сере-

бра превышала стоимость золота в сплаве, то такой сплав назывался **золотистым серебром**, если стоимость золота была выше – **серебристым золотом**) делали предварительный анализ для определения пробы сплава и рассчитывали количество серебра, которое необходимо добавить к сплаву для достижения соотношения золото–серебро 1:3. Дальше *квартованный сплав* разделяли по вышеописанному способу.

Золото с небольшим содержанием серебра очищалось через **золотую крепкую водку** или **акварегис** (Aqua Regis, Aqua Regia, A. R. – царская водка, смесь 1 части азотной кислоты и 3 частей соляной кислоты). При отсутствии соляной кислоты царская водка готовилась растворением в 1 фунте крепкой водки 24 золотников нашатыря (NH_4Cl) или поваренной соли [10, ч.2, с.79–80]. Золотой порошок, гранулированный или тонко раскованный и разрезанный на мелкие кусочки сплав, растворяется в царской водке. Золото и примеси при растворении переходят в раствор, а серебро остается в осадке в виде хлорида серебра. Присутствие более 5% серебра в сплаве сильно замедляет процесс растворения вследствие образования плотной корки AgCl на поверхности металла. После полного растворения металла раствор упаривают до консистенции сиропа, добавляют соляную кислоту для удаления остатков азотной кислоты, охлаждают и многократно разбавляют для полного осаждения AgCl . После фильтрования раствор поступает на осаждение золота. В качестве лучшего восстановителя настоятельно рекомендо-

¹ Золотниковая система проб соответствует количеству золотников (4,266 г) драгоценного металла в 1 фунте (96 золотниках) пробирного сплава. Золотник пробирного разноресения делится на части – %, %, %, %, %. Ниже % доли золотника в пробе золота и серебра в счет не принимается. В обычном пудовом разноресении золотник делится на 96 долей.



Червонец 1712 г., отчеканенный из очищенного «продувкой через антимонию» китайского «коробчатого» золота [68]

валось использовать купорос [9, ч.1, с.25–29] или *ртути (I) – Hg₂(NO₃)₂* [10, ч.2, с.66–68]. Рассматривались и такие восстановители, как железные опилки и поташ, *масло из соли винного камня* (тартаровая или винная кислота – HOOC–CH(OH)–CH(OH)–COOH), *летучая щелочная соль* (нашатырный спирт – NH₄OH). При добавлении гидроксида аммония к раствору хлорного золота нужно было быть осторожным, т.к. образуется гремучее или «громовое» золото Au(NH₃)₃(OH)₃, взрывоопасное в сухом виде. Следует заметить, что железный купорос применяется и в настоящее время наряду с иными восстановителями. Золото тщательно промывают, осторожно высушивают и сплавляют с флюсами. Хлорид серебра восстанавливают до металла железом, цинком в сернокислом растворе или сплавляют с содой.

При правильном и тщательном выполнении всех операций данным методом можно получить практически чистое золото. Процесс требовал очень большой аккуратности при проведении работ, не обладал высокой производительностью, обходился дороже других способов и поэтому применялся редко.

Не совсем чистое, *кропкое* (хрупкое), загрязненное посторонними примесями или «бледное», т.е. с большим количеством серебра в лигатуре золота, самородки и шливовое золото очищались через *антимонию* (сурьмяный блеск, сульфид сурьмы – Sb₂S₃) [9, ч.1, с.16–25; 10, ч.2, с.59–65]. Очищаемый металл, желательно не ниже 64-й пробы, сплавляли с сульфидом сурьмы, серебро и примеси в виде сернистых соединений переходили в шлак, а внизу тигля собирался комок сплава золота и сурьмы. После выливания расплава в коническую из-

ложницу – гипсугель, сплав золота и сурьмы очищали от шлака, перекладывали в чистый тигель, снова расплавляли и удаляли сурьму продувкой воздухом или селитрой. Проба золота могла быть доведена до 95½ [22, с.61]. Получение более чистого золота требовало двух-, трехкратного сплавления и продувки, что увеличивало количество золота, перешедшего в шлак. Многократной очисткой приготавливали эталонное золото для пробирного анализа. При очистке золота ниже 32-й пробы для первой сплавки к 1 фунту антимонии требовалось добавить 24 золотника серы [9, ч.1, с.23].

Для обработки шлака и выделения из него серебра и золота готовился специальный флюс: винный камень – 60 золотников (з.), селитра – 30 з., гласгал – 12 з., железные опилки – 18 з., соль – 6 з. Компоненты флюса смешивались, прожигались и после охлаждения измельчались. Растворенный флюс смешивался со шлаком, расплавлялся и выдерживался до выгорания и образования металлического королька [9, ч.1, с.24–25].

В XVIII в. это был основной способ рафинирования сплавов с боль-

шим содержанием золота. Из золота, очищенного через антимонию, были отчеканены червонцы 1712 г. [12, с.25], червонцы 1752, 1753 г. [13], проводилось выделение серебра, содержащегося в лигатуре двухрублевых червонных 75-й пробы прежнего чекана с 1756 г. [14, с.168].

Повышение пробы сплава *цементацией* отличается от предыдущего способа тем, что обрабатываемый металл не сплавляется, а нагревается в герметично закрытом горшке в специально приготовленном составе, вытягивающем в себя примеси и часть золота. Примерный состав цемента: кирпичная пыль – 48 з., соль – 24 з., купорос – 12 з., селитра – 6 з. перемешивается и смачивается уриной или уксусом. Монеты, медали, нарезанные бляшки золота размером с гривенник укладываются в горшок слоями с цементом. Нагревание длится 12 часов и за первый цикл обработки обычно получался сплав золота 93-й пробы. При необходимости получения золота более высокой пробы процесс повторялся в течение 24 часов. Золото сплавлялось с бурой после тщательной промывки. Серебро и золото из цемента извлекались свинцом и лигатурой (глетом) [9, ч.1, с.29–33; 10, ч.2, с.55–59]. Важно было умение правильно определить состав цемента в зависимости от пробы и состава исходного сплава и конечной цели процесса (достижения необходимой пробы) для минимизации извлечения золота в цемент.

В XVIII в. цементация уже практически не применялась. Однако в 1797 г., вследствие большой срочности заказа и, по-видимому, нецелесообразности применения в данный момент других методов, для чеканки российских червонцев 94½ пробы, наряду с уже очищен-

ым, было использовано золото 1007¾ голландских червонцев 94-й пробы после цементирования. Сохранилась обширная переписка по этому поводу [15, с.7–10].

В 40-х годах XVIII в. значительно увеличилось количество золотистого серебра, поставляемого с Нерчинского и Колывано-Воскресенских заводов. Разделение золота и серебра «мокрым» способом с помощью азотной кислоты стало доставлять неудобства вследствие невысокой производительности процесса. В 1746 г. в Санкт-Петербурге началось строительство специальной лаборатории [14, с.46], в которой с 1748 г. разделение золота и серебра производилось по сухому способу, предложенному И.А. Шлаттером. «*Метода Шлаттера*» быстро показала преимущество в скорости и стоимости процесса. Уже в 1752 г. все операции по разделению золота и серебра были прекращены в Москве «за великим убытком» и сосредоточены в Санкт-Петербурге [16].

Через год после смерти президента Берг-коллегии и главного судьи (директора) Монетной канцелярии И.А. Шлаттера для упорядочения отчетности, устранения недостатков и улучшения производства в 1769 г. была учреждена Особая контора при лаборатории Берг-коллегии для разделения золота и серебра [17].

Выбор способа разделения в основном зависел от содержания золота в серебре. Считалось, что «...то, золото богато содержащее серебро, которое в фунте больше шести золотников содержит, мокрым, а убогое серебро пробою на золото от шести золотников до шестины золотника сухим способом разделить удобнее» [10, ч.2, с.81].

На первом этапе разделения по способу Шлаттера гранулиро-

ванное золотистое серебро смешивали и нагревали с серой без доступа воздуха для перевода серебра в сульфид Ag₂S. На 1 фунт металла закладывали 24 золотника серы. Затем расплавляли сульфид серебра и вводили в качестве коллектора золота металлическое золотистое серебро, не прошедшее обработку серой. Осаживание золота на дно тигля проводили в три приема. Полученные металлические комок отделили от сульфида серебра и проверяли наличие золота в последнем. Если в сульфиде серебра еще содержалось золото, то его снова расплавляли и добавляли небольшое количество чистого железа. Восстановленное железом серебро вбирало в себя оставшееся золото. Колombs от первых и вторых отсадок сплавлялись вместе, и весь процесс повторялся заново. Такими операциями золото, содержащееся в 100 пудах исходного серебра, концентрировалось в 15 пудах сплава [10, ч.2, с.104–111; 18, ч.3, т.9, с.431–434]. Этот обогащенный золотом сплав поступал на разделение золота и серебра азотной кислотой. Серебро из расплава его сульфида восстанавливалось эквивалентным количеством чистого железа и очищалось на гнездах. Принцип работы гнезда и капели идентичен. Гнезда использовались для очистки купелированием большого количества металла. Чугунный сосуд с отверстием на дне, железное кольцо или керамическая чашка очень плотно набивались слегка смоченной, предварительно выщелоченной, молотой костяной и белой древесной золой. В полученной массе вырезалось и укатывалось шаром углубление в виде полусферы. Рабочая поверхность гнезда покрывалась клером – пережженным еще раз пеплом из костей животных и очень тонко размолотым. После

просушки и осторожного прокаливания гнездо было готово к работе.

Железный шлак, содержащий некоторое количество серебра, перерабатывался вместе с лабораторными сорами. Как видим, данный способ разделения золота и серебра сочетал в себе и сухой, и мокрый способы, поэтому весь процесс лучше называть комбинированным способом Шлаттера.

Принятие в 1812 г. закона, разрешившего всем российским поданным разведку и разработку золотых и серебряных руд [19], привело к значительному увеличению добычи россыпного и рудного золота на Урале, а с 1828 г. – в Западной и Восточной Сибири. Россия вышла на первое место в мире по добыче золота и удерживала первенство до открытия золота в Калифорнии в 1848 г.

Ваффинажном производстве начали сказываться такие недостатки метода Шлаттера, как чувствительный угар металлов при проведении пирометаллургических операций, большой расход древесного угля, серы, свинца, железных и графитовых тиглей, а большая часть работ представляет собой только подготовку к разделению металлов. После опытов, сначала в малом количестве, а потом и с большой массой металлов, было решено в 1825 г. использовать для разделения мокрый способ [20]. Важной причиной перехода на «мокрый» метод, по нашему мнению, стало значительное изменение соотношения количества золотистого серебра, рудного и россыпного золота в пользу последних. Разумным видится использование золотистого серебра после опробования и купеляции для квартования шлихового золота, позволяющее совместить процессы разделения.

Опытные разделения начались в 1819 г., сопровождались поиском новых решений и в полной мере оправдали все предположения. Главным затруднением и неудобством было растворение металла азотной кислотой в стеклянных колбах. Работа со стеклом всегда подвержена риску его растрескивания. Кроме потери драгоценных металлов, опасности подвергается здоровье работников от воздействия паров азотной кислоты и оксидов азота. Сотрудник Монетного двора Власов нашел оригинальное решение – заменить стекло деревом. Первым был успешный опыт растворения предварительно рас-



Червонец 1797 г. [68]



10 рублей 1755 г. [68]



5 рублей 1825 г. [68]

каленного золотистого серебра в деревянной кадке, заполненной азотной кислотой и снабженной тремя последовательно установленными водными ловителями отходящих газов. Вскоре были изготовлены две одинаковые линии, состоящие из одного растворительного чана со специально устроенной решеткой из брусьев на дне для удобного размещения слитков (снаряда) и четырех ловителей, соединенных деревянными трубами. На одной установке растворяли предварительно раскаленный металл, на второй – холодный, причем золотистое серебро загружалось в таком виде, в каком поступало с заводов, т.е. в штыках, без придания удобной для растворения формы и предварительной очистки на гнездах. Холодное растворение проходило успешно, т.к. выделявшегося при реакции тепла хватало с избытком для ведения процесса. Пришлось даже заменить деревянные трубы на керамические для предохранения от возгорания.

Введение деревянных емкостей дало следующие преимущества: металл перерабатывался в штыках, разовая загрузка – 30 пудов, с периодическим добавлением слитков по мере растворения – 150 пудов, устранялись пирометаллургические операции, зафиксированы меньшие потери металлов, двух линий оказалось достаточно для разделения всего передела – 1500 пудов. Главный недостаток холодного растворения: черновое золото было загрязнено кроме обычной серебряной засады частицами не полностью растворившегося золотистого серебра и примесями, ранее удаляемыми на гнездах. После долгих экспериментов был определен лучший способ – обработка черного золота в горячей серной кислоте, по-

зволнивший после сплавления получить золото 95½ пробы [21].

Для осаждения серебра из азотнокислых растворов применялась медь, в т.ч. сплавленная в штыки сибирская монета для попутного извлечения содержащегося в ней серебра [21, т.3, с.82]. Таким образом, содержащееся в сибирской монете незначительное количество золота оказывалось в серебряном осадке и отдельно не выделялось.

С 1824 г. применялась и более сложная схема разделения золота и серебра [22]:

- 1) холодное растворение золотистого серебра в деревянных снарядках;
- 2) промывка и прокаливание черного золота;
- 3) квартование черного, кропкого и серебристого золота с золотистым серебром для окончательного отделения серебра;
- 4) растворение в азотной кислоте в колбах, промывка золота;
- 5) очищение золота серной кислотой в фарфоровых чашах и колбах;



5 рублей 1832 года «В память начала чеканки из золота Кольвано-Воскресенских приисков». Министр финансов Е.Ф. Канкрин приказал разделить и переделать отдельно от прочего поступившие в том году 5 пудов 3 фунта колыванского золота. 20 фунтов были отложены для изготовления медалей [25, с.41-42, 45]

- 6) промывка, прокаливание и сплавление золота;
- 7) осаждение серебра из азотнокислых и сернокислых растворов медью;
- 8) промывка, просушивание и сплавление серебра;
- 9) получение краски медянки, селитры и медного купороса.

В 1825 г. магазин Санкт-Петербургского монетного двора продавал краску медянку по цене 60 рублей за пуд [21, т.3, с.89].

Французский химик Жан-Пьер-Жозеф д'Арсе в 1802 г. предложил способ разделения золота и серебра концентрированной серной кислотой. Метод имел некоторые ограничения по концентрации примесей в исходном сплаве, но был существенно экономичней, не требовал дорогостоящей аппаратуры и позволял получать золото хорошего качества [23, с.62–64]. Во Франции золото, аффинированное по способу д'Арсе, за его чистоту и мягкость называли «королевским».

По предложению П.Г. Соболевского в 1829 г. на Санкт-Петербургском монетном дворе был введен способ д'Арсе. Первые эксперименты велись в отсутствие технической документации и без должного понимания всех тонкостей процесса. Проблемы решались по мере их возникновения. Основное неудобство заключалось в большой медлительности. Для растворения квартованного золота применялись платиновые реторты, вмещающие 3½ пуда металла и 4 пуда концентрированной серной кислоты. Растворение продолжалось ровно 24 часа. Отсутствовало предварительное очищение золотистого серебра от свинца

и других примесей, вследствие чего черновое золото требовало до 4 дополнительных очисток [24, с.80]. В 1831 году при круглосуточной работе на имеющихся 10 платиновых ретортах месячный выход золота составлял 80 пудов. При получении реторт увеличенного размера планировалось довести выход до 100 пудов в месяц [25, с.38].

В 1838 г. был заключен контракт с французской фирмой Поасса (Пуасса) о введении на Санкт-Петербургском монетном дворе усовершенствованного способа разделения золота и серебра и золота из серебряной монеты старого чекана [25, с.71, 72–73]. Пуасса был владельцем аффинажного предприятия в Париже, имел большой опыт работы, хорошо знал химию. По его проекту была переоборудована лаборатория по разделению золота и серебра в свободных помещениях Монетного двора, чтобы избежать остановки производства в процессе перестройки. Устройство новой лаборатории было закончено 15 марта 1839 года. После ее запуска годовое задание лаборатории, около 2500 пудов золота и серебра, спокойно перерабатывалось при работе в одну смену.

Разделение золота и серебра серной кислотой по способу д'Арсе складывается из следующих операций [25, с.333–334]:

- 1) приготовление тонкого слитка или гранул легированием в соотношениях, отвечающих дальнейшему процессу разделения;
- 2) растворение слитка или гранул в серной кислоте;
- 3) обработка нерастворимого осадка для получения чистого золота;

4) восстановление серебра из растворов сернокислой соли.

При разваривании квартованного металла из котлов выделяется большое количество газов и паров (SO_2 , H_2SO_4). Для улавливания паров серной кислоты на пути отходящих газов устанавливались свинцовые камеры-холодильники, или скрубберы.

На Санкт-Петербургском монетном дворе квартование осуществляли не в тиглях, как на других монетных дворах, а в отражательной печи на набойке из золы. Гнездовая отражательная печь была придумана вскоре после отъезда Пуасса из Санкт-Петербурга. Набойка менялась 2–3 раза в год (при квартовании сильно загрязненного примесями металла набойка выдерживала 6–10 сплавов), в дальнейшем использовалась в качестве флюса при плавке солов. В то время как тигли, стоявшие 20–25 рублей, выдерживали максимум 20 плавов, могли треснуть и при первой, а потом тяжело перерабатывались плавкой на веркблей. Загрузка в печь составляла 24–40 пудов, тогда как в тигель – до 6 пудов. Плавка на набойке позволяла очищать металл от примесей свинца, мышьяка, сурьмы, железа и висмута. Примеси частью шлаковались с флюсами (песок, бура, селитра), частью улетучивались в золу набойки [26, с.5–12]. Содержание меди в квартуемом металле не должно превышать 7,5%, свинца – 0,25%. Сернокислая медь мало растворима в концентрированной серной кислоте, свинец в концентрации до 0,25% облегчает растворение меди, а при содержании

более 0,25% замедляет процесс вследствие образования нерастворимого сульфата свинца. Гранулирование проводили выливанием расплавленного металла в воду. Разливку осуществляли железными ковшами, обмазанными глиной.

Растворение квартованного металла производилось в чугунных кубках. Чугунные кубы вмещали от 4 до 12 пудов металла и все, требуемое для его растворения, количество серной кислоты. Крышки котлов были снабжены двумя отверстиями, одно для отвода газа и паров кислоты, другое – для периодического перемешивания раствора и металла железным ломом. На растворение 1 весовой части серебра расходовалось 3 части серной кислоты. Вначале заливали не более половины от требуемого количества кислоты, т.к. реакция шла бурно, оставшееся количество доливали порциями. Длительность растворения 6–12 часов, отстаивания – 3–4 часа.

Отстоявшийся раствор сливали в свинцовые емкости, на ⅓ заполненные холодной водой. Для отделения частиц золота и растворения выделившихся кристаллов сернокислого серебра раствор нагревали до легкого кипения, перемешивая деревянными веслами. Далее раствор сифонами переносился в осадочную емкость, где серебро из его сернокислой соли восстанавливалось медью. Для осаждения серебра использовалась чистая медь, в т.ч. полосы после вырубки монетных кружков. В 1840-х гг. продолжилась практика использования сибирских монет для восстановления серебра с попутным извлечением серебра из них. Сибирские мо-

Виды, количество и источники поступивших в разделение металлов в 1839 г.

Вид и источник сырья	Количество, пуд.	Золото, золотников в фунте	Серебро, золотников в фунте
Серебристое золото Уральских заводов	до 350	87	8
Серебристое золото Алтайских заводов	св. 350	82-87	8-13
Золото разное, в т.ч. поступающее через пробирную палатку	до 10	75	10-15
Кропкое золото	до 1	70-80	
Золотистое серебро Кольвано-Воскресенских заводов	1000	2½	87½
Золотистое серебро Нерчинских заводов	до 250	⅓	92
Серебро разное, в т.ч. поступающее через пробирную палатку	до 400	⅓-2	65-90
Серебристая медь в сибирской монете	соразмерно поступившему серебру	не опр.	32 з.38 д.в пуде

неты перед использованием стали плющить до толщины серебряного гривенника и скручивать в спираль для увеличения поверхности соприкосновения с раствором сернистого серебра [24, с.68–69].

Раствор медного купороса, после проверки полноты осаждения серебра солью, переносился в осветительные ящики для осаждения просочившихся частиц серебра, после чего поступал на кристаллизацию. Для получения крупных и чистых кристаллов медного купороса их подвергали перекристаллизации. Монетный двор был заинтересован в получении качественного медного купороса, т.к. средства от его продажи поступали в «красочные суммы». Эти деньги оставались с Монетного двора и употреблялись на разрешение министра финансов «на улучшение монетных производств, на опыты и новые предприятия, на пособие чинам Монетного двора и другие по оному расходу» [28, п. 41].

Серебро, после тщательной промывки на фильтре, протирки через медное решето и сушки в печи сплавлялось в тигле с флюсами. Расплавленное серебро выливалось в чугунные изложницы. Средняя проба серебра, полученного таким методом, составляла 995–998.

Золото, полученное в нерастворимом остатке после разваривания серной кислотой квартованного металла, оставалось на дне кубов в виде порошка, перемешанного с кристаллами сернистого серебра и частью нерастворившегося металлического серебра. Для перечистки такого золота его кипятили в очистительных чугунных кубах, заменивших платиновые реторты в 1850 г., со свежей концентрированной серной кислотой. Лаборатория разделения золота и серебра, перестроенная в 1873–1874 г., была оснащена самым совершенным на то время оборудованием, в том числе механическими поворотными кубами для перечистки золота, устранявшими распространение паров серной кислоты [27, с.82]. Кислота после перечистки поступала на растворение квартованного металла. Золото промывали в глиняных чашках холодной и горячей водой, промытое золото поступало на вторичное разваривание и промывку. Для получения высокопробного золота эти операции повторяли несколько раз. Промытое

золото высушивали и прокаливали в отражательных печах на глиняных поддонах, а затем плавил в графитовых тиглях с добавлением буры, селитры, соды. Золото, очищенное этим способом, обычно достигало 996–998-й пробы, а трижды перечищенное – 999-й пробы².

В XIX веке в Российской империи высокопробным считалось золото и серебро 94-й пробы и выше, но никак не ниже [28, п.96]. По пробе мерных слитков, изготавливаемых на Санкт-Петербургском монетном дворе, можно заметить, как изменялись требования к чистоте металла. В марте 1825 года император Александр I утвердил образцовую форму золотых слитков весом в 10 фунтов на случай их продажи за границу. На слитке, содержащем 9 фунтов 76 золотников чистого золота, должны были накладываться клейма, обозначающие №, М. Д. (Монетный двор), год, вес и пробу 94/96 [29, с.69–70].

В 1881 году для золотопромышленников, желающих получить из Санкт-Петербургского монетного двора золото в слитках, а не в полуимпериялах, были установлены формы слитков достоинством в тысячу и десять тысяч рублей. На слитки накладывались следующие клейма: начальные буквы имени пробирера, проба, год и номер слитка по порядку года, вес и достоинство слитка; сверх того со всех сторон – государственный герб. Слитки предписывалось выпускать с содержанием не более $\frac{1}{3}$ золотника лигатуры в фунте золота, т.е. не ниже 996,5-й пробы [30]. Всего в 1883–1889 гг. было изготовлено таких слитков на сумму 1 883 000 рублей [31, т. 2, приложение к 4-й главе, с. 15–16]. Эти слитки полностью соответствуют по пробе золота современному стандарту London good delivery, где чистота металла должна быть не ниже 995 долей химически чистого золота на 1000 долей лигатурной массы [32].

Из серебра 990-й пробы в 1881 г. изготавливались аффинажные слитки массой в 24 доли, 1 золотник, 3 золотника и 10 золотников. Этими слитками производился расчет с золотопромышленниками за серебро, содержащееся в золоте, вместо серебряной монеты.

Электролитические методы аффинажа серебряных и золотых сплавов относятся к двум группам:

- 1) электролиз в азотнокислом электролите, применяемом для серебряных сплавов, содержащих золото;
- 2) электролиз в солянокислом электролите, применяемом для золотых сплавов, содержащих серебро.

Первые попытки электролитического рафинирования серебра были осуществлены в 70-х годах XIX в. немецким электрохимиком Северо-Германского аффинажного общества Эмилем Вольвиллем (Dr. Emil Wohlwill; 1835–1912), применившим горячие растворы Ag_2SO_4 в серной кислоте. В 80-х годах XIX в. Мёбиус предложил для этой цели азотнокислые растворы нитрата серебра $AgNO_3$. Такой электролит применяется и в настоящее время.

В качестве анода выступает рафинируемый серебряный сплав. Содержание серебра в аноде должно быть не менее 75%, золото в количестве до 20% не мешает проведению процесса. Плотность тока выбирают в зависимости от состава и концентрации примесей. Серебро, медь, другие благородные металлы при электрохимическом растворении анода переходят в раствор, золото полностью, платина и палладий частично выпадают в шлам. Для сбора шлама и недопущения загрязнения катодного осадка серебра аноды помещают в чехлы. Серебро осаждается на катоде в виде кристаллов, которые периодически извлекаются из ванны. Анодный шлам очищают от серебра, меди, платины, палладия и др. металлов поочередной обработкой азотной кислотой, раствором хлорной извести и концентрированной соляной кислотой. Нерастворимый остаток направляют в плавку золотых анодов для электролитического рафинирования золота [33, с.315–327].

Практическое применение электролитического рафинирования золота началось после появления работ Э. Вольвилля в 1874 г. Аффинаж золота проводился в электролите, состоящем из раствора хлорного золота и соляной кислоты. Аноды отличались из очищаемого сплава, катоды – из тонко прокатанного и рифленого чистого золота. Процесс протекал при постоянном токе. При содержании серебра в сплаве свыше 5% процесс расстраивался вследствие образования плотной корки хлорида серебра на поверхности анода.



10 рублей 1911 г.

В 1908 г. Э. Вольвилль усовершенствовал процесс, названный его именем, применив наложение переменного тока на постоянный при более высоком напряжении переменного тока. В результате такого наложения получается асимметричный ток с неконгруэнтными периодами положительного и отрицательного знака, что позволяет вести процесс со сплавами, содержащими до 18% серебра. При анодной поляризации происходит растворение металла и образование хлорида серебра, а при катодной – $AgCl$ теряет сцепление с анодом и оседает на дно ванны.

Методы электролитического аффинажа серебра и золота вариативны. С их особенностями можно

подробно ознакомиться в литературе [23, с.69–95; 26, с.334–349; 33, с. 315–338; 34, с. 236–253]. Эти методы наиболее совершенны, позволяют получать металлы высокой чистоты при попутном извлечении металлов платиновой группы. Проба серебра и золота в очищенных металлах обычно составляет 999,5–999,9.

На Санкт-Петербургском монетном дворе первые опыты по электролитическому разделению серебряного золота были проведены Каменским в 1893–1894 гг. Эти пробы не привели к желаемому результату и за недостатком места и средств для их дальнейшего продолжения оставлены. После командировки горного инженера

Залемана в Гамбург для ознакомления с процессом Вольвилля в 1897 г. стало очевидным, что внедрение данного способа требует длительных и тщательных опытов, а предлагавшийся к приобретению патент на очистку золота электролизом был близок к способу Каменского. В небольшом масштабе в Екатеринбургской золотосплавочной лаборатории электролитическое рафинирование проводил Л.Г. Романов, предложивший свои услуги Санкт-Петербургскому монетному двору по внедрению способа. Его предложение было отклонено в 1906 г. вследствие недостаточной отлаженности технологии, требующей дальнейшего вложения средств для ее отработки, и требования Романова выплаты личного вознаграждения из будущих доходов казны. Общая теория способа Вольвилля была хорошо известна, и работники Монетного двора могли самостоятельно справиться с такой задачей. Оставался без ответа вопрос о сроках и средствах, необходимых для опытов. Вызывало беспокойство и отсутствие необходимого оборудования и приспособлений.

Управляющий лабораторией барон П.В. Клебек в 1906 г. был командирован для детального ознакомления со способом Вольвилля и определения всех возможных за-

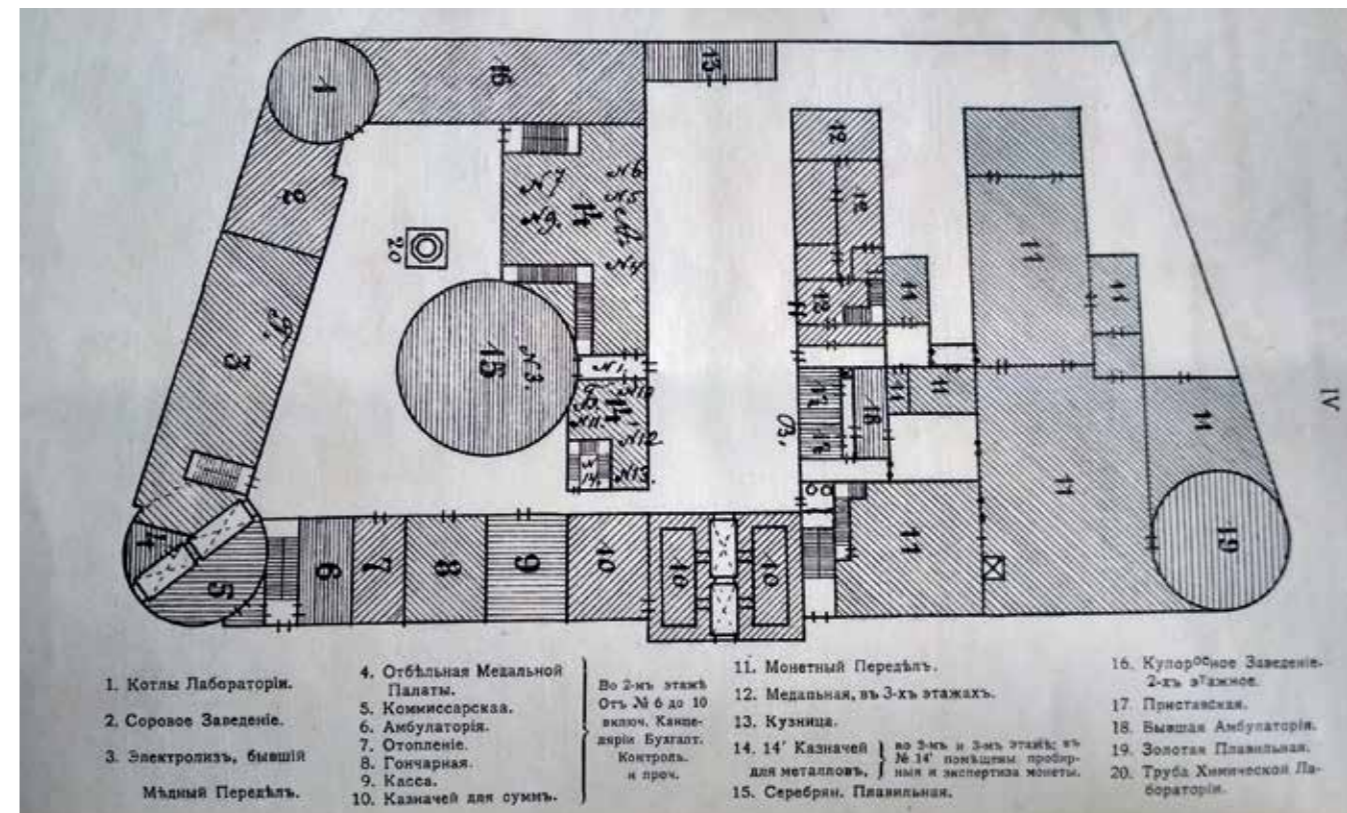


Схема Санкт-Петербургского монетного двора в 1911 г. [35]

² Метрическая система проб (количество весовых частей драгоценного металла на 1000 весовых частей пробируемого сплава) была введена для внутреннего учета согласно п. 56 временного «Положения о С.-Петербургском монетном дворе» 1845 г. и п. 58 «Положения о С.-Петербургском монетном дворе» 1850 г. параллельно с узаконенной золотниковой системой проб. В п. 16 «Правил о С.-Петербургском монетном дворе» 1885 г. предписывалось производство проб уже исключительно на пробирной разновес десятичного деления. «Правила о монетной системе» 1885 г. и «Устав монетный» 1899 г. устанавливали пробу золотых и серебряных монет в метрической системе. Для опробования и клеймения ювелирных изделий золотниковая система проб применялась до 1927 г.

трат на его внедрение. В 1907 г. начались переговоры с управлением Северо-Германского аффинажного общества об условиях установки способа Вольвилля на Монетном дворе. Контракт между Санкт-Петербургским монетным двором и Обществом на поставку устройств для электролитического разделения серебристого золота был заключен 4 (17) июня 1907 г. [35].

Работы по устройству новой электрической лаборатории начались с выделением из них средств в 1908 г. Медный передел приспособлялся для электролитического рафинирования по способу Вольвилля. Были установлены электрическая станция, паровые котлы и подогреватели, проведены паропровод, трубопровод и водяное отопление [36]. Приборы, относящиеся к электролизу, поставлялись Северо-Германским аффинажным обществом в 1909–1910 гг. [37]. Акт о полном выполнении условий контракта был составлен 9 апреля 1910 г. [35].

С начала работы электролитической лаборатории в феврале 1910 г. аффинаж золота производился с применением асимметричного тока. Сотрудникам Монетного двора приказывалось способ производства по способу Вольвилля хранить в строжайшем секрете.

Как уже отмечалось, все операции по разделению золота и серебра, а также их очистке в Российской империи были сосредоточены на монетных дворах. С 1 января 1902 г. на предприятия (за некоторыми исключениями), добывающие золото или платину, было распространено положение о промысловом налоге. Предприятия, перешедшие на уплату государственного промыслового налога и налога на чистую прибыль, освобождались от уплаты горной подати [38]. Одновременно по отношению к золоту, освобожденному от уплаты горной подати, отменялось обязательное представление в казенные золотосплавочные лаборатории. Золотосплавочные лаборатории должны были сплавлять и опробовать золото, составлять расчеты и на основании этих расчетов выдавать золотопромышленникам именные, со сроком оплаты через 6 месяцев после выдачи, ассигновки с указанием ближайшего учреждения Государственного банка и Казначейства. Слитки из золотосплавочных лабораторий отправлялись на Санкт-Петербургский

монетный двор для аффинажа. Золотопромышленники теперь могли добровольно предоставлять шлиховое золото в казенные лаборатории для сплавления и опробования с правом получать его обратно в слитках (неаффинированных) или требовать за него ассигновок. В дополнение к уже существующим казенным золотосплавочным лабораториям в Екатеринбурге, Томске, Иркутске планировалось открытие дополнительных вблизи к основным местам добычи. Разрешалось частным лицам устройство лабораторий и вообще всякого рода заведений для сплава шлихового золота и очистки золота, серебра и платины [39].

Однако до Первой мировой войны не было учреждено ни одного частного предприятия по очистке золота и серебра. Начавший работу в Екатеринбурге в 1916 г. аффинажный завод акционерного общества Николае-Павдинского горного округа акцентировал свою работу на разработку и внедрение методов аффинажа шлиховой платины и получении металлов платиновой группы (МПГ).

АФФИНАЖ ПЛАТИНЫ И МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

В самородном виде платина была известна в Древнем Египте, Абиссинии, Иберии, Южной Америке и острове Борнео. Были найдены изделия, состоящие из природного сплава платины с металлами платиновой группы, железом, следами золота и серебра. По-видимому, был известен способ пайки платины золотом. Артефакты из очищенной платины неизвестны.

Ж. С. К. Швайгер в книге «О платине старой и новой» (1845) первым высказал мнение, что данное Плинием в «Естественной истории» описание «plumbum album» (белый свинец с таким же весом, как у золота, которое обычно относилось к олову) должно толковаться как платина. «Свинца есть два рода. Драгоценнейший белый называется у Греков касситерос (cassiteros) ... было в уважении во времена Трои по свидетельству Гомера» [1, с. 256–265].

В Средние века в различных источниках присутствуют упоминания о «paras del plata», «aurum album», вероятно, относящиеся к платине. Юлий Цезарь Скалигер (1484–1558) писал, что есть металл, который нельзя расплавить никаким спо-

собом – «nullo igni, nullis Hispanicis artibus». И. И. Бехер в книге «Phisica Subterranea» (1669) упоминает «smiridis hispanica», служащий для фальсификации золота.

Добыча платины, совместно с золотом, началась в золотоносных песках в долинах южноамериканских рек Аtrato и Сан-Хуан (провинция Чоко, Колумбия). Испанцы называли металл «platina» (в вольном переводе с исп. – «серебришко») от исп. «plata» – «серебро». другие названия – «oro blanco» («белое золото»), «Juan blanco», «Platina del Pinto» (по имени реки, где она была обнаружена ок. 1520 г.). Присутствие платины в золотых россыпях сильно затрудняло их разработку, т.к. платина концентрировалась с золотом при промывке. Разделение металлов механическим способом и амальгамированием было очень затратным и требовало много времени. Платина стоила дешевле серебра и не имела никакого практического применения, кроме как для подделки золота. С 1735 г. по указу Филиппа V был запрещен ввоз платины в Испанию, а добытую предписывалось уничтожать на месте. Этот запрет действовал до 1778 г., а незначительное количество платины в Европу доставлялось контрабандой.

Х. Т. Шеффер (Швеция) в 1750–1751 гг. определил свойства платины как отдельного элемента, указал на нерастворимость в азотной и серной кислотах и растворимость в царской водке, что, в отличие от золота, платина не выпадает в осадок под действием сульфата железа, но выпадает в осадок под действием щелочей и аммиака в форме красного порошка. Также он обнаружил, что платина сплавляется с медью и легко с мышьяком. В. Льюис (Англия) в 1754 г. осадил платину из разбавленного раствора царской водки аммиаком в виде красного порошка и провел термическое разложение выпавшей в осадок соли до черного порошка. Красная соль при этом не имела гремучих свойств, как при подобном осаждении золота. А. С. Марграф (Пруссия) в 1754–1757 гг. установил, что осадок, полученный осаждением платины из раствора царской водки нашатырем, при нагревании восстанавливается до металла.

Возникший научный интерес к платине побудил испанские власти бесплатно или в обмен на минералогические образцы отправлять пла-

тину ученым всей Европы. Для этого в 1759 г. необходимое количество платины просто собрали под дамбами вблизи колумбийских монетных дворов Попояна и Боготы [40].

М. де Лиль в 1773–1774 г. получил ковкую форму платины. А. Л. Лавуазье в 1882 г. расплавил очень маленькое количество (0,3–0,4 г) платины в струе кислорода, направленной на кусок древесного угля. Успешно плавилась кусочки самородной и ковкой платины, последняя, однако, несколько легче. На специальном заседании французской Академии 6 июня 1782 года, где присутствовали почетные гости граф и графиня Норд (Великий князь Павел Петрович и Великая княгиня Мария Федоровна), Б. Франклин, был проведен показательный эксперимент по плавке платины.

В конце XVIII в. платину начали использовать для изготовления тиглей, посуды и ювелирных украшений. Этому немало способствовал Людовик XVI, назвавший платину королевским металлом.

Ковкую платину получали разными методами. Француз Пьер-Франсуа Шабано, работавший в Испании, получал ковкую платину прессованием металлического осадка, полученного прокаливанием хлорплатината аммония – $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$. В 1783 г. ему был выдан патент на способ получения ковкой платины. Испанский король Карл III наложил строгий запрет на публикацию и разглашение этого способа.

Парижский ювелир Марк Этьен Джанети (М. Е. Janety) очищал шлиховую платину от железа сплавлением трех частей платины с шестью частями белого мышьяка и двумя частями поташа (K_2CO_3). Полученный слиток перекалдывался в чистый тигель и заново расплавлялся, затем процесс переплавки повторялся. Очищенный от железа сплав помещали в тигель с плоским дном, добавляли еще одну часть мышьяка и $\frac{1}{3}$ поташа и расплавляли самым сильным жаром. После остывания плоские слитки имели массу на $\frac{1}{2}$ больше исходной сырой платины. Удаление мышьяка проводилось в муфельных печах при равномерном нагреве пластин в течение 6 часов и последующем закаливании в масле. Последняя операция повторялась до тех пор, пока были заметны улечивающиеся пары мышьяка. Когда пары переставали быть видимыми, давали самый сильный жар, какой возможно.

После очистки в азотной кислоте и промывки в воде платиновые пластины готовы к проковке [41].

Граф Аполлос Аполлосович Мусин-Пушкин (1760–1805) примерно в 1797 г. предложил способ получения ковкой платины из ее механической смеси со ртутью (амальгама платины не образуется при нормальных условиях). Платиновую губку Мусин-Пушкин получал обычным способом – прокаливанием хлорплатината аммония. Губка промывалась в воде и кипятилась в разбавленной соляной кислоте для удаления остатков железа. Смесь платины со ртутью прессовалась в деревянном цилиндре, при этом удалялся излишек ртути. Твердая квазиамальгама умеренно нагревалась в тигле в течение 2–3 часов для удаления ртути, а затем доводилась до белого каления. В результате получалась плотная платина, пригодная для последующейковки. Данный метод широко не применялся, но обработка платиновой губки кипячением в разбавленной соляной кислоте для удаления железа и других примесей вошла в дальнейшую практику.

Уильям Хайд Волластон (1766–1828) в 1803 г. выделил в чистом виде платину и открыл палладий (Palladium, назван в честь малой планеты Паллады, открытой Ольберсом в 1802 г.), а в 1804 г. – родий (Rhodium, от др. греч. ῥόδον – роза).

В 1803–1804 гг. Смитсон Теннант (1761–1815), старший партнер Волластона, из остатка после растворения платины выделил в порошке два новых элемента – осмий (Osmium, от др. греч. ὀσμή – запах) и иридий (Iridium, от др. греч. ἶρις – радуга).

С 1800 г. Волластон приступил к работам по получению ковкой формы платины. Начиная с 1805 г. Волластон предложил широкий ассортимент продукции из платины – тигли с крышками, бойки и полки кремниевых пистолетов и ружей, котлы для производства серной кислоты, биметаллические термометры, посуду, в т.ч. ножи, сверхтонкую проволоку для окуляров оптических инструментов. Процесс был разработан после длительных экспериментов, постоянно совершенствовался, хранился в секрете и был опубликован только в 1828 г.

Растворение сырой платины Волластон вел в разбавленной царской водке с небольшим избытком азотной кислоты. Не допускалось полное растворение сырой пла-

тины. Этими мерами замедлялся переход иридия в раствор (иридий частично растворим в царской водке). Раствор выпаривался досуха, разбавлялся водой, фильтровался, отстаивался и снова фильтровался. Осаждение платины из раствора проводилось насыщенным раствором хлорида аммония. Осадок хлорплатината аммония тщательно промывался, уплотнялся и осторожно нагревался в графитовом тигле, где платина восстанавливалась до металла. Губчатая платина промывалась для удаления солей и перетиралась. Крупные частицы измельчались деревянным пестиком, чтобы не заглаживать металл, а слишком мелкие – отмучивались водой. Полученную пульпу, состоящую из примерно одинаковых частиц металла и воды, помещали в латунный цилиндр и прессовали. Полученный агломерат осторожно нагревали до красного каления для удаления воды и увеличения сцепления металлических частиц. Затем агломерат размещали вертикально на подставке с кварцевым песком, накрывали огнеупорным сосудом и подвергали максимально возможному нагреванию в течение 20 минут. Проковку осуществляли молотом при вертикальном расположении горячего агломерата на наковальне. Платина, полученная Волластоном, была далека от химически чистой, но по качеству считается лучшей из всех, что были произведены до него [40].

Профессор Виленского университета Анджей Снядецкий в 1808 г. известил Петербургскую Академию наук, что им обнаружен новый элемент, который он назвал вестий по имени открытой в 1807 г. малой планеты Весты. В том же году Институт Франции заявил, что такого металла не существует. Позднее выяснилось, что описанные А. Снядецкий свойства вестия совпадают со свойствами рутения, открытого в 1844 г. профессором Казанского университета К. К. Клаусом.

Открытие и начавшаяся в 1824 г. промысловая добыча платины на Урале сразу вывели Россию на первое место в мире по ее добыче. В отдельные годы доля России составляла 90–95% от мировой добычи. Лидерство сохранилось до начала Первой мировой войны.

Первые отечественные изделия из платины, очищенной по способу Джанети (кольцо, чайная ложка, чернильница, напестольный ковчег или дарохранительница, про-



Коронационный жетон 1826 г. Платина, 11,54 г. [68]

волокна, цепочки, пластины, обручи, запальные полки для пистолетов и пр.), были изготовлены на Урале в 1824–1826 гг. А.Н. Архиповым, А. Иосса и В. Сысоевым под руководством Н.Р. Мамышева. Были проведены удачные эксперименты по сплавлению платины с медью в разных пропорциях. Полученные сплавы обладали химической стойкостью и имели красивый цвет, изменяющийся в зависимости от содержания меди в сплаве. На Санкт-Петербургском фарфоровом заводе начали расписывать изделия платиной. Из сплава платины с небольшим количеством стали были изготовлены перочинный нож, который резал железо, и небольшое зубило, которым рубили чугун и резали стекло, как алмазом [42].

Для масштабирования процесса очистки платины по способу Джанети в Санкт-Петербург был вызван мастер В. Сысоев. Проведенные эксперименты показали, что за один прием невозможно аффинировать более одного фунта сырой платины, выход годной составлял не более 28 золотников. Процесс длился несколько дней и сопровождался выделением крайне вредных паров мышьяка.

Петр Григорьевич Соболевский (1781/82–1841) и Василий Васильевич Любарский (1795–1853) в 1826 г. предложили простую и надежную технологию получения ковкой платины. Этому способствовал случайно остановленный опыт по сплавлению платины в угольной набойке, давший возможность наблюдать агломерацию частиц платины при нагревании. Первое время платиновую губку помещали в железную цилиндрическую изложницу и прессовали в холодном состоянии на винтовом прессе. Запрессованный диск вынимался из изложницы, нагревался до температуры бело-

го каления (свыше 1200°C) и выдерживался при этой температуре длительное время, после чего его еще раз подвергали сжатию в горячем состоянии. Компактный диск ковался в полосу или прутки. Первые 20 фунтов платины, отпущенных из казны и аффинированных по новому методу, пошли на чеканку медалей и жетонов, а такое же количество от частных лиц – на изготовление ювелирных изделий, ни в чем не уступавших парижским.

Впоследствии второе прессование стали проводить с охлажденным диском, что значительно упростило процесс. Величина диска никак не сказывалась на свойствах платины. Ковкими и пластичными были как маленькие, так и большие кружки.

Платиновую губку получали традиционным способом. Предварительно очистив от крупных частиц железа, сырую платину помещали в трубчатую реторту на песчаной бане и заливали четырехкратным количеством царской водки. Реторта герметично соединялась с улавливающими оксиды азота сосудами, частично заполненными водой. Нагревание реторты продолжалось и после окончания растворения, наблюдаемого по прекращению выделения бурого газа, для упаривания раствора и улавливания свободной кислоты. Сгущенный царсководочный раствор, не разбирая прибора, переносился сифоном в выпарительные фарфоровые чаши и в специальных печах упаривался досуха. В реторту насыпалось новое количество сырой платины, выливался из уловителей раствор азотной кислоты, корректировался по предварительному расчету соляной кислотой, добавлялось необходимое количество свежей царской водки и начинали новое растворение. Черный нерастворимый осадок,

состоящий в основном из осмистого иридия, выгружался из реторты периодически. Выпаренный досуха раствор платины разбавлялся горячей водой, остужался, фильтровался и поступал на осаждение насыщенным раствором хлорида аммония. Осаждение проводилось в два приема. В первый прием в раствор платинохлороводородной кислоты – $H_2[PtCl_6]$ добавлялся хлорид аммония в количестве меньшем, чем необходимо для полного осаждения, и получался светлый осадок желтого хлорплатината аммония – $(NH_4)_2[PtCl_6]$. Отделенный от полученного осадка раствор поступал на второе осаждение хлоридом аммония. Второй осадок имел более темный цвет, т.к. был загрязнен иридием и другими примесями. Губчатая платина, полученная из светлых осадков, промывалась водой, кипятилась с разбавленной соляной кислотой, еще раз промывалась и поступала на приготовление ковкой формы. Губчатая платина из темных осадков растворялась в царской водке и проходила весь цикл повторно [43].

По способу П.Г. Соболевского и В. В. Любарского аффинировали всю русскую платину для изготовления из нее монеты с 1828 г. по 1841 г. [23, с.110–111]. Значительно возросший объем добычи платины поставил вопрос о ее практическом использовании. Первым вопросом о чеканке монет поднял Н.Р. Мамышев [42]. Министр финансов Е.Ф. Канкрин в поисках дополнительных доходов энергично продвигал идею введения в обращение платиновой монеты. В сжатые сроки с марта по апрель 1828 г. были выполнены эскизы новой монеты, изготовлены штампы, сделаны и одобрены слепки со штампов в олове, отчеканены несколько десятков пробных монет [25, с.21–22], а уже 24 апреля 1828 г. последовал Указ «О чекане из Уральской платины новой монеты, ценой в три рубля на серебро» [44]. В Указе отмечалось, что выпуск платиновой монеты дело новое, требует предварительного опыта, на первый раз их выпускается умеренное количество, монета имеет хождение в государстве по добровольному согласию, выпуск сей торговой монеты за границу и употребление в изделия не воспрещается. Новая монета была охотно принята населением и вызвала огромный интерес за границей. Через год после выпуска в обращение платиновую



3 рубля 1828 г. [68]

монету предписывалось принимать в казенных местах наравне с золотой и серебряной по узаконенной ценности [45]. В 1829 г. началась чеканка платиновой монеты достоинством в шесть рублей [46], а в 1830 г. – двенадцать рублей [47]. В деловой переписке монета в 6 рублей именовалась «двойной платиник», а 12 рублей – «квадрупль» [25, с.32–35].

Первые опыты и аффинажные операции с платиной проводились в Соединенной лаборатории Департамента горных и соляных дел и Горного корпуса. Начавшаяся чеканка платиновых монет требовала сосредоточения всех операций по аффинажу и монетному переделу в одном месте – на Санкт-Петербургском монетном дворе. В связи с тем, что невозможно было определить предполагаемый объем чеканки платиновых монет, отсутствия на Монетном дворе необходимого оборудования и наличия такого в Соединенной лаборатории с возможностью давать выход очищенной платины в полосах – 1½ – 2 пуда в неделю, было решено аффинаж платины, переделку обрезков и опилок, перевод ее в ковкую форму, изготовление полос временно оставить в данной лаборатории. В предварительном Положении для учреждения платинового передела подробно расписывался порядок учета, операции, движение металла, нормы потерь и т.д. Вводился взаимный перекрестный контроль за проводимыми операциями и движением платины со стороны Монетного двора и Соединенной лаборатории Департамента горных и соляных дел и Горного корпуса [48].

Анализ поступающей на Монетный двор сырой платины, обрезков, опилок и сора проводился по способу, аналогичному для аффинажа – растворением в царской водке с последующим осаждением хлори-

дом аммония. Количество платины в промывных водах не анализировалось, а учитывалось по результатам предварительных опытов; МПГ не определялись. Анализ платины в монетных кружках проводился растворением в серной кислоте, предварительно сгущенного на капели с двукратным количеством свинца, расплющенного и свернутого в корточки, сплава платины с серебром в соотношении 1:2 [25, с.23].

Кажущаяся простота процесса аффинажа платины по способу Соболевского – Любарского, позволяющего перерабатывать большие объемы сырья, имела свои негативные моменты. Ковкая платина имеет в своем составе значительное количество примесей иридия, родия, палладия, рутения, меди, железа, никеля. Массовая доля примесей – величина непостоянная и может сильно различаться даже в монетах одного года выпуска. Монеты имеют магнитные свойства от очень слабых до ярко выраженных. Возросший до одного пуда в день объем переработки заставил проводить осаждение платины из неупаренного раствора с избытком царской водки. Предполагали, что избыток царской водки предотвратит совместное осаждение платины с иридием и оставит в растворе другие примеси. Повышение кислотности раствора не позволяло на выпадение иридия в осадок, а излишняя промывка осадка от солей иридия привела к повышенному переходу платины в промывные воды.

В поисках более совершенного способа аффинажа обратились к Иоганну Вольфгангу Дёберайнеру (Johann Wolfgang Döbereiner), профессору Йенского университета, одному из основоположников нового раздела химии – катализа. Он

согласился быть консультантом, а практически разработку нового метода вели его сын Франц Дёберайнер и Фридрих Вейс в Дерптском университете. На Санкт-Петербургском монетном дворе в 1841 г. было оборудовано специальное отделение для обработки платины.

Растворение сырой платины вели в фарфоровых кувшинах вместимостью 12 фунтов по металлу и 20 фунтов царской водки на песчаных банях в течение трех суток. После охлаждения кувшинов раствор сливали в стеклянные банки, нерастворившуюся платину промывали и заливали заново царской водкой. Отстоявшийся раствор декантировали в деревянный чан вместимостью 13 ведер, разбавляли жидким раствором известковой платины, полученной при промывке известковых осадков от предыдущей операции. После в чан добавляли известковое молоко (суспензия, образуемая при смешении избытка гашеной извести – $Ca(OH)_2$ с водой) до слабокислой реакции по лакмусовой бумаге. Во время добавления известкового молока и после раствор постоянно перемешивался деревянной лопатой. В определенный момент раствор густеет, но затем снова становится жидким. Полученную смесь фильтровали через белое сукно. Платина в виде хлорплатината кальция $Ca[PtCl_6]$ остается в растворе, а иридий, родий, осмий, железо, медь и частично палладий остаются в нерастворимом осадке. Осадки на сукне тщательно промывали, перемешивая деревянной лопатой, промывные воды отстаивали от мути и использовали для разбавления следующего раствора платинохлороводородной кислоты. Раствор хлорплатината кальция выпаривали до половины в фарфоровых чашках, а затем досуха в платиновых сковородках. Сухой хлорплатинат кальция размалывали на кусочки и прокаливали в маленьких платиновых сковородках под муфелем. Прокаленная известковая платина, состоящая из металлической платины и хлорида кальция ($CaCl_2$), толкла в мелкий порошок и поступала на выщелачивание хлористого кальция горячей с добавлением соляной кислоты и холодной водой.

Мелкий порошок чистой платины прессовался в кружки (массой от 1 до 10 фунтов) в чугунном кольце под действием мощного гидравлического пресса. Кружки по-

мешали в цилиндрические капсулы из огнеупорной глины и прокаливали в течение 5–6 часов в специально построенной по образцу фарфорообжигательной, но меньшего размера, самодувной печи. Разовая загрузка в печь составляла от 6 до 7 пудов. Прокаленные кружки расковыривали в полосы, нагревая добела в обычном кузнечном горне.

Обрезки и опилки платины прежде перерабатывались по общей схеме с сырой платиной. По новому способу – измельченные обрезки слегка протравливали в царской водке для очистки от загрязнений до появления матовости на поверхности, промывали и прессовали вместе со свежим порошком губчатой платины в соотношении 1:1. Опилки кипятили с соляной кислотой для удаления железа, промывали и прессовали, как и обрезки, пополам с губчатой платиной. Упрощенная технология переработки обрезков и опилок давала более чем 10-кратную экономию расходов, но в тонких частях изделий из такой платины, которые подвергались сильному нагреву, образовывались пузыри и вскрывались поры.

Нерастворимые остатки от растворения сырой платины состоят в основном из осмистого иридия. Иридий из нерастворимых осадков получался по способу немецкого химика Ф. Вёлера (Friedrich Wöhler). Остатки толкли в чугунной ступке, смешивали с равным количеством поваренной соли, смачивали водой, прессовали, высушивали и прокаливали на песчаной бане. Твердые куски разбивали на кусочки, помещали в глиняные трубки, обогреваемые снаружи древесным углем до темно-вишневого каления. Когда трубки нагревались, внутрь запускали хлор и обрабатывали хлором в течение четырех часов. После охлаждения содержимое трубок выщелачивали водой. В раствор переходили хлоридат натрия $\text{Na}_2[\text{IrCl}_6]$, соли осмия и других металлов. Раствор упаривали наполовину, при этом осмий улетучивался в виде оксида OsO_4 . Иридий осаждали раствором соды – Na_2CO_3 в виде черно-синего оксида – IrO_2 . Нерастворимые остатки от первой обработки продували хлором повторно и обрабатывали по такой же схеме.

Известковый осадок, содержащий все примеси и часть платины, растворяли в серной кислоте. Раствор фильтровали от образо-

вавшегося гипса и осаждали платину хлоридом аммония, отделяли от раствора, промывали и прокаливали. Из фильтра железом осаждали все оставшиеся там металлы. Палладий из общей массы остатков от переработки платины не извлекался [49].

В целом новый способ аффинажа платины не оправдал возлагавшихся на него надежд. Основные недостатки этого метода – бессистемное поведение МПГ в процессе аффинажа, большое количество отходов, значительных по объему и сложных по составу, невысокое качество ковкой платины.

Профессор Казанского университета Карл-Эрнст Карлович Клаус (1796–1864) получил в 1841 г. от П. Г. Соболевского 2 фунта остатков от аффинажа платины для изучения МПГ и приготовления необходимых реактивов. К его удивлению, из остатков было извлечено 10% платины, немалое количество иридия, осмия, родия, палладия и смесь металлов, в которых, по его предположению, должен был находиться новый элемент. В 1842 г. К. Клаус доложил о своих первых результатах в Санкт-Петербург и после встречи с Е. Ф. Канкринным получил в свое распоряжение еще $\frac{1}{2}$ пуда остатков от очистки сырой платины. Эти остатки оказались не так богаты платиной, но работа с ними позволила выделить новый элемент и изучить его свойства. К. Клаус сообщил об открытии нового элемента, названного им рутений (Ruthenium, от лат. – Ruthenia), в своей работе «Химическое исследование остатков уральской платиновой руды и металла рутения», напечатанной в «Ученых записках Казанского университета», т. III, 1844 г.

Исследование Клаусом химических свойств МПГ дало возможность в дальнейшем применить их в целях аффинажа. Им были отмечены причины возникновения основных недостатков способов Соболевского – Любарского и Деберайнера. Клаус предложил два способа получения чистой платины [50]. Один из них вошел в дальнейшую практику аффинажа под названием «метод проф. К. К. Клауса» или «метод Клауса – Барабошкина».

На основе результатов исследований К. К. Клауса было возможно создание самого передового аффинажного производства, но в 1844 г. с подачи нового министра финансов Ф. П. Вронченко было принято

решение о скором прекращении чеканки монет из платины. Сильные колебания цен на платину в Европе, падение добычи у частных промышленников, отсутствие четкой политики и просто выдержки у нового руководителя Министерства финансов привели к сворачиванию всей отрасли. Надуманными выглядят опасения, что при падении цен на платину из-за границы мог хлынуть вал поддельной платиновой монеты, а при повышении – массовый вывоз. Все это при том, что большая часть мировой добычи платины была сосредоточена в России, а при тщательном контроле на границах не было выявлено ни одной платиновой монеты, отчеканенной не штемпелями Санкт-Петербургского монетного двора. 16 февраля 1845 г. был запрещен вывоз платиновой монеты за границу, экспорт сырой и очищенной платины облагался пошлиной. Ввоз платины в любом виде, кроме монеты, был запрещен, а ввоз монеты был разрешен на срок только в 4 месяца. 22 июня 1845 г. был опубликован указ «Об обмене платиновой монеты», а 27 июня 1845 г. вышло распоряжение Министерства финансов «Об изъятии из обращения платиновой монеты» [25, с.93–95, 97–98].

Время показало ошибочность принятого решения о прекращении чеканки монеты из платины. К 1845 г. цены на платину в Европе приблизились к номинальной цене, обозначенной на платиновых монетах, изначально несколько завышенной. На Санкт-Петербургском монетном дворе начали скапливаться значительные запасы платины. В 1860 г. ее запасы составили 900 пудов, в т.ч. 445 пудов в старой платиновой монете. При наличии спроса добыча на частных рудниках и приисках могла составить 200 пудов в год без дополнительных затрат. Рассмотрение вопроса о возобновлении чеканки платиновой монеты проходило в 1860–1862 гг. Были утверждены эскизы и отчеканены пробные монеты, начаты работы по устройству печей для плавки платины в пламени светильного газа (каменноугольный газ – смесь водорода, метана и др. газов) и кислорода по способу Анри Сент-Клер Девиля и Жюль Анри Дебре.

Резкий поворот в «платиновой политике» произошел в 1863 г., когда Особая комиссия рекомендовала отказаться от чеканки платиновых монет и аффинажа платины на Санкт-

Петербургском монетном дворе. Хранящуюся на Монетном дворе аффинированную (в т.ч. старую монету) и сырую платину следовало передать Государственному банку для консолидированной продажи вместе с запасами частной (в большей части графа Демидова) платины [51, с.50–60, 66–70, 88–91].

Все государственные запасы платины были реализованы к 1872 г. Львиную долю выкупила английская компания «Johnson, Matthey & Co», в одночасье ставшая мировым платиновым монополистом.

С 29 мая 1867 г. очищение платины на Монетном дворе стало необязательным для частных промышленников, Министерство финансов могло разрешать частным лицам устанавливать лаборатории и заведения по очистке платины [52]. Компания «Johnson, Matthey & Co» создала в Санкт-Петербурге в 1875 г. совместное аффинажное предприятие и мастерскую по изготовлению оборудования из платины «Колбе и Линдфорс». На этом предприятии аффинировалась только та незначительная часть платины, принадлежавшей «Johnson, Matthey & Co», которая шла на изготовления оборудования для внутриросийского потребления. В 1875 г. году было основано Товарищество Тентелевского химического завода для производства серной, азотной и соляной кислот, в составе которого заработала платиновая мастерская по изготовлению платиновой посуды и оборудования. Практически весь аффинаж платины и МПГ был сосредоточен на предприятиях «Johnson, Matthey & Co» в Лондоне, «Desmoutis, Charpui & Quennessen» в Париже, «W. C. Heraeus» в Ганнау (Германия).

О необходимости аффинирования всей добываемой в России платины и получении в чистом виде МПГ заявляли Н. С. Курнаков, В. И. Вернадский, Л. А. Чугаев. В 1916 г. Чугаев предложил создать специализированный институт для изучения комплексных соединений платины и ее спутников. Считалось необходимым создание при Платиновом институте опытного завода для проверки новых методов и технологических приемов [53, с.44, 56].

Решение о создании первого отечественного аффинажного производства было принято в 1914 г. Аффинажный завод акционерного общества Николае-Павдинского горного округа начал работу в Ека-

теринбурге в 1916 г. Руководил заводом Николай Барабошкин, сумевший в сжатые сроки запустить аффинаж платины и производство изделий из платино-иридиевых сплавов. В дальнейшие планы развития производства вмешались революционные события и Гражданская война.

АФФИНАЖ В РСФСР, СССР И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В 1918 г. Петроградский монетный двор практически свернул свою работу. Действовал только один цех, где изготовлялись ордена Красного Знамени и медали. В 1920 г. лаборатория разделения золота и серебра вместе с сотрудниками была эвакуирована в Екатеринбург [54]. На площадке местного аффинажного завода в 1920–1921 гг. Н. Барабошкин организовал отделения по электролитическому рафинированию золота и серебра производительностью до 3000 пудов в год [53, с.56]. В 1922 г. Екатеринбургский аффинажный завод вошел в Государственное объединение платиновых заводов «Уралплатина» ВСНХ.

В августе 1921 г. Петроградский монетный двор был вновь запущен как «Медально-аффинажный завод» и начал чеканку серебряных, а с 1923 г. – золотых монет в ходе денежной реформы 1922–1924 гг.

В первичную сплавку пускались старые монеты царского и иностранного чекана, в т.ч. бухарская теньга, изделия и слитки Гохрана. На Монетном дворе осуществлялась и непосредственная переплавка церковного и конфискованного (бытовые предметы, столовое серебро, кубки, вазы, чаши) серебра, накопившегося в Петрограде и поступавшего из Москвы. Неаффинированные слитки и гохрановские ценности внесли вредные примеси в сплав, увеличивали его хрупкость и приводили к повышенному браку в монетных переделах. План выпуска серебряных монет при самой напряженной работе не выполнялся. Выход был найден в размещении заказа на чеканку 40000000 полтинников в Англии и закупке там же 360 тонн аффинированного серебра [55]. Массовые закупки могли вызвать повышение мировых цен на серебро. Для стабилизации цены на серебро было решено отправить на аффинаж в Англию 17400 пудов золотистого серебра. Обоснованием для такого решения было отсутствие аффинажного оборудования у Народно-

го Комиссариата Финансов (НКФ) и завышенные цены на переработку от «Уралплатины». С октября 1924 г. была прекращена практика проведения основных сплавов с использованием неаффинированных слитков. В первичные сплавы стали поступать только аффинированные слитки серебра и царские монеты. Количество брака резко сократилось с 19,8% до 8,8% [56].

К началу 1922 г. золотые резервы страны были практически исчерпаны. В марте 1921 г. из Нижегородского хранилища в Москву была вывезена последняя крупная партия ценностей, состоящая из серебряной монеты, слитков золотистого серебра и серебрянистого золота. В декабре 1921 г. была опустошена Казанская золотая кладовая. Добыча золота в 1920 г. составила всего 169 пудов, в 1921 г. – 150 пудов. Устранять дефицит золота принялись чрезвычайными мерами – жестким контролем над расходом золота, продажами культурных ценностей, в т.ч. уровня «национального достояния», конфискациями и реквизициями. Была развернута сеть скупок бытового золота и серебра, а в районах золотодобычи – «вольноприносительного» и «подъемного» золота [57]. 23 июня 1921 г. был издан декрет «О распределении золота и платины», подтвердивший государственную монополию на все операции с золотом.

Приказом НКФ №1875 от 21 сентября 1922 г. при Металфонде была образована Плавильно-аффинажная лаборатория с включением в нее уже существующей гохрановской плавильной. В лаборатории при активном участии научного консультанта Валютного управления Наркомфина СССР Владимира Ванюкова внедрялся метод очистки золота хлорированием.

Первые опыты рафинирования золота хлорированием в малом масштабе были проведены Томпсоном и Айкеном в 1838 г. Этот способ рафинирования на Монетном дворе в Сиднее (Австралия) был разработан и внедрен Миллером в 1867 г. Применение рафинирования по способу Миллера в Австралии обуславливалось высокой ценой на привозную кислоту и дефицитом серебра для квартования. Впоследствии по способу Миллера рафинировали золото в Южной Африке, Канаде и Англии. Причины, по которым способ получил распространение, заключался в следующих преимуществах перед другими

способами: простота выполнения, недорогое оборудование, не требуется серебра, кислот и других реактивов, быстрота выполнения, приемлемые потери золота.

Метод основан на действии газообразного хлора, пропускаемого через расплав, на металлы. В первую очередь образуются, переходят в шлак и улетучиваются хлориды неблагородных металлов, затем – серебра и в последнюю очередь – золота и МПГ. Практическое выполнение процесса Миллера состоит из семи операций: расплавление золота, его хлорирование, отделение рафинированного золота от хлоридов, переплавка чистого золота, извлечение золота из хлоридов, восстановление серебра из хлорида серебра и переплавка металлического серебра [23, с.64–69]. В 1917 г. в Южной Африке ввели продувку хлором совместно с воздухом для быстрого удаления неблагородных металлов [26, с.333].

Хлорированием можно получить золото 996,5-й пробы, но вследствие значительного перехода золота в его хлорид в окончании процесса обычно останавливались по достижении 990–995-й пробы. Появление летучего хлорида золота фиксировали визуально по появлению фиолетово-красного цвета пламени и желто-коричневому налету на холодных предметах, вносимых в пламя. Основная примесь в золоте, очищенном по способу Миллера, – серебро (3,5–8,5 проб), остальные примеси – МПГ, медь.

В Металлургической лаборатории Томского технологического института было проведено исследование по возможности практического применения способа

Миллера для рафинирования низкопробного (550–600) золота. Профессору В. Я. Мостовичу ставилась задача: предоставить доведенное до определенной пробы (от 910 до 990) золото в течение суток [58].

Обратиться к методу Миллера заставило большое количество лома и низкопробного золота [23, с.64]. Переработка такого сырья электролитическими способами требовала проведения процесса в несколько стадий: переплавка и доведение сплава; отливка анодов; электролиз в серебряной ванне; промывка шламов; переплавка их в золотые аноды; электролиз в золотой ванне; переплавка катодного золота. Весь процесс требовал 10–12 дней при использовании асимметричного тока в электролизе золота в солянокислых ваннах и 21 день при постоянном токе. Продолжительность непосредственно хлорирования зависит от количества и пробы очищаемого золота. В заводских условиях при загрузке 20 кг золота 900-й пробы процесс длится один час (доведение до 990–994-й пробы), 12 кг золота 600-й пробы – 2,5 часа [23, с.65]. Одноразовая загрузка по золоту может широко варьироваться от сотен граммов до 500 кг. Для низкопробного сырья целесообразно применение хлорирования в качестве вспомогательного процесса, только для повышения пробы золота перед электролитическим аффинированием. В Плавильно-аффинажной лаборатории хлорирование расплава стало основным способом рафинирования золота. Экспрессность метода перевесила очевидные недостатки рафинирования по способу Миллера для окончательного

аффинажа золота – относительно низкая проба очищенного золота, безвозвратные потери МПГ, опасность работы с газообразным хлором, большое количество летучих хлоридов металлов в отходящих газах, сложность переработки хлоридов для извлечения из них золота.

Очевидно, что золото, рафинированное по способу Миллера, поступало в 1923–1924 гг. на Петроградский/Ленинградский монетный двор для первичных сплавов при чеканке червонцев 1923 г. и монет достоинством 5 и 10 рублей царского образца.

Полномасштабное аффинажное производство на Монетном дворе в 1921–1924 гг. не возобновлялось. На оставшемся после эвакуации оборудовании проводились операции по снятию позолоты с серебряных изделий и выделение драгоценных металлов из соров. В 1925–1926 гг. производилось рафинирование золота электролизом [60]. Из золота 999-й пробы на Ленинградском монетном дворе в 1925–1926 гг. изготавливались торговые слитки массой в 5 (84 761 шт.), 10 (56 485 шт.) и 50 (11 374 шт.) граммов [61]. Всего на эти слитки было израсходовано 1557 кг 355 г (около 95 пудов) золота. Свидетельства об аффинажных операциях на Ленинградском монетном дворе после 1926 г. обнаружить не удалось.

12 января 1926 года на базе Плавильно-аффинажной лаборатории был образован «Аффинажный завод НКФ СССР». Некоторое время завод работал под маркой «Акционерное общество «Союззолото»». В 1932 г. завод был переименован в «Государственное предприятие по аффинажу драгоценных металлов имени ОГПУ» («Аффинажзолото»), а начиная с 1936 г. стал литерным – «Завод № 171 им. ОГПУ Наркомцветмета СССР». Основным способом аффинажа золота стал электролиз в солянокислых ваннах, хлорирование расплава осталось только в качестве вспомогательного процесса.

В июле 1941 года завод был эвакуирован в Новосибирск и уже в ноябре выпустил свою продукцию. С 1953 г. предприятие называлось почтовым ящиком (п/я) № 37. С 1966 г. это «Новосибирский завод цветных металлов» (п/я № 2938). В 1976 г. НЗЦМ награжден орденом «Знак Почета». До 1989 г. завод перерабатывал практически все золото и серебро, которые добывались

в СССР и странах СЭВ. Выпускал аффинированное золото и серебро не только со стандартной чистотой 99,98–99,99%, но и с содержанием основного компонента 99,999–99,9999%. В 1990 г. НЗЦМ был ликвидирован, часть оборудования и персонала направлены на «Приокский завод цветных металлов» (г. Касимов, Рязанская область). В 1991 г. золотоперерабатывающее производство НЗЦМ было восстановлено на том же месте, новое предприятие получило название «Новосибирский аффинажный завод» [62].

Екатеринбургский аффинажный завод (Свердловский завод по обработке цветных металлов) наряду с аффинажем платины, золота и серебра начал промышленное производство чистых МПГ: в 1922 г. – палладия, 1923 г. – иридия, 1925 г. – родия, 1927 г. – осмия, 1928 г. – платину «Экстра», 1930 г. – рутения. С внедрением кислородно-водородной плавки, проката иковки началось производство лабораторной посуды и термоэлектродной проволоки. В 1941 г. в состав предприятия вошел эвакуированный завод «Платиноприбор», доля металлообработки в составе продукции составила 77%. В 1941–1943 гг. сотрудники завода участвовали в пуске аффинажного завода в г. Красноярске [63]. Свердловский завод ОЦМ участвовал в программе выпуска памятных монет 1977–1980 гг. из драгоценных металлов, посвященных Играм XXII Олимпиады в Москве.

Сотрудники Свердловского завода ОЦМ участвовали в разработке государственных стандартов СССР по драгоценным металлам, сплавам, ювелирным изделиям и т.д. В настоящее время на базе ОАО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» действует Технический комитет по стандартизации ТК 304 «Благородные металлы, сплавы, промышленные и ювелирные изделия из них, вторичные ресурсы, содержащие благородные металлы», за которым закреплено 84 межгосударственных, национальных и отраслевых стандарта [64].

Московский завод «Платиноприбор», основанный в 1918 г. на базе мастерской фирмы «И. П. Хлебников, сыновья и Ко», имеет интересную и богатую историю. В его создании участвовали сотрудники эвакуированной из Петрограда платиновой мастерской Тентелевского химического завода («Красный химик»). Завод неоднократно менял

ведомственную принадлежность, был уполномоченным по сбору сырой, губчатой платины и МПГ в Центральной России по Декрету ВЦИК от 27 июля 1923 г. «О Государственной монополии на платину», выпускал, помимо изделий из платины, золота и серебра, посуду из алюминия и мельхиора. После возвращения из эвакуации завод был передан в ведение Гознака и приступил в 1944 г. к изготовлению орденов Красной Звезды, Славы трех степеней и иностранных орденов и медалей. Организовывали производство орденов и медалей специалисты созданного в 1942 г. Московского филиала Монетного двора Гознака.

8 августа 1946 г. из состава завода «Платиноприбор» был выделен Завод мельхиоровых изделий, переименованный в 1959 г. в Московский завод по обработке специальных сплавов [65]. В этом же году Московский платиновый завод прекратил свое самостоятельное существование, став цехом «Завода электротермического оборудования».

Московский монетный двор Гознака выпускал ордена, медали, сувенирную продукцию, чеканил монеты СССР и других стран. Совместно с ЛМД выполнял программы чеканки инвестиционных монет «Червонец» (1975–1982) и памятных монет 1977–1980 гг. из платины, золота, серебра и мельхиора, посвященных Играм XXII Олимпиады в Москве. При производстве изделий из драгоценных металлов стали применяться вакуумные печи и печи для отжига в защитной атмосфере [66]. Аффинаж драгоценных металлов ММД не осуществлял.

7 апреля 1939 г. было принято Постановление ЦК ВКП(б) и Совнаркома СССР о строительстве аффинажного предприятия в Красноярске. В становлении завода приняли активное участие специалисты Свердловского завода ОЦМ. Первая продукция – платина и палладий из норильских шламов была выдана в 1943 г. В 50-х годах на Красцветмете было освоено производство МПГ, золота и серебра. Основной поставщик сырья для Красцветмета – «Норильский никель» [67].

11 февраля 1974 г. вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о строительстве Приокского завода цветных металлов. Выбор места нахождения завода (г. Касимов, Рязанская область) был обусловлен только одним фактором – близостью к Гохрану. Удаленность от основных мест добычи

драгоценных металлов и непродуманная логистика сказались почти сразу после поэтапного пуска завода в 1989–1991 гг. Много вопросов вызвало закрытие в 1990 г. удобного и привычного для производителей «Новосибирского завода цветных металлов». С распадом СССР не удалось сконцентрировать аффинаж всего добываемого на территории СССР золота и серебра в одном месте. ПЗЦМ встал в один ряд с другими аффинажными предприятиями страны.

Правительством Российской Федерации утвержден «Перечень организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов». В соответствии с последними изменениями, утвержденными постановлениями Правительства № 1136 от 24 октября 2015 г. и № 414 от 15 мая 2013 г., в постановление Правительства Российской Федерации № 927 от 17 августа 1998 г., имеют право осуществлять аффинаж следующие организации:

ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В. Н. Гулидова», г. Красноярск;

ОАО «Приокский завод цветных металлов», г. Касимов, Рязанская область;

АО «Новосибирский аффинажный завод», г. Новосибирск;

АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Свердловская область;

ОАО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», г. Верхняя Пышма, Свердловская область;

ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод», г. Кыштым, Челябинская область;

ФГУП «Московский завод по обработке специальных сплавов», г. Москва;

ОАО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов», г. Щелково, Московская область;

ОАО «Колымский аффинажный завод», пос. Хасын, Магаданская область (проводится процедура банкротства);

ПАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель», г. Дудинка, Красноярский край;

АО «Уральские Инновационные Технологии», г. Екатеринбург, Свердловская область.

Деятельность организаций, осуществляющих аффинаж, регулируется Федеральным законом от 26.03.1998 № 41-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О драгоценных металлах и драгоценных камнях». Контроль со стороны государства осуществляется Государственными



Слиток золота 991,2 пробы. Кадр из документального фильма «200 лет Ленинградскому монетному двору. 1924 год» [59]

Автор выражает особую благодарность Н. С. Моисеенко за ценные советы и помощь в поиске архивных материалов советского периода, Отделу редких книг и рукописей Научно-технической библиотеки Томского политехнического университета – за организацию работы с книжными памятниками.

инспекциями пробирного надзора Российской государственной пробирной палаты при Министерстве финансов Российской Федерации.

В настоящее время Московский монетный двор и Санкт-Петербургский монетный двор являются филиалами Акционерного общества «Гознак». Монетные

дворы чеканят разменные монеты, памятные и инвестиционные монеты из драгоценных металлов, изготавливают государственные и ведомственные награды, знаки, памятные медали, сувениры и др. продукцию. Аффинаж на монетных дворах остался в их большой и богатой истории.

1. Гай Плиний Старший. Естественная история ископаемых тел./пер. и прим. В. М. Севергина. – СПб.: Императорская академия наук, 1810. – 364 с.
2. Лукас А. Материалы и ремесленные производства Древнего Египта. – М.: Изд-во иностр. Лит., 1958. – 747 с.
3. Сабадвари Ф., Робинсон А. История аналитической химии. – М., Мир, 1884, – 304 с.
4. Золотая коллекция [электронный ресурс] URL: <https://www.goldencollection.club/> (дата обращения 16.05.2017).
5. Абу Райхан Мухаммед ибн Ахмед аль-Бируни. Собрание сведений для познания драгоценностей (минералогия). – Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 518 с.
6. Фигуровский Н. А. История химии. – М., Просвещение, 1979, – 311 с.
7. Маренков Е. А. Справочник пробирера / под ред. Гребенкина Д. Г. – М.: Госфиниздат, 1953, – 236 с.
8. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императрицы Анны Иоанновны. – СПб.: 1901, – 271 с.
9. Шлаттер И. А. Описание при монетном деле потребного искусства, в двух главных частях состоящее». СПб.: в 2-х частях, 1736–1739 г.
10. Шлаттер И. А. Задачи, касающиеся до Монетного искусства. – СПб.: в 3-х частях, 1754–1758.
11. Спасский И. Г., Щукина Е. С. Медали и монеты Петровского времени. – Л.: Аврора, 1974, – 40 с., илл.
12. Юхт А. И. Русские деньги от Петра Великого до Александра I. – М.: Финансы и статистика, 1994, – 336 с.
13. О сделании червонных из имеющегося на Московском монетном дворе золота: Именной, объявленный из кабинета Ея Величества монетной конторе от 21 октября 1752 № 10038 // Полное собрание законов Российской Империи, первое собрание (1649–1825), Т. XIII (1749–1755), С. 717.
14. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императрицы Елисаветы I и Императора Петра III. – СПб.: 1896, т. 1, – 295 с.
15. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императора Павла I. – СПб.: 1890, – 47 с.
16. О присылке впредь Нерчинского серебра в Санкт-Петербург для разделения его от золота: Именной, объявленный из кабинета Ея Величества монетной конторе от 25 февраля 1752 № 9945 // Полное собрание законов Российской Империи, первое собрание (1649–1825), Т. XIII (1749–1755), – С. 609.
17. Об учреждении особой Конторы при лаборатории Берг-коллегии, для разделения золота и серебра: Именной, объявленный Президенту Берг-Коллегии Графу Мусину-Пушкину от 24 января 1769 № 13243 // Полное собрание законов Российской Империи, первое собрание (1649–1825), Т. XVIII (1767–1769), – С. 821–822.
18. Шлаттер И. А., Нартов А. А. Историческое описание до Монетного дела принадлежащее. // Горный журнал. – СПб.: 1832, Ч. 3, Т. 8,9; Ч. 4, Т. 10–12.
19. О предоставлении права всем Российским подданным отыскивать и разрабатывать золотыя и серебрянныя руды, с платежом в казну подати: Сенатский, по Высочайше утвержденному 27 марта мнению Государственного совета от 28 мая 1812 № 25119 // Полное собрание законов Российской Империи, первое собрание (1649–1825), Т. XXXII (1812–1815), – С. 328–329.
20. О способе разделения золота от серебра: Высочайше утвержденное положение Комитета министров, объявленное Сенату министром финансов от 10 октября 1825 № 30538 // Полное собрание законов Российской Империи, первое собрание (1649–1825), Т. XL (1825), С. 535–536.
21. Данилов В. Описание С.-Петербургского монетного двора // Горный журнал. – СПб.: 1825, Т. 1–3, 5.
22. Данилов В. Описание С.-Петербургского монетного двора // Горный журнал. – СПб.: 1826, Т. 5, С. 57–84.
23. Звягинцев О. Е. Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы: учебное пособие для вузов. 3-е изд. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1945, – 244 с.
24. Бонячевский. Описание разделения золота от серебра на С.-Петербургском монетном дворе, по способу Г. Пуассона // Горный журнал. – СПб.: 1843, Ч. I, Т. 1, – С. 44–91.
25. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императора Николая I. – СПб.: 1890, – 281 с.
26. Плаксин И. Н. Металлургия благородных металлов. – М., Металлургиздат, 1958, – 366 с.
27. Фоллендорф Н. П. Современное состояние монетного дела в России и Западной Европе. – СПб.: 1883, – 89 с.
28. Положение о С.-Петербургском монетном дворе: Высочайший Именной Указ, данный Сенату от 1 марта 1850 № 23995 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. XXV (1850), Ч. 1, С. 142–155.
29. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императора Александра I. – СПб.: 1891, – 147 с.
30. Об установлении сборов с золотопромышленников: Высочайше утвержденное мнение Государственного Совета от 19 мая 1881 № 183 // Полное собрание законов Российской Империи, третье собрание (1881–1913), Т. I (1881), С. 88–89.
31. Кашкаров М. П. Денежное обращение в России. – СПб.: 1898, в 2 т.
32. LBMA [электронный ресурс] URL: <http://www.lbma.org.uk/good-delivery-explained> (дата обращения 28.05.2017).
33. Металлургия благородных металлов / Под редакцией Л. В. Чугаева, 2-е изд., перераб. и доп., М., Металлургия, 1987, – 432 с.

34. Баймаков Ю. В., Журинов А. И. Электролиз в гидрометаллургии. – М.: Металлургиздат, 1963. – 616 с.
35. Редько А. Г. Материалы для истории С.-Петербургского монетного двора (1905–1912 г.)/Собр. и изд. А. Г. Редько – СПб.: тип. И. Бораганского, 1914, – XXX, 322 с.
36. РГИА. Ф. 570. Оп. 14. Д. 12–16.
37. РГИА. Ф. 570. Оп. 14. Д. 20.
38. О распространении на промышленные предприятия, добывающие золото и платину, Положения о государственном промысловом налоге: Высочайше утвержденное мнение Государственного Совета от 12 марта 1901 № 19788 // Полное собрание законов Российской Империи, третье собрание (1881–1913), Т. XXI (1901), Ч. 1, С. 125–127.
39. О свободном обращении шлихового золота: Высочайше утвержденное мнение Государственного Совета от 12 марта 1901 № 19789 // Полное собрание законов Российской Империи, третье собрание (1881–1913), Т. XXI (1901), Ч. 1, С. 127–128.
40. Макдональд Д., Хант Л. Б. История платины и ее спутников [электронный ресурс] URL: <http://www.matthey.ru/marketnews/Pt-book.htm> (дата обращения 31.05.2017).
41. Кеммерер А. О способе плавить платину, употребляемом Жаннетти в Париже // Горный журнал. – СПб.: 1825, Т. 6, С. 120–123.
42. Мамышев Н. Краткое описание обретения платины в Сибири // Горный журнал. – СПб.: 1827, Т. 1, С. 23–56.
43. Соболевский П. Об очищении и обработке сырой платины // Горный журнал. – СПб.: 1827, Т. 4, С. 84–114.
44. О чекане из Уральской платины новой монеты, ценной в три рубля на серебро: Именной, данный Правительствующему Сенату Указ от 24 апреля 1828 № 1987 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. III (1828), С. 494–495.
45. О принятии в казенных местах платиновой монеты по узаконенной ее ценности: Именной, данный Сенату Указ от 26 июля 1829 № 3038 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. IV (1829), С. 545.
46. Об установлении платиновой шести-рублевой монеты: Именной, данный Сенату Указ от 30 ноября 1829 № 3310 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. IV (1829), С. 818.
47. Об установлении платиновой двенадцати-рублевой монеты: Именной, данный Сенату Указ от 12 сентября 1830 № 3909 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. V (1830), Ч. 2, С. 28.
48. Положение Комитета Министров, с предложением предварительного Положения для учреждения платинового передела от 29 мая 1828 № 2065 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. III (1828), Ч. 1, С. 588–591.
49. Кованько 1-й. Описание способа обработки сырой платины, платиновых обрезков и опилок, введенных на С.-Петербургском монетном дворе в 1841 году // Горный журнал. – СПб.: 1843, Ч. II, Т. 6, С. 447–459.
50. Клаус. О добывании чистой платины из руды // Горный журнал. – СПб.: 1844, Ч. II, Т. 5, С. 255–262.
51. Вел. Кн. Георгий Михайлович. Монеты царствования Императора Александра II. – СПб.: 1888, – 223 с.
52. О мерах к развитию платинового промысла: Высочайше утвержденное мнение Государственного Совета, распубликованное 26 июня от 29 мая 1867 № 44632 // Полное собрание законов Российской Империи, второе собрание (1825–1881), Т. XLII (1867), Ч. 1, С. 823.
53. Соловьев Ю. И. Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской Академии наук: Исторический очерк. – М.: Наука, 1993. – 191 с.
54. ЦГА СПб Ф. 1516. Оп. 5. Д. 5.
55. Ларсон М. Я. На советской службе (записки спеца). – Париж, 1930.
56. Иванов С. Н. Церковное серебро в денежной реформе 1922–1924 гг. // Вестник ПСТГУ. Серия II: История. История русской православной церкви. – 2015, № 6 (67). – С. 38–63.
57. Сапоговская Л. В. Политика в сфере золота и золотопромышленная политика Республики Советов в 1917–1921 гг. [электронный ресурс] URL: http://bullion.ru/library/history/politika_v_sfere_zolotodobychi_respubliki_sovetov/ (дата обращения 21.06.2017).
58. Мостович В. Я. Рафинирование золота по способу Miller'a // Известия Томского Технологического Института [Известия ТТИ]. – 1925. – Т. 46, вып. 3., С. 61–82.
59. Документальный фильм «200 лет Ленинградскому монетному двору 1924 год» [электронный ресурс] URL: <https://www.youtube.com/watch?v=BOZ-wlUKdIM> (дата обращения 21.06.2017).
60. ЦГА СПб Ф. 1516. Оп. 10. Д. 12.
61. Моисеенко Н. Продукция Монетного двора НКФ СССР за 1925/1926 год // Петербургский коллекционер. – СПб.: 2014, № 3 (83), С. 34.
62. АО «Новосибирский аффинажный завод». Краткая историческая справка [электронный ресурс] URL: <https://affinaz.ru/> (дата обращения 21.06.2017).
63. АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» [электронный ресурс] URL: <http://www.ez-ocm.ru/about/history/> (дата обращения 21.06.2017).
64. Перечень стандартов, закрепленных за ТК 304 «Благородные металлы, сплавы, промышленные и ювелирные изделия из них; вторичные ресурсы, содержащие благородные металлы» [электронный ресурс] URL: <http://www.ez-ocm.ru/upload/iblock/news/Perehen%20GOST.pdf> (дата обращения 27.06.2017).
65. ФГУП «Московский завод по обработке специальных сплавов» [электронный ресурс] URL: <http://www.mzss.ru/nachalo-puti.html> (дата обращения 21.06.2017).
66. «Московский монетный двор». Исторические страницы [электронный ресурс] URL: <http://mmd.goznak.ru/about/history/> (дата обращения 25.06.2017).
67. ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В. Н. Гулидова». История. [электронный ресурс] URL: <http://www.krastsvetmet.ru/about/history.html> (дата обращения 18.10.2017).
68. Аукционный дом «Александр» [электронный ресурс] URL: <https://adacoins.ru/> (дата обращения 18.12.2017).