

чем через 10–15 лет. При этом важно учитывать, что прежде чем ратовать об увеличении объемов финансирования, следует восстановить систему геологического изучения недр с конкретной и актуальной целевой установкой. Без восстановления системы любые объемы финансов «уйдут в песок».

Если такая генеральная цель перед съездом поставлена не будет, то нет смысла его созывать, тратить время и средства ради очередной отметки о проведенном формальном мероприятии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дюков, А. Функции единого органа контроля над шельфовыми проектами мог бы взять Ростехнадзор. Источник: ТАСС, [ngs.org/news](https://ngs.org/news), 05.12.2018, 18:42.
2. Оганесян, Л.В. К VI Всероссийскому съезду геологов: предложения, надежды и опасения / Л.В. Оганесян // Информационно-аналитический бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». — 2007. — № 4. — С. 12–18.

3. Оганесян, Л.В. Органическое единство науки и практики при системном геологическом изучении недр и воспроизводстве минерально-сырьевой базы / Л.В. Оганесян // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — № 5. — 2016. — С. 25–29.
4. Резолюция IV Всероссийского съезда геологов. В книге «Исторические вехи и современные проблемы геологической службы России» (автор Л.В. Оганесян). — М., 2003. — С. 159–162.
5. Резолюция V Всероссийского съезда геологов // Отечественная геология. — 2004. — № 1. — С. 3–4.
6. Резолюция VI Всероссийского съезда геологов // Газета «Российские недр». — 2008. — 15.12. — № 22 (80).
7. Резолюция VII Всероссийского съезда геологов. [Rosnedra.gov.ru/article\\_print/6418.html](https://rosnedra.gov.ru/article_print/6418.html), 14.01.2013.
8. Резолюция VIII Всероссийского съезда геологов // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 1. — С. 57–59.
9. Чирков, В.Л. Вопрос номера: «Что Вы ждали от VIII Всероссийского съезда геологов и оправдались ли ваши ожидания», Межотраслевой научно-технический журнал «Недропользование XXI век» / В.Л. Чирков, Б.Р. Кусов, А.И. Тимурзиев. — № 6. — 2016.

© Оганесян Л.В., 2019

Оганесян Левон Ваганович // [oganesian@alliance-gr.com](mailto:oganesian@alliance-gr.com)

## ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 061.62:549.517.1(47+57)

Печенкин И.Г., Луговская И.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

### ВКЛАД ВИМСА В СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ КОРУНДОВ

*Более столетия ученые Европы решали задачу получения искусственных корундов. Советским ученым — создателям отечественного производства искусственного рубина и сапфира, пришлось экспериментальным путем решать многочисленные технологические задачи и создавать собственную аппаратуру. Большим научным достижением ВИМСа явилась разработка технологии процесса получения искусственного корунда и проектирование первой в СССР опытно-промышленной установки для его получения взамен импортного. **Ключевые слова:** ВИМС, синтетический корунд, рубин, сапфир, Сырмятников, Чернореченский химический завод.*

Pechenkin I.G., Lugovskaya I.G. (VIMS)

### CONTRIBUTION OF VIMS IN CREATING DOMESTIC SYNTHETIC CORUNDUM

*For more than a century, European experts have solved the problem of creating artificial corundum. Soviet scientists, creators of the domestic production of artificial ruby and sapphire, had to experimentally solve numerous technological problems and create their own equipment. A great scientific achievement of VIMS was the development of a technology for the production of artificial corundum and the design of the first pilot plant in the USSR to produce it instead of imported one. **Keywords:** VIMS, synthetic corundum, ruby, sapphire, Syromyatnikov, Chernorechensky Chemical Plant.*

### Введение

Более столетия выдающиеся естествоиспытатели Европы решали задачу создания искусственных рубинов и сапфиров. Впервые о синтетических рубинах мир заговорил на Всемирной выставке в Париже (1900 г.), где их демонстрировал Марк Паккье, ассистент Огюста Вернейля. В 1904 г. Вернейль публикует статью «Получение искусственных рубинов способом сплавления» и объявляет, что ему удалось изготовить высококачественные рубины, тождественные подлинным, а также разработать рецептуры окраски рубина и сапфира. Предприниматели стремительно организуют их промышленное производство. Началась эра синтетических минералов. В 1913 г. годовой объем производства искусственного сапфира достиг 6 млн карат (1200 кг), а рубина — 10 млн карат (2000 кг) [6, 8]. Хронология наиболее значимых открытий и изобретений приведена в таблице.

Советским ученым — создателям отечественного производства искусственного рубина, пришлось экспериментальным путем решать многочисленные технологические задачи и разрабатывать собственную аппаратуру. Сведения о производстве были секретом зарубежных фирм, а имеющиеся публикации не содержали описания деталей процесса получения кондционных образцов.

### Первые шаги

В нашей стране выращиванием рубина первым занялся Василий Васильевич Ильин, работавший до 1914 г. в Париже в лаборатории Огюста Вернейля. Еще в 1924 г. им с другими специалистами (А.Т. Федоров, К.С. Кнапский) было получено первое советское авторское свидетельство на опытный аппарат для синтеза рубина. В ноябре 1928 г. в Государственном

## Хронология работ по созданию синтетического корунда

Год	Событие
1800	Установлена идентичность рубина и сапфира
1801	Роберт Харе ( <i>Robert Hare</i> , 1781–1858) изобретает кислородно-водородную («газовую») горелку
1817	Жозеф Луи Гей-Люссак ( <i>Joseph Louis Gay-Lussac</i> , 1778–1850) обнаружил, что при нагревании алюминиевых квасцов получается чистый оксид алюминия. До синтеза корунда оставался один шаг
1819	Эдвард Даниэль Кларк ( <i>Edward Daniel Clarke</i> , 1769–1822) опубликовал детали своего эксперимента по сплавлению двух рубинов в один шарик на древесном угле в пламени газовой горелки
1837	Кристаллограф и химик Марк А. Гуден ( <i>Marc Antoine Augustin Gaudin</i> , 1804–1880) впервые создал синтетический рубин, сплавляя мелкие обломки природных кристаллов. Тогда не было технологии поддержания необходимой постоянной температуры в 2050 °С, и он отказался от продолжения своих опытов
1848	Работы по получению рубина вел Жак Джозеф Эбельмен ( <i>Jacques Joseph Ebelmen</i> , 1845–1851), сплавляя глинозем с борной кислотой и оксидом хрома
1857	Сенармон Анри Гюро ( <i>Senarmont, Henri Hureau de</i> , 1808–1862) получил мелкие ромбоздры рубина, нагревая в запаянной трубке до температур более 350 °С раствор хлористого алюминия
1873	Девятнадцатилетний Огюст Виктор Луи Вернейль ( <i>Auguste Victor Louis Verneuil</i> , 1856–1913) принят лаборантом в лабораторию Эдмона Фреми ( <i>Edmond Frémy</i> , 1814–1894) при Парижском музее естественной истории
1876	Эдмон Фреми выяснил, что смесь гидроксида калия и фторида бария позволяет растворить исходные ингредиенты при 1500 °С. Постепенное охлаждение приводит к кристаллизации с получением небольших ромбоздрических кристаллов рубина до 0,3 карата
1885	В Женеве появились из неизвестного источника «Женевские рубины», считавшиеся естественными драгоценными камнями. В них были обнаружены микроскопические пузырьки газа, указывающие на высокотемпературный синтетический процесс. Пьер Яннеттац ( <i>Jannettaz Pierre Michel Edouard</i> , 1832–1899) эксперт в области минералогии драгоценных камней, ознакомил с ними Э. Фреми и О. Вернейля
1886	Вернейль повторил этот процесс сплавляя порошкообразный оксид алюминия, содержащий небольшое количество хрома с помощью кислородно-водородной горелки и получил мелкие кристаллы рубина. Это послужило толчком для начала разработки «процесса Вернейля», основанного на идее получения синтетического корунда за счет сплавления различных ингредиентов
1891	Вернейль запечатывает в конверт рукопись с основными деталями своего метода. Уже были получены крупные кристаллы, но автор не знал, как справиться с напряжением в булях, которое вызывало их растрескивание. Эдмон Фреми публикует резюме своих исследований и иллюстрации искусственных рубинов
1892	Вернейль запечатывает во второй конверт записи о решении проблемы напряженности
1900	Впервые о синтетических рубинах мир заговорил на Всемирной выставке в Париже, где их продемонстрировал Марк Паккье, ассистент Вернейля. Благодаря Огюсту Вернейлю началась эпоха синтетических минералов
1902	Вернейль официально объявляет, что ему удалось изготовить высококачественные рубины, равные подлинным и достаточно большие, чтобы их можно было использовать в ювелирном деле
1904	Вернейль публикует статью «Получение искусственных рубинов способом сплавления» с кратким изложением результатов своих исследований
1905	Грант Джевахирджян ( <i>Hrand Djevahirdjian</i> , 1878–1948) основал первое промышленное предприятие (фирма «Джева») по производству искусственных рубинов, спроектировал оборудование на индустриальной основе: он объединил вернейлевские ростовые аппараты в кристаллизационные блоки и ввел элементы механизации
1907	Ежегодное мировое производство рубинов способом Вернейля достигает 5 млн каратов
1909	Парижская фирма Авраама А. Хеллера пригласила Вернейля возглавить лабораторию, где им были получены синие сапфиры

АО «Силикат-искусство» Государственного треста «Русские самоцветы» при Московском отделении Академии художеств создается технологическая лаборатория по выращиванию синтетических камней, где под руководством В.В. Ильина (1928–1930) работы выполняли его ученики — А.А. Гумилевский (руководитель лаборатории в 1930–1932), В.И. Егоров и С.К. Попов. Ими были выращены кристаллы до 60 карат [4].

В начале 1930-х годов заложены основы отечественного промышленного производства часов, приборов для авиации, морского флота и др. Резко возрастает потребность в искусственном рубине для изготовления точных технических камней: подшипников скольжения, подпятников, опор и т.п. Петергофский гра-

нильный завод осваивает обработку нового для него сырья, получаемого из московской лаборатории. В 1932 г. только для первого часового завода закуплено в Швейцарии камней на 30 000 золотых руб. По плану Второй пятилетки (1933–1937) проектировалось строительство еще 2-х часовых заводов и ряда заводов точного приборостроения. Стоимость экспорта камней в 1935–1937 гг. могла возрасти до 150 000 золотых руб. В связи с этим потребность создания отечественного промышленного производства синтетических рубинов и сапфиров становится одной из важнейших задач.

Необходимость повышения качества искусственно-го корунда и размеров выращиваемых буль обусловила привлечение к решению этой проблемы научно-иссле-

довательских институтов. Московская лаборатория перебазируется в Физико-химический институт спецзаданий. Здесь в 1932–1935 гг. была выполнена работа «Получение синтетического корунда» (ответственный — А.А. Гумилевский, исполнители — В.И. Егоров, С.К. Попов). Исследования структуры и оптических свойств полученных корундов, проведенные в Институте прикладной минералогии (с 1935 г. ВИМС), показали идентичность импортных искусственных камней и образцов Физико-химического института [3].

Параллельно (с 1932) проводит исследования Лаборатория кристаллографии А.В. Шубникова в Институте геологии и минералогии (ГеоМин). Здесь выдающийся изобретатель — Савелий Керопович Попов, основал Лабораторию синтеза минералов (1934), где в течение 14 лет создавал свои конструкции аппаратов для синтеза корунда. Полученные в лабораторных условиях результаты позволили организовать в 1935 г. первое, еще не совершенное, промышленное производство кристаллов на Угрешском Московском химзаводе № 93 Главного управления химической промышленности (Главоргхимпром), который имел необходимые для газовых горелок водород и кислород в виде отходов производства [2].

#### **Лаборатория экспериментальной минералогии**

Интенсивное развитие физической химии в первой половине XX в. привело к усилению экспериментальных исследований в минералогии и петрологии. В 1928 г. в петрохимической лаборатории Института прикладной минералогии Ф.В. Сыромятниковым был организован один из первых в СССР кабинет физико-химического анализа, где дифференциально-термические кривые использовались для определения минерального состава горных пород. Это направление получило название фазового анализа [1].

Понимая огромную важность проблемы минералообразования (генетической минералогии) для изучения геологии полезных ископаемых директор института профессор Н.М. Федоровский в 1935 г. преобразовал кабинет физико-химического анализа в лабораторию экспериментальной минералогии. Возглавить ее он поручил Ф.В. Сыромятникову — одному из основоположников экспериментальной минералогии в СССР, создателю техники и методов физико-химического анализа и синтеза минералов, известному ученому в области геологии нерудных полезных ископаемых и теории рудообразования. Основной задачей лаборатории Федор Васильевич считал исследование условий образования, растворения и разложения минералов при повышенных и высоких давлениях и температурах, а также работы по технической минералогии.

В этом же году Н.М. Федоровский предложил Ф.В. Сыромятникову организовать в лаборатории научно-исследовательскую работу по синтезу корунда. В лабораторию были приглашены А.А. Гумилевский, затем В.В. Ильин. Была создана опытная кристаллизационная аппаратура с использованием метана и кислорода и поставлена задача по изучению аппарата и метода кристаллизации Вернейля. В течение нескольких лет предстояло пройти путь, на который за рубежом было затрачено 25–30 лет. Начинать пришлось от нуля, охватив весь цикл производства.

В институте имелся небольшой опыт по выращиванию монокристаллов корунда. Еще в 1921–1933 гг. С.Ф. Глинка проводил первые опыты по получению синтетических минералов, начав их в «Lithogaea» и Институте прикладной минералогии.

В новой Лаборатории экспериментальной минералогии решались многие первоочередные проблемы: теоретическое изучение режима кристаллизации, спо-

собы изготовления опорных приспособлений для начального роста кристаллов, практическая разработка режима кристаллизации, установление соотношения между объемом пудры окиси алюминия и качеством выращиваемых кристаллов, возможность обжига пудры вне лаборатории — в заводских условиях, которые отличались от лабораторных при процессе получения прозрачных лейкосапфиров, рубинов и др.

Поставленные задачи не были решены до конца. Однако стала вполне ясной вся программа работ на опытном производстве, выяснились ее основные звенья, а главное — были получены данные, которые могли



**Всесоюзный Научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС, 1935)**



**Федор Васильевич  
Сыромятников**

стать исходными для составления технического проекта. Рассмотрим основные достижения коллектива лаборатории в начале 1930-х годов.

1. Первая проблема заключалась в выяснении вопроса — какое преимущество и почему дает применение квасцов в качестве исходного сырья для получения окиси алюминия — сырья,

путем перекристаллизации которого выращивают монокристаллы благородного корунда. Для этого были проведены химический, термический и дилатометрический анализы. По результатам лабораторных данных был сделан вывод, что квасцы, как исходный материал для получения чистой окиси алюминия имеет ряд неблагоприятных особенностей. В связи с этим делались попытки применить другие соединения алюминия, в первую очередь гидраты. Однако первенство осталось за квасцами: все другие образцы не давали возможности получить монокристаллы. Это обстоятельство явилось загадкой, которая была разгадана последующими опытами. Оказалось, что большое значение имеет скорость нагревания. Термический анализ и другие исследования показали, что квасцы сначала плавятся в собственной кристаллизационной воде. По мере ее испарения увеличивается вязкость. Вода закипает и ее пузыри с трудом проходят через вязкую массу. В результате происходит вспучивание. Оказалось, что вспучивание полезно. Оно позволяет получить более тонкозернистую массу. Чем быстрее нагрев, тем более тонкозернистая (получившая название бархатистой) получается окись алюминия.

Предстояло выбрать режим нагревания квасцов. Было установлено, что при медленном обезвоживании вспучивания может не происходить. Дальнейшее нагревание приводит сначала к удалению аммониевой группы, а затем и серного ангидрида. Возникла новая трудность — увеличение температуры с удалением примесей создает угрозу росту первичных кристаллов («пережог»), тогда как уменьшение предельной температуры нагревания приводило к «недожогу». Присутствие в порошке окиси алюминия вело к образованию пузырьков в монокристалле корунда. Теперь понятно насколько трудной оказалась разработка оптимального режима обжига квасцов. В дальнейшем, при массовом производстве возникли дополнительные трудности.

2. Далее были поставлены предварительные исследования режима кристаллизации. Возник вопрос об оптимальной конструкции кристаллизационного аппарата (горелки). За основу была взята конструкция

В.В. Ильина (1924). Весьма важным была проблема оптимального режим подачи пудры. В имевшейся конструкции пудра сыпалась вниз при сотрясении верхней части аппарата молоточком, удары которого регулировались натяжением пружины. Оказалось, что таким путем трудно добиться тонкой регулировки режима сотрясений, поэтому была выполнена работа по созданию электроударника. Опытами без факела пламени изучалось количество пудры, подаваемой в единицу времени, в зависимости от силы подаваемого тока. Вначале были затруднения с выбором удобной и надежной конструкции прерывателя тока, которые тоже были преодолены. Критически были рассмотрены отдельные узлы кристаллизационного аппарата. Важное значение придавалось камере смешивания газов. В лабораторных опытах применялись метан и кислород, в заводских — водород и кислород. Было испытано несколько вариантов конструкции, что позволило разработать оптимальные условия подводки газов. Необходимо было также установить оптимальное давление газов в режиме кристаллизации и продумать мероприятия по обеспечению стабилизации и тонкого регулирования их давления вентилями.

3. Материалом для изготовления опорных приспособлений был выбран высокоогнеупорный шамот. Форма удлиненного цилиндра (свечи) была разработана с длиной достаточной для исключения перегрева суппорта, который должен был иметь плавную регулировку высоты и обладать двумя скоростями — большой и малой. Верх суппорта представлял собой площадку достаточного размера для свободного перемещения свечи и установления необходимой соосности оси свечи и оси потока пудры. Факел пламени окружался шамотным цилиндром, позволявшим создавать необходимую область высоких температур для роста монокристалла корунда. В цилиндре, получившем на производстве название «печь», имелось небольшое отверстие, необходимое для наблюдения роста кристалла.

4. После того как была подготовлена аппаратура, специалисты приступили к разработке режима кристаллизации. Весь процесс был разделен на несколько стадий. Первая заключалась в создании зародышевого кристалла, получившего название «ножка». Для этого, после получения факела пламени со сравнительно невысокой температурой, создавался максимальный поток пудры. Окись алюминия спекаясь образовывала горку конической формы (конус). Количество подаваемой пудры постепенно уменьшалось, а температура пла-



**Сергей Федорович Глинка**



Анна Николаевна Лямина

подаваемой пудры и соответственно возрастала температура пламени. Повышалась зона оптимальной температуры пламени (2050 °С). После достижения определенной ширины кристалла наступала третья стадия: стабилизации давления кислорода и горючего газа, а также скорости подачи пудры. Очень важно было сохранять постоянным рост кристалла. После нескольких часов роста монокристалла окошко печи закрывалось шамотной пробкой и газы выключались одновременно. После охлаждения суппорт опускался, кристалл снимался и укладывался на асбестовый картон для охлаждения до комнатной температуры. Годные кристаллы раскалывались пополам различными приемами. Часто раскалывание происходило самопроизвольно при отламывании подошвы. Оптическое изучение показало, что в монокристалле корунда создавалось механическое напряжение. Оно приводило к возникновению небольшого угла оптических осей, плоскость которых лежала в плоскости раскола. Биссектриса угла оптических осей обычно располагалась под углом к геометрической оси монокристалла.

5. В тот период был большой спрос на лейкосапфир. Он особенно важен для изготовления подпятников для любых стрелочных и других точных приборов. Институт не располагал в первое время возможностью получать водород, поэтому применялся метан, что затрудняло возможность получения полноценных кристаллов, но проведение моделирующих опытов было доступно. После четырехсот экспериментов удалось предварительно установить зависимость между удельным объемом пудры и качеством выращиваемых из нее монокристаллов лейкосапфира. Оказалось, что пудра, пригодная для роста монокристаллов, имеет три вида агрегации. Легко распознаются микрочастицы (т.е. видимые при самом большом увеличении в обычный оптический микроскоп). Они обычно «слипаются» в более крупные комочки, различимые в лупу. Предполагалось, что

мени увеличивалась. Число кристаллических зерен в конусе постепенно уменьшалось. Верхушка его оплавлялась и становилась монокристалльной. В дальнейшем ее высота несколько увеличивалась без увеличения диаметра. Вторая задача заключалась в расширении ножи. Для этого постепенно увеличивалось количество

микрочастица, в свою очередь, представляет собой совокупность еще более мелких частиц порядка десятков миллимикрон. Это представление о структуре пудры хорошо объясняло быстрое плавление частиц окиси алюминия, происходящее, по наблюдениям Ф.В. Сыромятникова (1936), в момент замедления скорости их падения вблизи поверхности растущего монокристалла. Плавление в доли секунды могло происходить только с ультрамалыми частицами. В 1930-е годы это было гипотезой. Впоследствии с помощью электронного микроскопа действительно были обнаружены эти мельчайшие частицы. Их образованию способствовал характер термического распада квасцов.

6. Изучался также вопрос о том, какая модификация окиси алюминия образуется в результате обжига квасцов. Оказалось, что оптимального качества пудра состояла из кубической модификации ( $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Это было доказано рентгеноструктурным анализом, проведенным А.Н. Ляминой. При пережоге образовывалась более крупнозернистая пудра структуры  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Так как выращиваемый монокристалл рубина или лейкосапфира имел такую же структуру, то, очевидно, переход совершался с громадной быстротой в процессе прогрева падающей пудры в горелке.

7. Обжиг пудры в лаборатории производился в электрической платиновой муфельной печи химиком С.Д. Гурьевым. Этот способ со всех точек зрения являлся безукоризненным. Однако для массового производства в заводских условиях его трудно было рекомендовать. В ВИМСе ранее была организована керамическая лаборатория, которая располагала крупными печами различного типа. Принимается решение изучить возможность обжига квасцов в пламенной печи, работающей на керосине или мазуте. Изучался оптимальный режим обжига и качество получаемой пудры. Решался вопрос не только получить оптимальную структуру, но также исключить возможную засоренность пудры печной золой. Опыты показали, что при правильном управлении обжиг в пламенной печи вполне возможен. Такой вывод был очень важен.

1,0 см



Рубин



Лейкосапфир

Були корунда, выращенные в лаборатории Ф.В. Сыромятникова



Михаил Ильич Койфман

которые содержали летучие вещества и в процессе нагревания рассеивались в массе окиси алюминия. На первых порах в лаборатории был использован хромовокислый аммоний. Для более равномерного распределения ингредиентов изучались два способа. Первый состоял в смешивании сухих солей (алюминиевых квасцов и соли хрома) путем истирания. Он применялся, когда квасцы и соль хрома были неоднородны по величине кристаллических зерен. Второй заключался в обливании квасцов раствором хромовой соли. Оба показали удовлетворительные результаты. Примесь хрома сказывалась как на температуре обжига массы, которая понижалась примерно на 100 °С, так и на скорости роста монокристалла рубина. Она была заметно ниже, чем у лейкосапфира. Чем больше была примесь хрома, тем сильнее было ее влияние. На первых порах получались светло-красные рубины. Впоследствии, на опытной производственной установке, выращивались темно-красные, почти черные разновидности. Трудности их получения были довольно велики. Однако часовщики требовали рубины именно такого цвета, т.к. после распиловки полученный очень маленький опорный камень (вес не более 4 мг) имел розовую окраску, позволяющую мастерам работать, не напрягая зрение.

Для проведения некоторых исследований привлекались другие лаборатории ВИМСа (химическая, спектроскопическая, рентгеновская и оптическая). Выяснялся химический состав квасцов и пудры разного обжига, а также структура окиси алюминия, проблема окрашивания корунда облучением и др. В лаборатории М.И. Койфмана изучались твердость рубинов, лейкосапфиров и их механические свойства, а отходы при выращивании монокристаллов (III сорт, основные конуса и др.) использовались для полировальных и абразивных целей. Результаты проделанной большой исследовательской работы позволяли приступить к составлению технического задания на проектирование

После того, как стали ясны основные вопросы обжига квасцов и получения белой пудры для кристаллизации лейкосапфира, в лаборатории приступили к опытам по получению пудры, пригодной для выращивания рубина.

8. В процессе исследования были выбраны хромовые соли. Из них оказались пригодными те, ко-

опытной производственной установки по выращиванию монокристаллического корунда различной окраски.

Однако это не решало проблему нехватки сырья. Нужна была кардинальная реорганизация исследований с разработкой научных основ технологии процесса и последующим проектированием опытно-промышленной установки для получения благородного искусственного корунда (рубин, сапфир) взамен импортного.

#### Создание первого в СССР производства синтетических корундов

Осенью 1935 г. в разгар исследовательской работы по синтетическому корунду в ВИМСе состоялось совещание, на котором присутствовал Г.Б. Лауэр — руководитель Отдела горной и металлургической промышленности Госплана СССР. Он, показав сапфир швейцарского производства, сообщил, что решается вопрос о создании отечественной часовой промышленности. В связи этим возникла необходимость организации в СССР первого производства синтетического корунда. Был задан вопрос: «Может ли ВИМС помочь в этом деле?». Ф.В. Сыромятников сообщил, что, несмотря на неоконченные научно-исследовательские работы, можно взяться за это дело, если сначала производство будет опытным. Предложение было одобрено и научное руководство работами по созданию синтетического корунда поручено Всесоюзному научно-исследовательскому институту минерального сырья (ВИМС).

В Госплане неоднократно проводились совещания с привлечением представителей ряда наркоматов, в том числе от Государственного треста «Русские Самоцветы». В числе обсуждаемых вопросов был выбор места, где возможно организовать опытное производство. «Русские Самоцветы» предложили построить автономный комбинат, обеспечивающий всем необходимым самостоятельно (собственное производство водорода и кислорода, квасцов, керамики и др.). ВИМС предложил построить опытное производство путем использования отбросных газов (водорода и



Синтетические сапфиры (Лаборатория экспериментальной минералогии, ВИМС)

кислорода) действующего Чернореченского химического завода (ЧХЗ), а для производства квасцов привлечь другие специализированные предприятия [7]. Предложение ВИМСа принимается Госпланом с рекомендацией осуществить организацию опытного производства в две стадии: первая — 20 горелок, вторая — 100 горелок с привлечением к работе специалистов ВИМСа и треста «Русские Самоцветы». При окончательном редактировании предложения Правительству Г.Б. Лауэр посчитал целесообразным работу поручить только ВИМСу.

14 ноября 1935 г. состоялось заседание Совета Труда и Оборона (СТО), на котором был обсужден вопрос: «О расширении производства часовых камней» и принято соответствующее постановление, в котором отмечалось:

*... п. 4. В связи с наличием на Чернореченском химическом заводе НКТП отбросного водорода и кислородной установки, предложить ТЯЖпрому (по Главхимпрому и Институту Минерального Сырья) организовать на базе этого газа опытно-полузаводскую установку по производству искусственного корунда с тем, чтобы первые 20 горелок были установлены к 1 июля 1936 года и расширение до 100 горелок было осуществлено в первой половине 1937 г.*

Председатель Госплана СССР В.И. Межлаук рекомендовал быстрее перейти от изучения теоретических основ создания синтетических минералов к разработке оригинального оборудования для их выращивания и внедрения в производство.

С этого времени деятельность Лаборатории экспериментальной минералогии была подчинена одной идее: выполнению постановления СТО. Началась бурная организационная деятельность, а исследовательские работы были направлены на выработку технологических параметров, ориентированных на массовое производство. Ф.В. Сыромятниковым было составлено организационное предложение, утвержденное приказом по институту.

#### ПРИКАЗ

*п. 1. Организовать бригаду в составе: бригадир — Сыромятников, пом. бригадира — Гумилевский, мастер-специалист — Ильин, технолог — Шманенков, керамик — Базилевич, механик — Падлишевский, конструктор — Абрамов, юрист — Исаханьян.*

*п. 2. Считать работу по организации получения корунда первоочередной и ведущей в ВИМСе. Поручения бригады исполнять в первую очередь.*

*п. 3. Подготовить проект договора с ЧХЗ и смету на выполнение организационных и исследовательских работ.*

22 ноября 1935 г.

профессор  
Н.М. Федоровский

Отметим, что в данном случае на практике был применен внедряемый Н.М. Федоровским комплексный метод — участие специалистов разного профиля

в проведении работ. В дальнейшем состав бригады изменился: А.А. Гумилевский вскоре ушел из ВИМСа. Накопленный им опыт был использован при проектировании в 1936–1938 гг. промышленных цехов для производства синтетических рубинов на Чирчикском азотно-туковом комбинате. Работа была прервана с началом войны и возобновлена с 1946 г. Позднее



Анатолий Александрович  
Гумилевский

А.А. Гумилевский работал в Угличском филиале научно-исследовательского института часовой промышленности, где продолжил исследования по созданию искусственных рубинов.

В дальнейшем рабочая бригада уменьшилась до 4 человек: Ф.В. Сыромятников, В.В. Ильин, В.О. Диковский (специалист-керамик) и В.Л. Миттрах (конструктор горелок), который перешел на другую работу, как только были смонтированы первые 20 горелок на территории ЧХЗ.

1 декабря 1935 г. состоялось заседание научно-технического совета ВИМСа, где был заслушан доклад Ф.В. Сыромятникова о работе лаборатории института по синтетическому корунду и сообщении представителя Главоргхимпрома Ф.И. Кузнецова, в подчинении которого находился ЧХЗ. Было решено поручить ВИМСу проектирование и организацию производства, а Чернореченскому химическому заводу строительству (по проекту Института), подводку газов (водород и кислород) и хозяйственное руководство установкой.

Первым мероприятием стала разработка основ договора с Чернореченским химическим заводом. Нужно было получить его согласие на организацию опытной полузаводской установки. Для переговоров на ЧХЗ выехали Ф.В. Сыромятников и В.В. Ильин, чтобы убедить руководство завода не отказываться от договора. Как выяснилось, коллектив был перегружен различными заданиями (в том числе и постановлениями СТО). По воспоминаниям Ф.В. Сыромятникова (1974) пришлось пойти на хитрость. В.В. Ильин привез ряд цветных отшлифованных образцов из рубина и сапфира, и до заседания они были показаны сотрудникам завода, что произвело буквально магическое действие. Все были в восторге, что на заводе будут делать такие «камушки». Совещание 26 декабря 1935 г. об организации опытного производства искусственного корунда завершилось подготовкой проекта договора. После согласования окончательный договор был подписан 21 января 1936 г.

## Проектирование опытной установки производства синтетического корунда

Не дожидаясь окончательного подписания договора с ЧХЗ, в лаборатории начали проводить интенсивные исследовательские работы для получения данных, необходимых для проектирования. Ф.В. Сыромятниковым и В.В. Ильным были установлены: 1 — расход газов (водорода и кислорода) на выращивание кристаллов корунда за определенное время, 2 — оптимальные величины рабочего давления (при входе в кристаллизационный аппарат) обоих газов и его изменения в процессе роста кристаллов, 3 — максимально допустимые пределы примесей других газов, 4 — условия взрывобезопасной работы на установке. Кроме того, определены ориентировочные данные по расходу сырья — квасцов, пудры, других химикатов на единичный кристалл определенного веса в каратах. В.О. Диковский разработал методику получения окиси алюминия непрерывным потоком для выращивания буль. А.Н. Лямина определила модификации окиси алюминия, пригодные для синтеза корундов, создала методику структурного анализа качества сырья, провела их изучение с применением рентгеноструктурного анализа. После окончательного выбора типа печей (нефтяная печь, как основная, муфельная, криптоловая, электрическая печь как экспериментальная) был установлен расход мазута, электроэнергии, тиглей и сит для просеивания пудры.

Параллельно в Проектном бюро ВИМСа под руководством Я.А. Абрамова велась работа над проектом

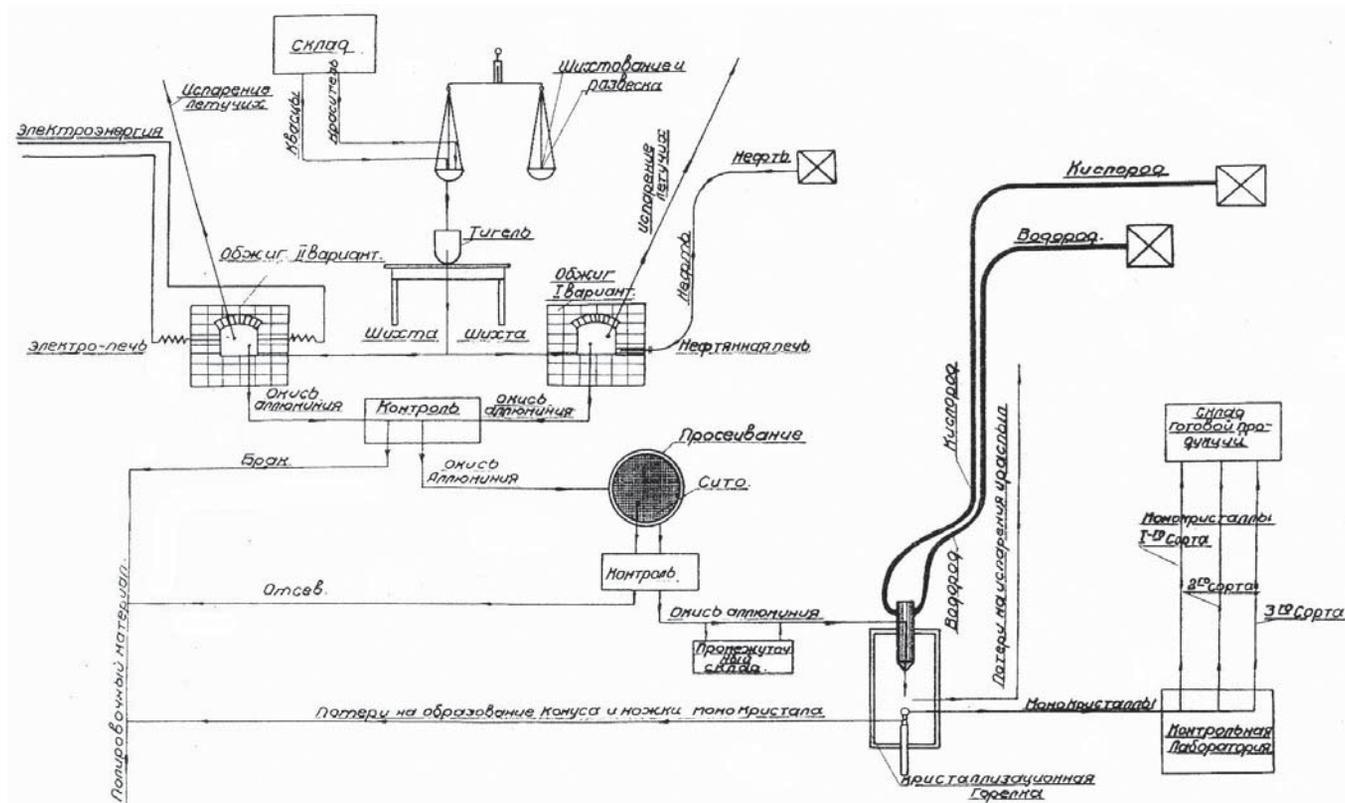


Владимир Олимпиевич Диковский



Яков Андреевич Абрамов

опытной установки по выращиванию кристаллов (Я.А. Абрамов, Ф.В. Сыромятников, В.В. Ильин, А.А. Гумилевский, А.Д. Ситников, И.А. Чернышов, В.Л. Миттрах). Предварительные расчеты показали, что в 1936—1937 гг. при выпуске 70 млн шт. часов, потребуется 5600 кг рубина при получении I сорта 5 % или 1867 кг при получении I сорта 15 %. За смену предполагалось производить 100 карат на одной горелке. Для выполнения работ в таком объеме была разработана эффективная технологическая схема производства синтетического корунда и качественная схема, дающая наглядное представление о процессе получения монокристаллов из алюмоаммониевых квасцов.



Технологическая схема производства синтетического корунда на Чернореческом химическом заводе

Таким образом проект явился внедрением в промышленность совершенно нового производства в СССР. Его особенность заключалась в разработке нового усовершенствованного типа горелок для выращивания монокристаллов рубина и сапфира, а также совершенно нового типа печей для обжига квасцов с получением исходного сырья для кристаллизации с освобождением его от вредных примесей.

13 февраля состоялся НТС рудного сектора ВИМСа, на котором Ф.В. Сыромятников и Я.А. Абрамов представили проект, который был одобрен и утвержден (186 стр. текста и 8 листов чертежей). 16 февраля 1936 г. он был вручен представителю Чернореченского химического завода. С этого момента ЧХЗ имел возможность приступить к проектированию своей части работ.

В ВИМСе была проведена специальная работа (Н.А. Дюкалов, Б.М. Коган) для выяснения потребностей в лейкосапфире и рубине для различных отраслей промышленности. По суммарным подсчетам годовая потребность 1936 г. оказалась порядка 8 т, а к 1939 г. по предварительным расчетам должна была составить уже 80 т.

В Петергоф на фабрику № 1 была отправлена просьба выслать технические требования на лейкосапфир и

рубин. Командировка Ф.В. Сыромятникова на фабрику подтвердила необходимость ускоренного создания отечественного производства синтетического корунда. Выяснилось, что подпятники изготавливаются из агата и заграничного лейкосапфира, а часовые камни только из агата.

Учитывая, что к началу работы полузаводской опытной установки должен быть запас необходимого сырья, было уделено большое внимание квасцам. Химически чистые квасцы нигде не выпускались. С просьбой о продаже нескольких тонн квасцов или их изготовления обратились на Химический завод им. Л.Я. Карпова в Москве, но количество изготавливаемых на нем квасцов оказалось слишком малым (2 т в год на весь СССР). Затем началась переписка с Бондюжским химическим заводом. Количество квасцов он мог поставить достаточное, но гарантии качества не давал и позднее отказался от поставок, ссылаясь на то, что условий на изготовление чистых квасцов у себя не имеет. Проблема наличия достаточно чистых квасцов оказалась очень трудной, а получение их необходимого качества растянулось на несколько лет.

Особое внимание было уделено вопросу взрыво-безопасности. Известно, что при содержании в водороде 6 % кислорода или в кислороде — 11 % водорода происходит взрыв. Надо было добиваться гарантии меньшего содержания газов, но какой предел установить для оптимальной кристаллизации не было известно. Это предстояло установить опытным путем. В процессе работ выработали следующие правила. Утром, перед началом смены, после интенсивного проветривания производился анализ воздуха и газов. Он продолжался во все время работы аппаратчиков на горелках. Определялся водород и азот в кислороде, в водороде содержание кислорода. Опыт показал, что даже небольшие колебания кислорода в водороде резко сказывались на качестве и форме кристаллов корунда. При содержании 2 % кислорода в водороде работы по выращиванию кристаллов корунда прекращались.

Изготовление горелок (кристаллизационных аппаратов) также оказалось делом также непростым. Согласно договору ВИМСа с ЧХЗ, первый был обязан спроектировать и изготовить их из материалов, предоставляемых заказчиком. Однако подведомственный ВИМСу завод «Геомашина», ответственный за выпуск горелок, не выполнил своих обязательств, ссылаясь на отсутствие необходимых цветных металлов. ВИМСу пришлось ходатайствовать об их получении перед Наркомтяжпромом. Кроме того, оказалось, что отсутствуют медные трубки для коммуникации газов. Наконец они были получены, но не тех размеров, которые нужны. Затем начались неурядицы с микровентильями. Изготовление их затянулось. Из пятидесяти изделий оказались пригодными только двадцать три.

Когда все трудности были преодолены и горелки, наконец, хотя и с опозданием, отправлены заказчику, это уже не имело никакого значения, так как здание цеха на ЧХЗ еще не было готово. И злополучные горелки долго пролежали на заводском складе.



Технологическая записка проекта опытной установки (обложка)

## Организация производства — строительство и обучение кадров

После утверждения и передачи технического проекта ЧХЗ завод мог полностью развернуть проектирование строительства опытного производства синтетического корунда. В соответствии с договором с 1 июня 1936 г. намечалось начало монтажа горелок, чтобы с 1 июля они уже работали. Однако срок не был выдержан. В мае начальник проектного бюро ВИМСа Я.А. Абрамов и научный руководитель работ Ф.В. Сыромятников приехали на завод. Для ускорения работ было принято решение провести строительство в два этапа. Сначала построить помещение под двадцать горелок, а позднее — под оставшиеся восемьдесят. Была рассмотрена и утверждена схема подводки газов. Снова обсуждался вопрос о квасцах, так как их заготовка должна опережать строительство. Руководство ЧХЗ, ранее соглашавшееся организовать их производство на месте, теперь наотрез отказалось. Это обусловило в дальнейшем большие трудности с повышением от этого качества корунда. Как видно, проектные работы не велись с необходимой энергией, что явно грозило срывом сроков.

За это время из Главоргхимпрома выделилось Главное управление азотной промышленности (Главазот) и проблема производства корунда перешла к нему. Поэтому 22 мая Ф.В. Сыромятников послал главному инженеру Главазота проф. Н.И. Гельперину требование о том, что необходимо ускорить темпы работ на ЧХЗ, а 9 июня перед ним же поставил вопрос о квасцах. 19 августа состоялась беседа с директором Бондюжского завода. Он сообщил, что ЧХЗ получено 10 т сернокислого аммония и ведутся опыты по получению квасцов марки ч.д.а. (чистый для анализа). Это было временное решение, т.к. для дальнейшей работы квасцы требовались еще более чистые, которые впоследствии Бондюжский завод поставить не смог. Позднее Главазот организовал производство квасцов в своей системе в г. Сталино (Донецк).

29 августа Е.Л. Бродов (Главазот) утвердил проект цеха корунда, чтобы срочно начать строительство, а 19 сентября стало известно, что ЧХЗ предполагает осенью сделать только фундамент. Таким образом, запуск опытной установки опаздывал на год. В этой обстановке Ф.В. Сыромятников обратился с жалобой на задержку строительства цеха корунда на ЧХЗ в Комиссию советского контроля при СНК СССР. Это имело положительный эффект. Завод принял решение начать строительство немедленно и строить в тепляках с тем, чтобы в январе—феврале 1937 г. осуществить пуск установки. Но сроки все равно были сорваны, несмотря на все старания ВИМСа, и строительство здания затянулось.

Воспользовавшись этим начал активно действовать Государственный трест «Русские Самоцветы». Он предложил спроектировать и построить полностью самостоятельное производство: электролизер для добычи газов (водорода и кислорода из воды), собственный выпуск квасцов и керамических изделий (тиглей, свечей и др.). Обсуждение этого предложения происходило в Госплане, Главазоте и у Наркома местной про-

мышленности РСФСР И.П. Жукова. Везде Ф.В. Сыромятникову приходилось выступать и доказывать нерентабельность данного предложения — длительные сроки осуществления и неэкономичность. Только на проектирование отводилось около трех лет. Кроме того, если затраты по проекту ВИМСа составляли 1000 руб. на одну горелку, то по предложению треста — свыше 10 тыс. руб. Из-за отсутствия предполагаемых коэффициентов выхода изделий и неполной ясности областей использования оставался неизвестным объем выпускаемой продукции такого крупного комплекса. Эти доводы ВИМСа были настолько убедительны, что предложение было везде отклонено. Трест «Русские Самоцветы» остался очень недоволен и у его руководства возникло неприязненное отношение к установке ЧХЗ, которое привело к преувеличенным требованиям к качеству продукции молодого производства.

Строительство здания цеха шло медленно, с перебоями, но все-таки продвигалось вперед. Наступил 1937 г.

Пришла пора приступать к обучению кадров. Для ЧХЗ производство благородного корунда (лейкосапфир, рубин) являлось областью совершенно незнакомой. Поэтому ВИМСу пришлось провести очень большую работу, чтобы подготовить коллектив к новому производству. До окончания строительства цеха в августе 1937 г. было организовано обучение инженерных работников и рабочих (аппаратчиков). Была составлена программа лекций и практических занятий для обеих категорий работников. Программа состояла из общего и специального курсов. Последний подразделялся на три специальности: 1 — для мастеров по кристаллизации, 2 — для мастеров по обжигу квасцов, 3 — для аналитиков и лаборантов. Когда было пущено производство — зажжены первые горелки — практическое обучение приемам работы провел В.В. Ильин. В.О. Диковский осуществлял занятия по обращению с печами, обжигу квасцов, а впоследствии изготовлению керамического припаса в цеху (тигли, крышки, свечи).

Возведение цеха и монтаж оборудования проходили очень трудно. Сказывалось частое отсутствие материалов (кирпич, шнур, кабель, электролампы и др.), наличие брака в поставляемых газовых горелках, непригод-



Синтетический рубин (Лаборатория экспериментальной минералогии, ВИМС)



**Савелий Керопович Попов**

ность поставленных квасцов и др. Настал момент, когда предпусковые работы совпали по времени с длительно продолжающимся монтажом. Сотрудникам ВИМСа (Ф.В. Сыромятников, В.В. Ильин, В.О. Диковский и В.Л. Миттрах) приходилось вникать во все мелочи на всех этапах работ.

#### **Период пуска**

Из ЧХЗ пришло долгожданное известие, что к пуску можно приступить 7 декабря 1937 г.

На первом этапе было необходимо наладить обжиг квасцов для накопления исходного сырья (полупродукта) для кристаллизации пудры. На завод приехал В.О. Диковский. Кругом — строительный мусор и грязь. По его требованию была наведена чистота, так как пыль, несомненно, могла оказывать вредное влияние на кристаллизацию. Введено было в правило каждодневное мытье полов.

После разогрева печи, ведущегося круглосуточно, провели пробный обжиг тиглей. Для их чистки применялись бракованные квасцы. После этого начался обжиг чистых квасцов в нормальном режиме. В горячие тигли засыпалась подготовленная в шихтовальне взвешенная порция квасцов, и они ставились в печь. Для белой пудры поддерживалась температура 1200 °С, для рубиновой — 1100 °С. С самого начала велся строгий учет продукции. Алюминиевая посуда, в которой заготавливались квасцы, а затем поступала пудра, нумеровалась. В журнал записывали номер партии квасцов. Поскольку кратковременный обжиг давал неоднородный продукт, пудра поступала в просеивочную, где она просеивалась через сита № 80 и № 100. Порция +80 браковалась, фракции –80 и –100 применялись для кристаллизации. Впоследствии выяснилось, что последняя фракция давала несколько лучшие результаты.

Вскоре приехали на завод В.В. Ильин, Ф.В. Сыромятников и С.К. Попов (сотрудник Лаборатории кристаллографии А.В. Шубникова), специалист в области создания аппаратуры по выращиванию корунда. Началась интенсивная работа в кристаллизационной сек-

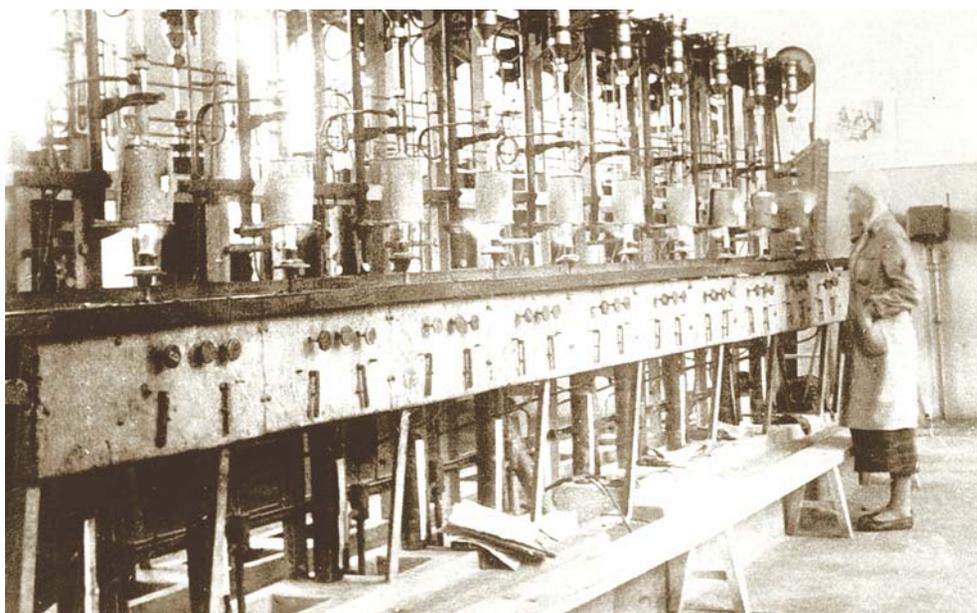
ции: устранены дефекты горелок, налажен механический ударник, проверены гидравлические затворы и линии подводки газов и др. Когда был заготовлен некоторый запас пудры (проанализированный, находящийся в закупоренной посуде) можно было приступить к пуску секции кристаллизации.

Наконец все было готово и наступил торжественный день пуска цеха — 25 января 1938 г. По воспоминаниям Ф.В. Сыромятникова (1974) на заводе был пущен слух о том, что корунд взрывоопасен, и как только зажгут горелки — завод взлетит на воздух. Поэтому присутствующие невольно жались поближе к выходу. В 11 часов утра пустили кислород, в 16 часов — водород. В 17:30 зажгли одну горелку — взрыва не произошло! Начали работать — вырастили первый небольшой кристалл.

По воспоминаниям очевидцев первый образец создала Ольга Пушкиова, самая юная аппаратчица: «Прищурив глаза, Оля нетерпеливо заглядывала в прорезь раскаленной печурки. Пламя ослепляло ее, оглушало своим сердитым шумом, но никакого чудо-камня не было, только сбоку выросло на оплавившейся свече какое-то копытце на кривой, неуклюжей ножке. Сверху на него тонкой струйкой сыпалась белая мука окиси алюминия. От этого копытце медленно росло и расширялось. Увеличившись до размеров лесного ореха, оно неожиданно оплавилось и как-то скрючилось. Вместо яркого драгоценного камня-самоцвета со свечи сняли дымчатую загогулину. И все же это был корунд, прозрачный, прочный — долго еще этот прозрачный уродец оставался предметом изучения и гордости.

— Первый блин — комом, первый корунд — крючком, — шутил Василий Васильевич Ильин» [7].

На другой день засыпали пудру в пять горелок и все они были зажжены. Однако вскоре давление кислорода уменьшилось и все кристаллы полопались. У каж-



**В кристаллизационной секции цеха по производству синтетических корундов (1938)**

дой горелки были поставлены аппаратчики и началось коллективное практическое обучение. Работали сначала в одну смену. Каждый аппаратчик имел карту, которую обязан был заполнять. В ней необходимо было указывать номер квасцов, номер пудры, величину кристалла и его качество, состав газов и колебание давлений в них. Очень важно было установить связь между всеми фактами и качеством монокристалла. С одной стороны, это казалось преждевременным, поскольку мастерства у аппаратчиков не было, но, с другой стороны, надо было создать привычку к точному учету всех факторов. 015

Усилиями В.В. Ильина и С.К. Попова запустили все двадцать горелок. К сожалению, получалось много брака. Иной раз аппаратчица вырастит хороший кристалл, а потом она же производит только брак, и никто, даже профессор Ф.В. Сыромятников, не могут понять, почему все это происходит. Проведение исследований в Лаборатории кристаллографии АН СССР еще раз подтвердило, что кристаллы — действительно корунды со всей присущей им твердостью.

Цех работал с перерывами. Руководство завода было недовольно. Его можно понять. На строительство первой очереди цеха затратили немало денег, рассчитывали, что затраты окупятся быстро, но пока — одни убытки. Было принято решение приостановить строительство второй очереди. Начавшаяся война прервала работу по улучшению технологии процесса получения синтетического корунда и усовершенствованию оборудования для его выращивания. Не хватало водорода и кислорода, а донецкие квасцы, необходимые для изготовления шихты, остались на территории, захваченной врагом. Цех пришлось временно законсервировать.

### Заключение

Большим научным достижением ВИМСа явилась разработка технологии процесса получения искусственного корунда (руководитель проф. Ф.В. Сыромятников) и проектирование первой в СССР опытно-промышленной установки для получения искусственного благородного корунда (рубин, сапфир) взамен импортного. Под руководством ВИМСа монтаж установки на Чернореченском химическом заводе был завершен в декабре 1937 г., а первые горелки зажжены в январе 1938 г. К 1 мая этого же года пуск установки первой очереди (20 горелок) был осуществлен на полную мощность. Из полуфабриката (пудры) получены кристаллы корунда рекордной величины — 207–250 карат.

В связи с успешным завершением задания Совета труда и обороны (постановление от 17.11.1935) о получении искусственного корунда, послужившего материалом для изготовления кремлевских звезд, в приказе ГГУ НКТП от 26.06.1938 № 279 были отмечены: Ф.В. Сыромятников (руководитель), В.В. Ильин, В.О. Диковский (инженер), В.Л. Миттрах, С.П. Добровольский (электромеханик), М.В. Федоров (механик). Путь от научно-исследовательских работ до промышленного производства отечественных синтетиче-

ских корундов был пройден всего за десять лет. Это позволило накануне Великой Отечественной войны наладить выпуск точной аппаратуры для оборонной промышленности с подпятниками из отечественного рубина и лейкосапфира, полностью отказавшись от экспорта этих материалов [5].

В 1945 г. на Чернореченском химическом заводе восстановили и значительно расширили прерванное войной производство синтетических корундов. В 1950 г. за создание аппаратуры и технологии производства рубинов А.В. Шубникову, С.К. Попову, В.В. Святухиной и А.И. Рукавишникову была присуждена Сталинская премия третьей степени.

*При написании статьи использованы отчеты Лаборатории экспериментальной минералогии (1932–1939) и воспоминания Ф.В. Сыромятникова из рукописного фонда НТБ им. проф. В.В. Аршинова. Авторы выражают признательность за оказанную помощь при подборе материала для статьи сотрудникам ФГБУ «ВИМС»: Н.Э. Коростелевой, И.Е. Любимовой, Л.И. Полупановой, Г.В. Робустовой, Г.В. Румянцевой, Н.А. Серпер.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. ВИМС–LXXV / Гл. ред. А.Н. Еремеев. — М.: Недра, 1993. — 334 с.
2. Гумилевский, А.А. К 20-летию организации производства драгоценных искусственных камней (корунда) в СССР / А.А. Гумилевский // Информ. бюл. — М.: НИИЧаспром, 1948. — № 3 (16).
3. Егоров, В.И. Синтетические рубины и сапфиры / В.И. Егоров // Минеральное сырье. — 1935. — № 6. — С. 21–26.
4. Литвинов, Л.А. Производству монокристаллов корунда в СССР — 50 лет / Л.А. Литвинов / Монокристаллы и скантлляторы, их получение и свойства. — Харьков: ВНИИ монокристаллов, 1970. — С. 142–147.
5. Органы управления отраслью «Геология и разведка недр» от Геологического Министерства геологии СССР: [Справочник] / М-во геологии СССР. — Л.: Недра, 1990. — 687 с.
6. Рубин и сапфир / Отв. ред. Л.М. Беляев. — М.: Наука, 1974. — 236 с.
7. Чернореченский химический ... (50 лет) [1915–1965: сб. статей] / Сост.: Н.М. Серяков, Н.А. Липатов. — Горький: Волго-Вятское книжное издательство, 1965. — 311 с.
8. Элзулл, Д. Искусственные драгоценные камни: Пер. с англ. / Предисл. И.Я. Некрасова. 2-е изд. / Д. Элзулл. — М.: Мир, 1986. — 160 с.

© Печенкин И.Г., Луговская И.Г., 2019

Печенкин Игорь Гертурдович // pechenkin@vims-geo.ru  
Луговская Ирина Германовна // lig\_vims@mail.ru

УДК 550.84

**Соколов С.В., Марченко А.Г. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)**

### ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ И ПЛОТНОСТИ ОПРОБОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПЛОЩАДНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГНОЗА

*До настоящего времени в России при площадных геохимических работах разных масштабов широко используются полуколичественные методы анализа, высокая погрешность которых отчасти компенсируется избыточной плотностью сетей опробования. Обоснованы*