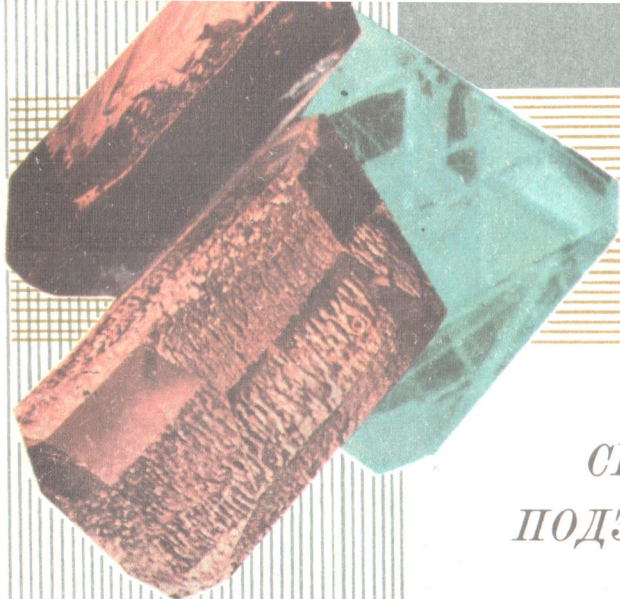
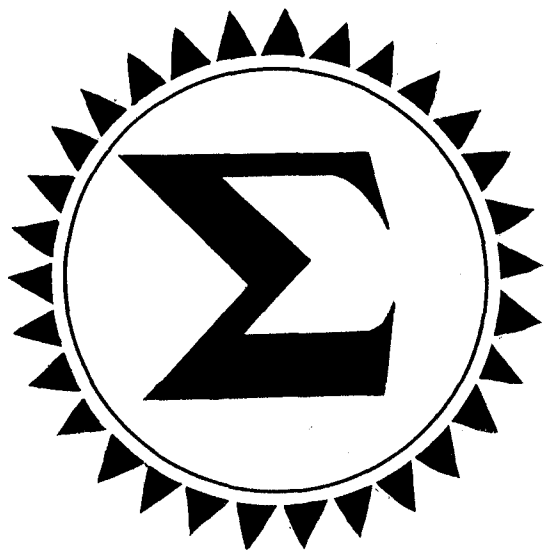


РАССКАЗЫ СИБИРСКИХ УЧЕНЫХ



СЕКРЕТЫ  
ПОДЗЕМНОЙ  
КУХНИ





# СЕКРЕТЫ ПОДЗЕМНОЙ КУХНИ

*Что такое  
экспериментальная  
минералогия  
и чем она занимается?*

---

---

РАССКАЗЫВАЕТ

*кандидат  
геолого-минералогических  
наук*

**АЛЕКСЕЙ  
БОРИСОВИЧ  
ПТИЦЫН**

---

---

ЗАПАДНО-СИБИРСКОЕ  
КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Новосибирск

1975

*Влага меня не разложит на атомы,  
Выйду сухим из огня я.  
Мыслями, с неба высокого взятыми,  
В эксперименты влезаю.  
Печи надежно асбестом обернуты.  
Смачно грещит автоматика,  
Тылом железным к Природе повернута  
Наша родная тематика.  
Мы не позволим себя игнорировать,  
С нами шутить не годится.  
Всюду, где можно, мелькают пронырливо  
Наши веселые лица.  
Золото звезд и подземная платина  
Служат нам верно, но мало,  
Экстраполируем наши понятия  
В область земного подвала.  
Щелочь кипит, и земля растворяется,  
Только рН не вини ты.  
Страшно внизу, там страдают и маются  
В адском огне трилобиты.  
Нам тайны нераскрытые раскрыть пора,  
В земле без пользы тайны, как в копилке,  
Мы тайны эти с корнем вырвем из нутра  
При помощи насоса и пробирки.*

Если у вас возник интерес к геологии и вы захотели познакомиться с нею поближе, что вы сделаете прежде всего? Конечно, пойдете в хороший геологический музей. Музей — это ворота, через которые человек проникает в незнакомую ему область. Вы хотите узнать о животном мире дальних стран — пожалуйста в зоологический музей. Желаете познакомиться с парусниками, развозившими открывателей новых земель в прошедшие века, — отправляйтесь в морской музей. Хотите увидеть своими глазами историю древнего мира — к вашим услугам коллекции Эрмитажа.

У нас в стране много хороших геологических музеев, но, конечно, лучшие из них — это музей Академии наук им. А. Е. Ферсмана в Москве, Ленинградского горного института и Московского университета. Очень хорош музей в геологическом институте в Свердловске, но в нем широко представлены только местные, уральские минералы.

Музей Института геологии и геофизики СО АН СССР еще слишком молод, чтобы претендовать на призовое место, но я все же поведу вас именно в него, так как это родной мне музей, я видел, как он набирал силу, пополняя свои коллекции, и сам помогал ему в этом.

Музей ИГиГ СО АН СССР — одно из наиболее популярных мест в новосибирском Академгородке. В летнее время сотрудники музея проводят до двухсот экскурсий

в месяц. В книге почетных посетителей оставили свои автографы космонавты Титов, Береговой, Феоктистов, Рауль Кастро, принц Нородом Сианук, генерал Шарль де Голль, Жорж Помпиду, Нейл Армстронг, Фрэнк Борман и многие, многие другие. Давайте же войдем внутрь и мы.

Первое, что бросается в глаза у самого входа, — это сросток огромных желтовато-белых кристаллов данбурита — редкого минерала, из которого добывают бор. Этот уникальный сросток (другого такого нет в Советском Союзе) проделал больше 4000 км, прежде чем занять здесь почетное место. Его привезли с побережья Тихого океана.

Поверните голову направо и увидите макет озера Байкал. Щелчком выключателем — и вся его глубина засветится перед вами. Как только вы оторветесь от завораживающей синевы Байкала, ваш взгляд упадет на огромную, почти метровую пластину слюды. Это большая редкость.

Дальше идут витрины, заполненные минералами: самородные элементы, окислы, сульфиды сменяют друг друга, и один образец красивее другого, так что сперва разбегаются глаза. Но мы вошли в музей без опытного экскурсовода и потому нарушили порядок осмотра. Сотрудник музея сначала повел бы нас к карте Сибири и Дальнего Востока, на которой разноцветными лампочками показаны места, где добывают полезные ископаемые, и только после этого допустил бы к витринам с камнями.

Камни... Казалось бы, что тут интересного? Летом, выбираясь отдохнуть на природу, вы бездумно попираете их ногами. А между тем камень, если хотите, источник цивилизации. С тех пор, как наш далекий предок взял в руки камень и приделал его к палке, человечество постоянно ищет и находит применение все новым и новым камням. Да что говорить, даже в нашей обыденной жиз-

ни мы все время пользуемся теми или иными минералами. Достаточно напомнить, что вы каждый день едите минерал галит — поваренную соль, точите нож о брусок из корунда — окиси алюминия, и топчетесь по бетонному полу, наполовину состоящему из кварцевого песка.

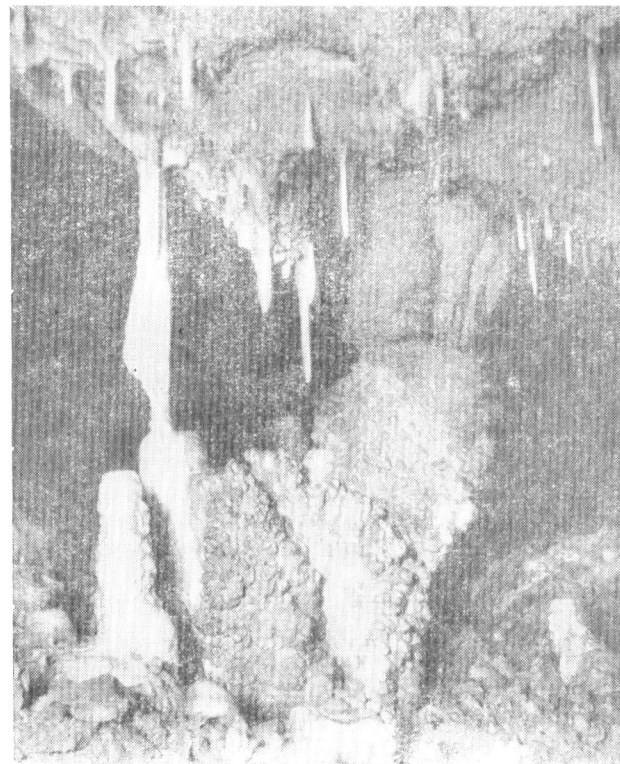
Что же в музее самое интересное? Сибирь богата полезными ископаемыми, но наиболее известные из них — это нефть, алмазы и золото. Сначала посмотрим на нефть. Вот ее разные сорта, от почти бесцветной подвижной жидкости до темно-коричневой густой массы, покоятся в стеклянных пробирках. Тут же рядом карта нефтяных районов Сибири, главный из которых, конечно, Тюменская область, где найдены запасы жидкого золота.

Алмазы Якутии... Кто о них не слышал? Они обнаружены по прогнозам академика В. С. Соболева в кимберлитовых трубках взрыва, составляющих целую группу так называемых корепных месторождений, т. е. залегающих там, где алмазы образовались. Таких месторождений в мире немного, чаще алмазы находят в россыпях. Небольшая плоская коробочка, в которой разложены по сортам бесцветные и желтоватые кристаллики алмазов, среди которых попадаются довольно крупные, производит должное впечатление, чего не скажешь о другой коробочке, где вы увидите бесформенные комочки грязно-желтого цвета. Вы проявите к ним интерес, но только потому, что вам скажут: это золото. Это действительно то самое золото, которое на протяжении тысячелетий служит человеку, способствует развитию торговли. Но золото — это не только валюта, благодаря своей исключительной химической стойкости оно находит широкое применение в технике.

Однако я привел вас в музей не для того, чтобы смотреть на золото и алмазы. Искусственные кристаллы — вот что я хочу вам показать. Я люблю их за внутреннюю чистоту, за совершенство форм и за тот труд, который вложен в них моими коллегами. Кстати сказать, формы

кристаллов обычно очень волнуют неискушенного зрителя — большинство думает, что это дело рук человеческих.

Витрина искусственных кристаллов невелика: на тонких проволочках висят крупные бесцветные, желтые, коричневые, синие кристаллы кварца; на стеклянных



*Чудеса подземного мира*

полках расположились стержни рубина различных оттенков от бледно-розового до темно-красного; кристаллы слюды — их почти не видно, до того они прозрачны; кристаллы гипса, поваренной соли, кремния, германия и так далее. Все это не просто красивые штучки; каждый кристалл нужен какой-нибудь отрасли промышленности, представители которой все время требуют: давайте больше искусственных кристаллов, выращивайте их более крупными, добивайтесь сверхчистоты и бездефектности.

Экспериментаторы-ростовики трудятся в поте лица своего, совершенствуют установки, методики и, наконец, добиваются чего-то, на их взгляд уникального. Физики тут же хватают выращенный кристалл, режут его на части, шлифуют, изучают и обращаются к экспериментаторам с новыми, более высокими требованиями. Ростовики ругают физиков за их неуемный характер, скрипят и принимают за работу, которой нет конца, как нет предела познанию природы человеком и нет границ для идей, рождаемых пытливыми и любознательными.

Музей — это книга, открывающая читателю сразу все свои страницы. Но не всякий может читать эту книгу без переводчика, потому что написана она таинственным мертвым языком камней. Человечество до сих пор еще не до конца освоило этот язык, хотя копается в земле очень давно. «Каменный язык» имеет несколько наречий, причем полную информацию о каждом геологическом объекте может дать только человек, владеющий ими всеми.

Одним из наречий является язык геохимиков. Его алфавит — периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Распределение химических элементов в Земле и их поведение в различных процессах, происходивших в Земле раньше и происходящих теперь, — предмет забот и волнений геохимиков, среди которых есть небольшой процент геохимиков-экспериментаторов, работающих главным образом в стенах лаборатории.

## ЧТО ЖЕ ТАКОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЧЕМ ОНА ЗАНИМАЕТСЯ?

Геологи, так же как и ученые других специальностей, по стоящим перед ними задачам делятся на две большие группы. Одна группа изучает Землю с целью составить более или менее ясную картину всего в ней происходящего — это фундаментальная наука. Другая направляет свои усилия непосредственно на поиск новых месторождений. А вот искать-то их с каждым годом становится все труднее. Месторождения, выходящие на земную поверхность, которые можно найти, бродя по лесам-горам-степям с молотком в руках, уже почти все открыты. Теперь внимание геологов приковано к «слепым» рудным залежам, т. е. к рудам, лежащим на десятки и сотни метров от поверхности Земли.

Для того, чтобы успешно искать месторождения, скрытые от человеческого глаза, надо прежде всего понять, как они образовались, а для этого недостаточно изучить то, что лежит в Земле. Ведь геолог видит только конечный результат какого-то процесса, а относительно самого процесса он может лишь строить более или менее достоверные гипотезы. Так постепенно геохимики пришли к выводу о необходимости в лабораторных условиях моделировать процессы, происходящие в Земле, и родилась еще одна, самая молодая ветвь геологии — экспериментальная минералогия и петрография.

Сейчас геологи стали много экспериментировать в разных областях. В лабораторных условиях моделируются различные движения земной коры: образование гор и впадин, складок и трещин — это экспериментальная тектоника, или геомеханика. Изучается прохождение через Землю электрического тока, ударных волн — это геофизика. Я же расскажу вам только о геохимических опы-

тах, об экспериментальной минерологии и петрографии.

Если говорить в общем, то экспериментальная минералогия — это изучение процессов образования минералов методами физической химии. Зародилось это направление геологической науки на заре нашего века. И уже первые опыты, поставленные на примитивной аппаратуре, показали его перспективность. Это вдохновило первооткрывателей, и они отправились осваивать новые дебри.

В идеях недостатка не было, но для их реализации нужна была соответствующая аппаратура. Земные глубины — это прежде всего высокие температуры и давления. Требовались установки, которые смогли бы работать в таких трудных условиях. Так со временем появился на свет автоклав — герметически закрывающийся сосуд. Если в него налить воды или какого-нибудь раствора и нагреть, то вода, расширяясь, сама создаст высокое давление. Чем больше палеешь воды и чем больше нагреешь, тем выше будет давление. Сейчас автоклав — один из наиболее распространенных у экспериментаторов-геохимиков рабочих сосудов. Обычные автоклавы выдерживают давление до 2000 атмосфер, а некоторые специальные — до 5000. Экспериментаторы придумали много разных конструкций автоклавов, некоторые из них покрываются изнутри благородными металлами — серебром, золотом, платиной, способными выдержать натиск очень агрессивных растворов — кислот и щелочей.

Геохимиков издавна интересовало, каким образом рудные элементы переносились из глубин Земли к месту своей стоянки — месторождению? Однозначный ответ на вопросы о составе, температуре и давлении гидротермальных растворов, о концентрациях в них рудных компонентов могли дать только экспериментальные исследования. Но с чего начать? Для того, чтобы условия опытов были как можно ближе к природным, надо хотя бы примерно знать, какие растворы пронизывали Землю раньше и

существуют в ней сейчас. В этом большую помощь оказали ученым включения в минералах.

Бывает так, что кристалл, растущий из раствора, газа или расплава в Земле или в лабораторных условиях, во время роста «захватывает» небольшую часть окружающей среды. Это происходит оттого, что кристалл растет неравномерно, сначала образуется маленькая ямка, потом она превращается в пещерку, и в конце концов пещерка с находящимся в ней раствором (газом или расплавом) зарастает и раствор оказывается законсервированным в кристалле. Так образуются включения. Эти, обычно небольшие, инородные частички в кристалле хранят в себе сведения об условиях, в которых кристалл вырос. Надо только суметь заставить их поделиться своими знаниями с человеком.

Включения бывают различной формы и величины. Самые мелкие включения можно разглядеть только в микроскоп при большом увеличении, самое большое, которое мне самому приходилось видеть, было около пятнадцати сантиметров в длину и имело форму гребенки — от плоской полости отходило множество каналов.

Наиболее распространенный тип включений — газожидкие, когда одновременно присутствуют капелька жидкости и пузырек газа. Если такое включение нагреть (нагреваются включения в специальной маленькой печи прямо под микроскопом, чтобы можно было наблюдать, как они меняются), то при определенной температуре граница между жидкостью и газом исчезнет, включение станет однородным. Эта температура считается минимальной температурой образования кристалла, потому что он рос в однородной среде и захватывать мог только однородную фазу, а разделение на газ и жидкость произошло уже потом, при охлаждении. Если же еще определить, какой процент от всего объема включения занимает газовый пузырек, то можно рассчитать давление, которое было в момент роста.

Однако самое интересное во включениях, конечно, их состав. Определить состав можно только химическим анализом, а для этого включение надо вскрыть, т. е. раздробить кристалл, но так, чтобы потом можно было собрать все, что находилось во включении. Работа эта тонкая и кропотливая, но зато благодарная, так как каждый выполненный анализ включения в минералах — еще один шаг в познании земных недр.

## ГЕОЛОГ? ХИМИК? ИНЖЕНЕР?

«Кто ты такой?» — спрашивают меня приятели, когда я начинаю обсуждать с ними достоинства какой-нибудь схемы автоматического регулирования температуры или теоретический метод расчета химических реакций. Я всегда, не задумываясь, отвечаю: «Я — геолог». Приятели окидывают меня изучающим взглядом и умолкают. Ответ мой не ответ, конечно, а лишь отговорка, но мне надоело объяснять, что занимаюсь я экспериментальной минералогией, что это одна из областей модного сейчас смешения наук, что без минимальных инженерных знаний экспериментатор — нуль, что... и так далее. Давайте же посмотрим, что нужно знать, чтобы успешно работать в области экспериментальной минералогии и петрографии.

Прежде всего, конечно, надо знать геологию в широком смысле этого слова, это очевидно, если вы собираетесь изучать процессы, происходящие в Земле. При этом, в совершенстве владея одним или лучше двумя тремя геологическими наречиями, надо в достаточной степени понимать и остальные.

Во-вторых, — химию, потому что экспериментальная минералогия и петрография имеют дело именно с химическими процессами: реакциями в растворах, газах, расплавах и твердых веществах при различных температурах

и давлениях. Само слово «геохимик» (земной химик) говорит, что без знания общей, неорганической, физической, аналитической химии и химической кинетики ученым этого «сословия» прожить невозможно. Химия — это сущность жизни: неорганическая химия — жизнь неорганической материи, а биохимия — жизнь белковых организмов.

Физику тоже неплохо бы знать, особенно такие ее разделы, как теплофизика, физика твердого тела, гидродинамика. Вы понимаете, что когда я говорю «знать», то не имею в виду глубокие, фундаментальные знания предмета, я имею в виду лишь способность ориентироваться в соответствующей области.

Нужно быть немного конструктором. Имея дело с аппаратами высокого давления, все время приходится что-нибудь изобретать: от отдельных узлов до целых установок. Конечно, в окончательном виде чертежи изготавливает профессиональный конструктор, но как вы будете с ним общаться, если не умеете читать чертежи, не знаете, как обрабатывается металл, не знакомы с языком инженеров? Любой экспериментатор должен уметь чертить эскиз того изделия, которое он хочет получить.

Для того, чтобы вести опыты при высокой температуре, нужны печи, причем, конечно, не дровяные или газовые, а электрические. Температуру в печах надо измерять и регулировать иногда с очень большой точностью. Делается это с помощью сложных электронных приборов. Необходимо хорошо ориентироваться во всем этом электрическом хозяйстве: уметь рассчитать и изготовить электропечь, разбираться в схемах, уметь устранять простейшие неполадки в приборах и так далее.

Чуть было не забыл математику. Без нее тоже нельзя. Если не знаешь, как решить систему уравнений или взять интеграл, жизнь очень осложняется.

Однако, сколько бы вы ни знали, практика все время требует все новых и новых знаний, и, ничего не поделаешь, приходится учиться, учиться, учиться.



Чем же интереснее заниматься: экспериментальной минералогией или геологией в традиционном смысле этого слова?

Что есть современный геолог? Ответ.  
Ответ, вездесущий Владыка.  
Кристаллы растить, за туманом лететь,  
Что делать ему? Говори-ка.  
Когда-то геолог спокойно шагал,  
И пыль под ногами клубилась,  
Шальной ветерок волосами играл,  
И солнце по небу катилось.  
Теперь у геолога много забот:  
Теперь он и физик, и химик,  
Тугое железо науки грызет  
И грезит мечтами стальными.  
Геолог стремится себя показать,  
Процесс моделировать тщится,  
Все хочет уметь, все пытается знать,  
Земное нутро ему снится.  
Но стоят ли многих затраченных дней  
Научные эти тревоги?  
Не лучше ли просто под шорох ветвей  
Спокойно шагать по дороге?

Для меня ответ однозначен. Я — экспериментатор по крови и по духу, и этим все сказано.

## КАК СТАТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОМ?

...Желающие заниматься экспериментальной минералогией приходят в нее разными путями. Одни по воле случая, другие сознательно, но все, кто однажды попробовал этого «блюда», уже не могут от него оторваться. Известно множество примеров, когда экспериментальную минералогию приходили люди, ранее работавшие в геологических партиях, занимавшиеся поиском, разведкой или эксплуатацией месторождений, составлением

геологических карт, но мне неизвестно ни одного случая, чтобы опытный, сформировавшийся экспериментатор сменил профессию.

Иногда экспериментаторами становятся в силу необходимости. Например, руководство какого-нибудь института решило поставить у себя для начала небольшие экспериментальные работы. Тогда выбирают молодого, подающего надежды сотрудника и поручают ему освоиться в этой области. Он узнает, где занимаются подобными работами, и отправляется туда на стажировку, знакомится с методиками, аппаратурой, принимает участие в постановке и обработке опытов. Погостив месяца два-три, он возвращается домой и начинает собирать оборудование. Это процедура сложная, требующая больших затрат, времени и усилий. Кое-что он привозит от своих учителей, кое-что удается добыть в соседних организациях, заказать на иногороднем опытном заводе. Организация материальной базы для экспериментальных работ — это прежде всего такелажные работы. Грузить, разгружать, перетаскивать тяжеленное оборудование, установки, станки, приборы, ломать стены в одном месте и возводить в другом, сверлить дырки и крутить гайки — для всего этого нужна рабочая сила. Поэтому сотрудник идет к начальству и просит людей в помощь. Так образуется группа, а наш сотрудник окончательно связывает свою жизнь с экспериментом.

Бывает и совсем по-другому. Для примера расскажу, как я сам стал экспериментатором.

Будучи студентами третьего курса Новосибирского государственного университета, мы с приятелем-сокурсником пришли в лабораторию экспериментальной минералогии Института геологии и геофизики СО АН СССР и заявили, что хотим заниматься экспериментом.

Заведующий лабораторией А. А. Годовиков выслушал нас и сказал: «Хорошо, я возьму вас, но придется много работать». Нас это устраивало.

Существует специальный прибор для измерения твердости. Алмазная пирамида плавно и с определенной силой опускается на полированную поверхность образца и оставляет на ней отпечаток, по величине которого и определяется твердость. Но многие минералы весьма хрупки, и при надавливании алмазной пирамидой на них образуется целая серия трещин, причем рисунок этих трещин, зависящий от физических свойств кристаллов, бывает различным не только у разных минералов, но и у разных граней одного и того же кристалла. Так вот, мы должны были делать на гранях кристаллов различных минералов отпечатки и зарисовывать образующиеся трещины. В конечном итоге следовало выяснить, является ли рисунок трещин вдавливания достаточно характерным для каждой грани конкретного минерала, чтобы служить определительским признаком. Занимались мы этим не только все зимние каникулы, но и половину летних.

Наконец, шеф сжалился и допустил нас до автоклавов. «Ваша задача — изучить, как распределяется температура внутри автоклава при различных условиях», — сказал он.

Работа была живой, интересной, мы взялись за нее с удовольствием. Мы познакомились с конструкцией автоклавов, научились подбирать кольца затвора, чтобы он мог выдерживать давление в 500—700 атмосфер, освоились в приборах, автоматически поддерживающих температуру в течение опыта, научились сваривать термомпары. Два месяца мы просидели около стального сейфа, в котором, во избежание несчастных случаев, была помещена печь, изучая распределение температуры внутри автоклава, построили множество графиков, на которых проглядывали даже некоторые закономерности, действительно значения которых мы в то время толком не понимали.

Закончить свои измерения мы не успели, каникулы кончились, на повестке дня стояла курсовая работа, и шеф дал нам новое задание. Теперь это уже был соб-

ственно синтез минералов, т. е. то, к чему мы стремились. Сначала мы занимались пиросинтезом — синтезом сложных соединений путем реакции твердых или расплавленных компонентов в кварцевой ампуле. Наконец, добрались до самого интересного: изучения условий кристаллизации минералов из раствора. Этим я занимаюсь и сейчас.

Надо сказать, что следующим поколениям студентов Новосибирского университета повезло больше, чем нам. Сейчас с середины первого курса желающие заниматься экспериментальной минералогией выделяются в отдельную группу, которая обучается по особой программе, учитывающей специфику будущей профессии.

## **БЕЗ ЭКСПЕДИЦИЙ НЕЛЬЗЯ!**

Работать экспериментатором — это не значит всю жизнь просидеть в четырех стенах лаборатории. Нет, экспериментаторы тоже ездят в экспедиции. Это совершенно естественно: нельзя заниматься моделированием геологических процессов, если никогда не видел результатов деятельности Природы. Поэтому мы, как правило, раз в году, иногда через год, выезжаем на какое-нибудь месторождение или группу месторождений, чтобы составить свое собственное представление о наиболее вероятных условиях его образования. Я, например, за время работы в Институте геологии и геофизики СО АН СССР успел побывать на Урале и в Средней Азии, на Алтае и в Забайкалье, в Приморском Крае и на Камчатке. Ведь район работ сибирских геологов — это вся огромная территория на восток от Урала.

Урал... Старые, добрые, обтрепанные ветром и водой горы. Одна из древнейших кладовых подземных богатств России. Руды черных и цветных металлов, драгоценные камни, асбест, тальк, редкие элементы, золото, знамени-



*Закопушка в Ильменском заповеднике на Урале*

тые уральские самоцветы и многие другие ценные минералы дарит людям Урал.

На южном и среднем Урале городам, сменившим старые рудничные поселки, уже становится тесно, но северные и полярные районы еще сохранили свою перво-

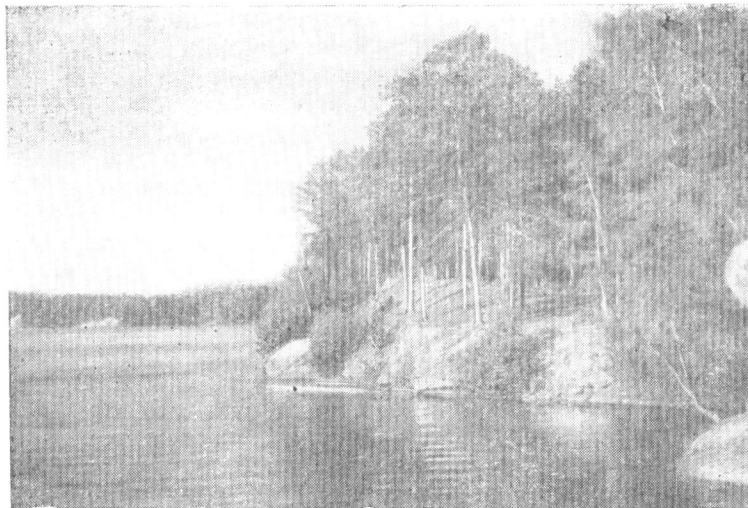
зданную красоту: могучие островерхие ели сверлят не замутненное дымом небо, в кристально чистых озерах полно рыбы, а в петоптанных лесах — дичи.

Южнее Челябинска, около города Миасс, есть своеобразный природный минералогический музей — Ильменский заповедник, подробно описанный в свое время Александром Евгеньевичем Ферсманом. Он состоит из разбросанных по довольно большой территории мелких старых выработок — закопушек. Этот музей уникален не только разнообразием экспонируемых минералов, но и тем, что эти минералы вы можете увидеть там, где их положила Природа.

Много интересного на Урале. Недалеко от Свердловска, на восток от него, расположился город Асбест. Он возник в связи с разработкой очень крупного месторождения волокнистого асбеста — минерала, используемого в технике в качестве теплоизоляционного материала. Месторождение разрабатывается карьером, т. е. прямо с поверхности, и разрабатывается уже давно. В 1963 г. карьер имел в глубину около 400 м и несколько километров в длину. Внутри карьера проложена узкоколейная железная дорога, а автомобильных дорог за многие годы эксплуатации накопилось столько, что в них можно заблудиться.

В 30 км от Свердловска есть карьер, в котором специальный ползущий по рельсам комбайн вырезает огромные бруски почти чистого талька. Город Орск славится своими яшмами, Нижний Тагил — малахитом; по имени одного из прекраснейших драгоценных камней назван город Изумруд.

Из любой точки Урала, где из земли добывается что-нибудь интересное, прочные транспортные нити тянутся в Свердловск. Здесь лучший уральский минералогический музей, здесь квартируют многие геологоразведочные партии, здесь гранитная фабрика. Я было собрался немножко описать вам минералогический музей, но потом



*На одном из уральских озер*

раздумал; поезжайте в Свердловск и посмотрите сами. А вот на гранильную фабрику мы ненадолго заглянем.

Цехи не радуют глаз своими размерами и оборудованием: нет огромных витражей, сквозь которых могли бы ворваться потоки яркого солнечного света, стены, рабочие столы и станки не сверкают свежей эмалевой краской, потолки низкие, помещения обильно заставлены непрезентабельным оборудованием, но то, что обрабатывается на этих станках!.. Тут уж есть на что посмотреть! С первых же шагов глаза начинают разбегаться...

Вот здесь режут и шлифуют полудрагоценные камни: яшму, агаты, родонит, лазурит... Можно одним взглядом охватить все стадии их обработки от сырья через полуфабрикат к готовому изделию. В соседнем помещении

нарезают рубины для будущих колец и серег. Тонкая алмазная пила входит в рубин, как нож в масло, — а ведь рубин тверже кварца! — и рубиновый стержень (о нем речь пойдет впереди) разрезан на кусочки нужной величины. Потом эти кусочки приклеют к металлическим стержням, стержни закрепят в станке, повернут под определенным углом к плоскости вращающегося стола и начнут шлифовать. Повернут под другим углом, опять отшлифуют, и так до тех пор, пока кусочек рубина не примет такую форму, при которой луч, попав в кристалл, будет многократно отражаться внутри его, создавая ту самую игру света, за которую и ценятся драгоценные камни.

Средняя Азия... Сказочная страна безоблачного неба, огромных звезд и резких контрастов. Ровные степи, бесконечные пустыни с шуршащими песчаными волнами, разморенные сухим горячим воздухом, сменяются узким серпантинном горных дорог, медленно подбирающихся к перевалам, где гуляет холодный пронизывающий ветер, а в лоцинках, куда не заглядывает солнце, круглый год сохраняется снег. Шумные базары, и древние мечети раскаленных пыльных городов, и отягощенные спелыми благоухающими плодами сады Ферганской долины, безмятежно трусящий по асфальтовой дороге большого города всадник на ослике, — все это Средняя Азия.

Из многих интересных месторождений, на которых нам довелось побывать, я расскажу лишь об одном — о месторождении самородной серы — Шор-Су. Забравшись в шахту, необычно сухую и теплую, мы увидели огромные полости, усыпанные полупрозрачными и матовыми, желтыми и зеленоватыми кристаллами серы размером до пяти-шести сантиметров. В лучах шахтерских фонариков они сверкали весело и звонко. Условия образования этих кристаллов еще до конца не выяснены, можно только сказать, что температура при этом была не очень высока, так как уже при  $+113^{\circ}\text{C}$  сера плавится. В лабораторных экспериментах самородная сера тоже иногда

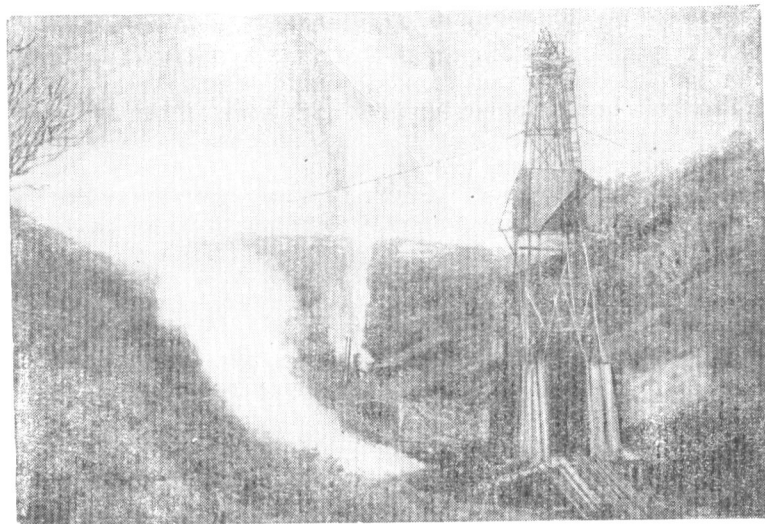
образуется, но поскольку мы обычно проводим опыты при температурах  $+200$ ,  $+300^\circ$  и выше, сера, выделяющаяся из раствора, сохраняется в нем в жидком состоянии в виде шариков различной величины и после охлаждения имеет округлую форму.

В Приморском крае, в окрестностях поселка Дальнегорск, расположенном примерно в 300 км на северо-восток от Владивостока, залегает очень интересное месторождение, где добывают цинковую и свинцовую руду. Для нас, экспериментаторов, оно привлекательно тем, что там падает много полостей различной формы и величины, а ведь наш лабораторный автоклав как раз и есть модель полости, в одной части которой минералы растворяются, затем в потоке раствора переносятся в другую часть и там отлагаются. Месторождение интересно и просто с эстетической точки зрения. Такого обилия и разнообразия кристаллов и их сростков я не видел больше нигде. Особенно привлекателен кальцит — карбонат кальция. Прозрачные, белые, чуть коричневатые розочки, пирамидки, пластинки... всего и не перечислишь. Ровные гладкие грани кристаллов в солнечных лучах ослепительно сверкают, переливаясь всеми цветами радуги.

Мы спускаемся в шахту главным образом для того, чтобы взять образцы из разных ее частей, тщательно изучить их, посмотреть, какие минералы отложились раньше, какие позже, и, сравнив с тем, что мы наблюдаем в своих лабораторных опытах, попытаться понять, как же все это происходило в природе.

## **КАК ЭТО ПРОИСХОДИЛО В ПРИРОДЕ?**

Вот вопрос, который постоянно не дает покоя экспериментатору. Что он ни делает: изучает ли под микроскопом продукты своих опытов, пишет статью, ползает



*Фонтанирующие скважины в окрестностях поселка Паужетка на Камчатке*

по шахтам или спорит с коллегами — он всегда помнит об этом вопросе и всегда ищет на него ответ.

Например, геологи при бурении скважины или при проходке шахты обнаружили на одном месторождении какую-то последовательность отложения минералов. Потом ту же последовательность находят на другом месторождении, на третьем, на четвертом. Это уже закономерность, которой нужно найти объяснение.

Или другой случай. Глубоко под землей, в полости, заполненной гидротермальным раствором, росли кристаллы какого-нибудь минерала. И вдруг перестали расти, потом стали растворяться, а им на смену начали выпадать кристаллы другого минерала. Почему это произошло? Как изменились условия?

Пусть в одном образце обнаружили несколько минералов, кристаллы которых прорастают друг сквозь друга. Тут вам любой геолог скажет: они сингенетичны, то есть образовались одновременно. Это в свою очередь означает, что выпадали они из одного и того же раствора. Однако часто бывает, что эти минералы состоят из элементов, совершенно не схожих по своим химическим свойствам. Так как же они могли переноситься одним раствором? В виде каких частиц?

Перечень подобных вопросов можно было бы продолжать до бесконечности, а отвечать на них — задача экспериментатора.

## **ПРИРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ**

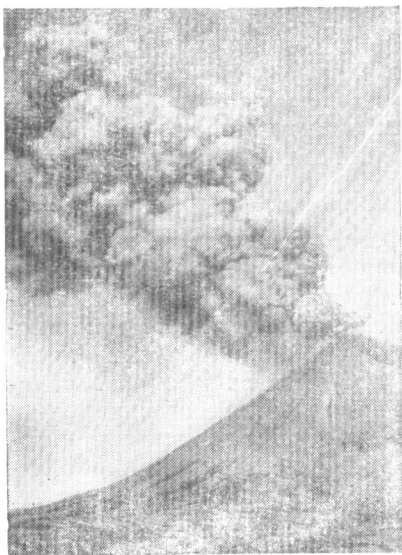
Есть на земле такие места, где образование минералов происходит прямо на глазах у человека. Это области активного вулканизма, районы действующих вулканов: Камчатка, Курильские острова, Япония, Исландия и другие. Вулканы и их окрестности — это огромные готовые лаборатории, дарованные нам природой. Поэтому не удивительно, что они привлекают пристальное внимание ученых.

Наблюдение за вулканами ведется уже давно. Изучается все: форма и размеры вулканов, количество и расположение горячих источников, их температура и химический состав в разные периоды года, температура почвы, количество воды, выбрасываемой гейзерами и другими источниками, и многое, многое другое. Геофизики расставляют вокруг вулканов чувствительные приборы, которые слышат малейшие подземные толчки, измеряют силу тяжести, электрическое и магнитное поле и полученные данные записывают на ленты самописцев. Все эти многочисленные наблюдения нужны для того, чтобы заранее узнать, когда вулкан начнет извергаться, и успеть к этому подготовиться.

Что же делают на вулканах экспериментаторы? Они изучают вытекающие из земли растворы, бурят скважины, берут пробы растворов с разных глубин и смотрят, чем они отличаются от растворов, вылившихся на поверхность. Вся эта бьющая кипящими ключами вокруг вулканов вода с растворенными в ней различными химическими веществами проделала большой путь, прежде чем добраться до поверхности земли. Это и есть те самые гидротермальные растворы, о которых я говорил вначале. Но, выходя из земли, они меняют свои свойства, потому что резко понижается давление от нескольких десятков и даже сотен до одной атмосферы, и от соприкосновения с холодным воздухом понижается температура растворов. Это приводит к тому, что из растворов начинают выпадать различные химические соединения — и вот на склонах вулканов появляются причудливые паросты самородной серы, вокруг гейзеров отлагаются плотные серовато-белые корки гейзерита — окиси кремния, образуется множество самых разных минералов.

Ну а внутренность вулкана — кратер — это настоящая адская кухня. Там в глубине мерно дышит, время от времени выпуская пузыри газа, жидкая лава; отделяясь от нее, тянутся вверх горячие потоки ядовитых газов. Изредка какой-нибудь особенно крупный пузырь взрывается, как хороший снаряд, а потом опять лишь мерное побулькивание и ленивое передвижение лавы с места на место.

Ученые проникли и сюда, но это рискованное мероприятие потребовало основательной подготовки. Были изготовлены специальные скафандры из теплохимстойкой блестящей светоотражающей (как у космонавтов) ткани, особые ботинки на очень толстой подошве, приспособления, чтобы можно было с безопасного расстояния взять пробу лавы и измерить ее температуру. В верхней части кратера были установлены лебедки, чтобы опускать и поднимать смельчаков. Только после этого



*Извержение вулкана Шивелуч  
(Камчатка)*

несколько специально подготовленных людей спустились, насколько было возможно, в нижнюю часть кратера, быстро произвели необходимые замеры, отобрали пробы и — наверх.

На Камчатке наблюдение за вулканами сейчас поставлено на широкую ногу. Имеется целая сеть постоянных наблюдательных пунктов, на которых установлено непрерывное дежурство сотрудников Института вулканологии. На каждом из таких пунктов проводится полный комплекс геофизических и

геохимических наблюдений, а все получаемые сведения регулярно поступают в институт и обрабатываются.

Тепло горячих источников не пропадает даром. Разогретая в земле вода направляется в трубы отопительной системы жилых и производственных помещений, согревает парники, круглый год питающие Петропавловск-Камчатский свежими овощами, на Паратунке (недалеко от Петропавловска-Камчатского) построена уникальная фреоновая электростанция, использующая тепло подземных вод. Вырывающийся из земли перегретый пар крутит турбины электростанции, построенной на Паратунке — поселке геологов, расположенном на юге Камчатки, в тридцати километрах от океана.

Исследованию вулканов посвятили свою жизнь многие ученые. Один из них — бельгийский геолог Гаруп Тазиев. Он побывал на многих вулканах мира, опускался в кратеры и в этих трудных условиях отснял великолепный цветной фильм, в котором вы можете увидеть все: и извержение вулкана, и потоки раскаленной лавы; и огромные участки земли, убитые раскаленным вулканическим пеплом, и леденящие душу картины жизни кратера, и каменный дождь, и поднимающиеся на десятки метров струи гейзеров, и мирно булькающие грязевые озера, и рискованный труд исследователя.

## **КАК ВЫРАЩИВАЮТ КРИСТАЛЛЫ?**

Давайте на этом прервем путешествие по интересным уголкам нашей страны, вернемся к экспериментальной минералогии и познакомимся с теми ее служителями, которые занимаются разработкой методов получения кристаллов, необходимых промышленности.

Должен сказать, что выращивать кристаллы очень приятно. Приятно потому, что сразу видишь результат своих трудов. Как только кончается опыт, руки, подчиняясь приказу нетерпеливого сердца, быстро разбирают установку — и вот уже кристалл извлечен на белый свет и сверкает в ваших руках, радуя глаз. Если кристалл на вид хорош, хочется куда-то бежать, с кем-то поделиться, и вы отпрашиваетесь по соседним комнатам хвастаться перед коллегами своими успехами. Коллеги завистливо ахают, поздравляют вас. Праздничное настроение сохраняется до конца дня, а иногда и дольше. Только, к сожалению, вырастить хороший кристалл удается далеко не часто: на это требуется уйма времени, усилий и денег. Да, и денег, потому что оборудование, необходимое экспериментатору, обходится государству недешево.

Экспериментатор по своей натуре «стяжатель». Ему все время что-нибудь нужно. Колбы, пробирки, термо-

стойкие стаканы, краны, пробки, винтики, гаечки, листовая металл, медные и стальные трубки, различный инструмент, оргстекло, провода, радиодетали и многое, многое другое. Поэтому он все это и тащит к себе.

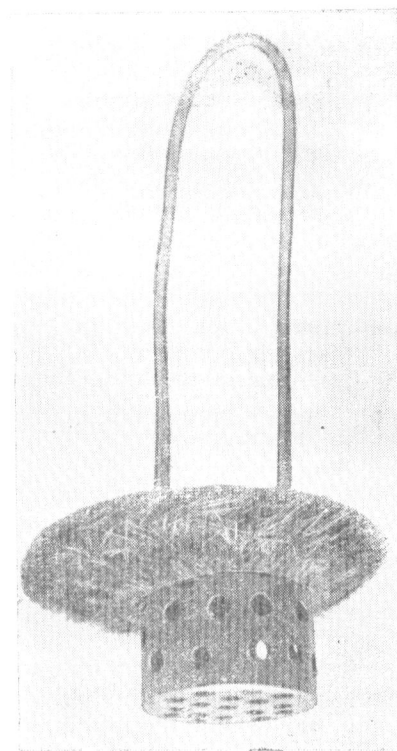
Экспериментатор любит эпизодически ездить в командировки. Во-первых, это хорошая встряска после длительного сидения в четырех стенах, а во-вторых — возможность сунуть свой любопытный нос туда, где он еще не был. Совать нос во все закоулки чужих лабораторий — страсть экспериментатора, его, так сказать, производственное хобби. Это хобби является одной из движущих сил технического прогресса. Новые идеи, схемы установок, методы и приемы работы — все это прочно укладывается в мозг и в портфеле, привозится домой и воплощается в чертежах и металле.

Любой экспериментатор не может остаться равнодушным, если видит новую установку, прибор или просто не известные ему детали — он хочет их иметь у себя. Новая установка — как статуя великой богини. Экспериментатор молится на нее, стоит перед ней на коленях, ползает у ее ног, сдувает с нее пыль, начищает до блеска ее металлические части, а уходя с работы, непременно прощается с ней. Так продолжается до тех пор, пока не появляется новая богиня. Тогда старая либо превращается в ломовую лошадь — опыты ставятся один за другим, пока рабочие детали не износятся, — либо просто выбрасывается и тихо ржавеет на складе. Печальна участь забытых богинь!

Самый простой метод получения кристаллов — это выращивание их из пересыщенного водного раствора при комнатной температуре. Студенты ставят такие опыты на практических занятиях, а вы, если захотите, можете воспроизвести их у себя дома. Аппаратура и материалы исключительно просты. Вам понадобятся алюмокалиевые квасцы или красная кровяная соль — реактивы, используемые в фотографии, чистый стеклянный стакап-

чик и тонкий человеческий волос. Да, да именно человеческий волос. Как выяснилось из многочисленных опытов, волосы очень хороши для подвешивания затравочного кристалла, т. е. кристалла, на который происходит рост. Этот кристалл должен быть маленьким, поэтому и пилить, на которой он висит, должна быть максимально тонкой, но при этом прочной и не вступать в реакцию с раствором. Человеческий волос удовлетворяет этим требованиям.

Сначала нужно сделать затравочный кристалл. Для этого вы растворяете квасцы в горячей кипяченой воде и охлаждаете раствор. Из него выпадает множество кристалликов и их сростков. Вы сливаете жидкость, выбираете отдельный кристалл (не сросток!) и подвешиваете его на волос — привязываете или приклеиваете. Волос предварительно нужно обезжирить — промыть в одеколоне. Опять заливаете квасцы горячей водой, перемешиваете и даете остыть. Потом поверх стаканчика кладете палочку, к которой привязы-



*«Шляпа» игольчатых кристаллов, нарощенная на титановую корзинку*



ваает волос так, чтобы затравочный кристалл очутился в верхней части раствора, близко от поверхности. Теперь надо осторожно добавить в стаканчик немного холодной кипяченой воды, чтобы растворить те мелкие частички квасцов, которые могли осесть на затравочный кристалл при его опускании в раствор, иначе у вас вместо одного кристалла получится сросток. Воды надо добавить очень немного, чтобы сам затравочный кристалл не растворился. После этого поставьте стакан в укромное место и не тревожьте его в течение месяца-двух. Лучше всего приготовьте сразу несколько стаканчиков, будет веселее наблюдать за ними.

## КАК БЫЛ ПОЛУЧЕН ИСКУССТВЕННЫЙ КВАРЦ?

Кристаллы кварца обладают пьезоэлектрическими свойствами, т. е. способны вырабатывать электричество при физических давлениях. Техника требует много таких кристаллов. Одно из крупных месторождений пьезоэлектрического кварца в нашей стране находится в Украинской ССР на Волини. Там добывают крупные кристаллы кварца, длиной до тридцати-сорока сантиметров. Но кристалл по своим физическим свойствам не однороден, только четвертая-пятая часть его удовлетворяет требованиям, предъявляемым промышленностью. Дорог и не всегда качествен природный пьезокварц. Да и месторождения его не вечны.

Несколько лет ученые разрабатывали технологию выращивания кристаллов пьезокварца, прежде чем им удалось добиться успеха. Было перепробовано множество растворителей, специально изучалось влияние на перекристаллизацию кварца температурного режима опыта, давления, величины автоклавов. Внутри автоклавов устанавливались различные приспособления — диафрагмы,

замедляющие циркуляцию раствора. Затравочные кристаллы подвешивались в разных местах автоклава, но все равно не желали расти. Наконец, наметились некоторые сдвиги. Оказалось, что лучше всего растут те затравочные пластины, которые вырезаны перпендикулярно удлинению кристалла. Было также установлено, что в обычных маленьких лабораторных автоклавах хорошего роста кристаллов не добиться. Пришлось от них отказаться и сделать специальные автоклавы большого объема. Таким образом удалось добиться некоторого прироста затравочных кристаллов.

Есть в химии такое понятие — «пересыщение». Оно показывает, насколько больше должна быть концентрация раствора, из которого могут выпасть кристаллы какого-нибудь соединения, чем концентрация насыщенного раствора этого соединения. Пересыщенный раствор — раствор неустойчивый, но иногда может находиться в таком состоянии довольно долго.

Экспериментаторы установили, что для нормального роста кристаллов одних веществ достаточно совсем незначительного пересыщения, а другим нужно очень большое. Необходимое пересыщение при гидротермальном выращивании кристаллов достигается определенным сочетанием температурного перепада и скорости подачи раствора к затравочным кристаллам.

Как же происходит рост кристаллов в автоклаве? Шихта — исходный материал для перекристаллизации, в нашем случае кварц, насыпается на дно автоклава и заливается раствором. Герметически закрытый автоклав помещается в печь и нагревается так, чтобы температура в нижней его части была больше, чем в верхней. Насытившись кварцем от шихты, горячие растворы, как более легкие, поднимаются вверх, в более холодную часть автоклава, и оказываются пересыщенными, потому что растворимость при уменьшении температуры на-

дает. Теперь раствору совершенно естественно хочется избавиться от лишнего груза. К его услугам — затравочные кристаллы, которые готовы принять этот груз. Облегченному и несколько поостывшему раствору остается только одно — снова опуститься вниз к шихте, чтобы заново разогреться и, захватив новую порцию кварца, опять понестись наверх. Так будет продолжаться до тех пор, пока человек не прервет опыт или не кончатся шихта.

Кварц оказался очень капризным минералом. Он категорически отказывался расти, пока ему не создадут большого пересыщения. Делать нечего, экспериментаторы принялись мудрить с температурными перепадами, расставлять в различных местах автоклава диафрагмы и, наконец, нащупали условия, в которых скорость роста затравочных кристаллов была приемлемой. Но до окончательного решения поставленной задачи было еще далеко. Кристаллы кварца росли довольно быстро, но качество их оставляло желать лучшего. Теперь нужно было так отрегулировать скорость роста, чтобы кристаллы вырастали без внутренних напряжений, без включений и других дефектов. Опять потекли месяцы упорного труда, и вот, наконец, был получен кристалл, полностью удовлетворивший придирчивых представителей промышленности. Вот он лежит передо мной — подарок коллег — совершенно прозрачный, с двух сторон покрытый характерными бугорками роста, шестнадцать сантиметров в длину, семь в ширину и четыре в толщину — пятьсот двадцать восемь кубических сантиметров доброкачественного пьезоэлектрика.

Сейчас экспериментаторы в своих огромных, высокой в два этажа, автоклавах выращивают не только кристаллы пьезокварца, но и сырье для ювелирной промышленности — окрашенные кварцы: синие, желтые, коричневые.

## О ТОМ, КАК СИНТЕЗИРУЮТ ДРАГОЦЕННЫЕ КАМНИ

С далеких времен ценятся людьми цветные прозрачные камни, особенно те из них, которые благодаря своей большой твердости могут сохраняться в изделиях многие годы. Загадочные, пугающие силы видели древние в сказочной цветовой игре и необыкновенной твердости драгоценных камней.

Наши далекие предки (да и не очень далекие тоже) приписывали драгоценным камням магическую силу. По их мнению, одни камни предохраняли от болезней, другие спасали от дурного глаза, третьи приносили удачу в любви, четвертые — в делах, в битве и так далее. Более всех ценился алмаз. Древние индийцы обожествляли его, считали, что он образовался из пяти изначальных элементов: земли, воды, неба, воздуха и энергии.

Многие тысячелетия тому назад светские и церковные владыки украшали свою одежду драгоценными камнями. Яркий блеск богатых одежд слепил глаза подданным, заставлял трепетать и преклоняться перед «подобными богу». Золото и драгоценные камни в древности были символом власти. Египетские фараоны, индийские магараджи, ассирийские цари и католические священники всеми возможными путями собирали в свои сокровищницы несметные богатства.

Особо крупные, чистые и красивые драгоценные камни быстро приобретали широкую известность. С ними связано множество загадочных, скандальных, а подчас и трагических историй.

Давным-давно сгнили в золоченых гробах цари-полубоги, кануло в Лету мрачное средневековье, наука могучими шагами двинулась вперед, и драгоценные камни стали все больше и больше применяться в технике. Еще

в эпоху Возрождения в кустарном производстве часов начали использовать камни из натурального рубина — красной разновидности корунда.

Делать драгоценные камни искусственно пытались еще средневековые алхимики, но впервые синтетический рубин был получен в середине XIX века. Сначала это были очень мелкие кристаллики, не пригодные ни для часовой, ни для ювелирной промышленности. Качественные, достаточно крупные кристаллы получил в 1892 году французский ученый профессор Вернейль. По его методу выращивание корунда производится следующим образом: при нагревании аммонийных квасцов до 1000°C получается химически чистая окись алюминия в виде пудры, к которой добавляются другие окислы для получения окраски. В результате обработки порошка пламенем гремучего газа (смесь водорода и кислорода) при температуре выше 2000°C окись алюминия расплавляется и в виде капель падает на дно печи, куда вставлена тугоплавкая свечка с затравкой корунда. Постепенно вырастает монокристалл корунда в виде «бульки», имеющей форму конуса.

Для того чтобы получить красный корунд — рубин, добавляют окись хрома, для получения синего корунда — сапфира — необходима смесь окиси титана с окисью железа. Смесь окиси ванадия с окисью кобальта придает корунду зеленый цвет, а если добавить только окись ванадия, можно получить синтетический александрит — камень, который имеет разный цвет при дневном и электрическом освещении.

В СССР синтез корунда для ювелирных целей был начат в 1928 году в Москве, на комбинате «Русские самоцветы». Однако булы корунда получались напряженными, с различными оптическими аномалиями, крошились при разрезании, самопроизвольно растрескивались при хранении. Рубины такого качества годились для часовой

промышленности, но были совершенно не пригодны ни в ювелирном деле, ни в приборостроении (оказалось, что рубин можно использовать в качестве активных элементов в мазерах и лазерах). Поэтому с сороковых годов начинается производство корунда в виде стержней различной толщины. Эти корунды лучше природных и пока удовлетворяют требованиям промышленности.

Сейчас диски и стержни прозрачного бесцветного корунда — лейкосапфира, применяются для изготовления окон в сосудах высокого давления, через которые ученые наблюдают за процессами, происходящими в растворах при высоких температурах. Лейкосапфир оказался наилучшим материалом для этих целей: он достаточно прочен и химически стоек, при этом его научились делать оптически однородным. Используя автоклавчики с окнами из лейкосапфира, геологи-экспериментаторы могут, изучив спектры гидротермальных растворов на спектрофотометре, определить, в виде каких частиц находятся в них рудные элементы. Круг, таким образом, замкнулся: с помощью искусственно выращенного корунда ученые смогли глубже проникнуть в тайны Природы.

Алмаз — самый твердый материал из всех известных человеку. Он в сто раз тверже корунда. Отсюда его название: алмаз — искаженное греческое слово «адамас», что значит «непобедимый». Ученые долго не могли определить химическую природу алмаза. Некоторые даже считали, что он состоит из особой «алмазной» земли. Только в середине XIX века установили, что прозрачный сверкающий алмаз — ближайший родственник графита, древесного угля и печной сажи.

Ювелирные алмазы совершенно бесцветны или со слабым оттенком винно-желтого, соломенного, бурого, грязно-зеленого, синеватого, красноватого или черного цветов.

Использование алмаза очень разнообразно. Кроме

ювелирной промышленности, он широко применяется в технике. Разведка месторождений полезных ископаемых немислима без бурения скважин, и алмаз здесь является активным помощником геологов. Бурение производится вращающимся колонковым буром, который представляет собой полую стальную трубку с навинчивающимся на ее конец стальным кольцом — коронкой. В нижнюю часть коронки вставляются в два ряда алмазы.

В металлообрабатывающей промышленности алмаз используется для изготовления штампов (фильеров) для протягивания тонких проволок, таких, в частности, твердых металлов, как вольфрам и молибден. Из алмаза делают специальные карандаши для резки стекла и гравировки. Алмазная крошка и различные пасты используются для шифровки твердых сплавов и при гранении драгоценных камней.

Постоянно возрастающие запросы техники и редкость нахождения алмаза в природе заставили ученых изыскивать возможность его искусственного получения.

Впервые синтетические алмазы удалось получить в 1954 году сотрудникам американской фирмы «Дженерал электрик». Сделано это было в специальной установке при температуре около  $+2780^{\circ}\text{C}$  и давлении выше 100 000 атмосфер. Позднее они были синтезированы и советскими учеными во главе с Л. Ф. Верещагиным.

Синтетические алмазы образуются из графита и высокоуглеродистых соединений в широком интервале давлений (от 55 000 до 100 000 атмосфер) и температур от  $+1200^{\circ}\text{C}$  с обязательным присутствием в качестве растворителя некоторых металлов: железа, пикеля, кобальта, хрома, марганца, тантала, платины и др.

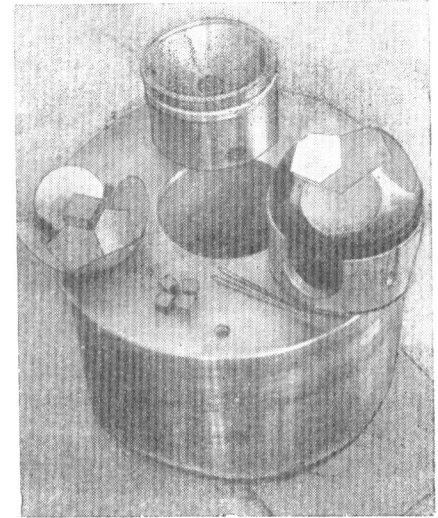
Относительно условий образования алмаза в природе сейчас нет единого мнения. Одни ученые считают, что алмаз образуется в магматическом очаге (т. е. на большой глубине в расплавленной породе) и затем выносятся на поверхность. Другие думают, что образование ал-

маза происходит при взрывах, сопровождающих становление кимберлитовых трубок. Обе эти гипотезы для образования алмаза требуют очень высоких температур и давлений.

Есть еще одна гипотеза, сторонники которой считают, что алмазы образовывались в кимберлитовых телах уже после их формирования за счет процессов окисления-восстановления при относительно низких температурах и давлениях.

Эта гипотеза породила у экспериментаторов надежду синтезировать алмаз с меньшими затратами, в более простых установках. Работы в этом направлении сейчас ведутся в разных странах.

Изумруд — густо окрашенная в красивый ярко-зеленый цвет разновидность минерала сложного состава — берилла. Имеются и другие цветные разновидности берилла: синевато-голубой аквамарин, розовый воробьевит и желтый гелиодор. Как драгоценный камень изумруд по своей ценности успешно соперничает с алмазом. Первые изумрудные копи были открыты в Аравийской пустыне примерно три с половиной тысячи лет тому назад. За необыкновенный сочный цвет изумруду приписывали способность исцелять болезни и приносить счастье. Очень высоко ценили изумруд индусы, а испанские кон-



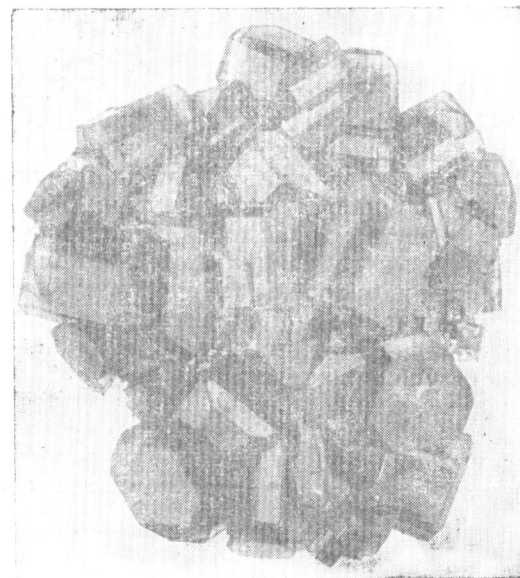
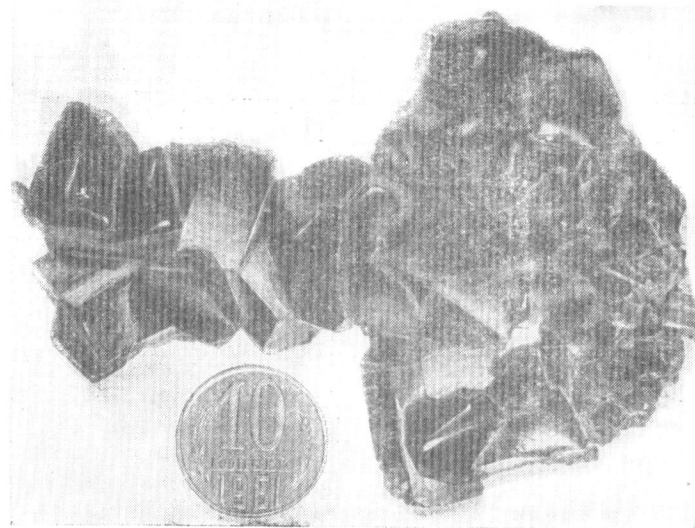
*В этой камере (на снимке она разобрана) получают давление до 1,5 млн. атмосфер*

квистадоры столкнулись в Новом Свете с культом поклонения зеленому камню. В древней Руси изумруд называли смарагдом. Месторождения изумрудов известны в Колумбии и у нас на среднем Урале.

Там, где земля не видит неба,  
Где звонкое копыто Феба  
Не треплет каменный настил,  
Надежно скрыт от взоров наших,  
В хранилище Земли-мамаши  
Лежит божественный берилл.  
Сияньем внутренним богаты  
Четыре разноцветных брата,  
Из них первейший — Изумруд.  
Но до сих пор никто не в силах  
Понять, как в полостях и жилах  
Кристаллы чистые растут.  
В огромном теле пегматита,  
В изгибах бурого слюдита  
Сидят зеленые глазки.  
Толста, раздроблена, горбата,  
Вся жила накрепко заката  
В гранита кислые тиски.  
Когда-то здесь прошла, играя,  
Переноса и растворяя,  
Гидротермальная струя.  
Но время шло, и кровь остыла,  
И сцементировалась жила,  
Руду бесценную тая.

Получить изумруд искусственно долгое время не удавалось. Причиной тому, кроме всего прочего, был его сложный состав. Естественно, что чем меньше элементов, слагающих здание, тем легче его построить. Точно так же дело обстоит и с выращиванием монокристаллов. Ученым было известно, что зеленый цвет изумруду придает небольшая добавка хрома, но добиться, чтобы хром равномерно и в небольших количествах входил в растущий кристалл, оказалось непросто.

Все-таки в пятидесятые годы нашего века экспериментаторы победили и изумруд. Его научились выращи-



*Сростки искусственных кристаллов изумруда*

вать методом «из раствора в расплаве». Делается это так. В платиновую чашу помещается шихта — смесь различных соединений, необходимых для образования изумруда, сверху насыпается какая-нибудь легкоплавкая соль или смесь солей. Потом все это ставится в печь и выдерживается определенное время при высокой температуре. Просто, не правда ли? Но прежде, чем определить нужное соотношение элементов в шихте, подобрать подходящую легкоплавкую соль, выяснить наилучшую температуру кристаллизации и многое другое, ученым пришлось порядком попотеть.

Но вот, из платиновой чаши,  
Сверкая, смотрит в лица наши  
Перерожденный Изумруд.  
Изящно гранями оформлен,  
Весом, хромирован по норме.  
И началось такое тут...

## МИНЕРАЛЫ-ИНДИКАТОРЫ

Для того, чтобы понять, как образовалось то или иное месторождение полезных ископаемых, надо знать с большей или меньшей степенью точности температуры и давления, при которых протекал соответствующий процесс. Сделать это, оказывается, очень трудно, потому что определять температуры и давления приходится по конечным продуктам процессов, которые закончились тысячи, миллионы и даже миллиарды лет тому назад. Для этого геологам надо хорошо уметь читать каменные книги Природы и правильно трактовать прочитанное. Читают-то геологи эти многотомные и запутанные произведения уже давно, многие страницы переведены на человеческий язык, многократно перечитаны, усвоены, обсуждены. В результате огромного труда тысяч людей из собираемых по крупицам фактов выросли стройные теории и различные по своей убедительности гипотезы, разра-

ботаны методы и приемы изучения каменного материала, написаны различные справочники, определители и руководства — словари для перевода каменного языка.

После рождения экспериментальной минералогии и петрографии, по мере того, как в ее арсеналах накапливались данные о различных минералах, об условиях их устойчивости, растворения, кристаллизации, разложения, плавления, геологам пришлось заново прорабатывать каменные книги, прочитанные ранее, чтобы извлечь из них новые факты, в частности о температурах и давлениях, при которых в далекие времена образовались месторождения полезных ископаемых.

Каким же образом, изучая геологические образцы — ассоциации минералов, можно узнать о температурах и давлениях, при которых они были созданы Природой? В этом геологам неоценимую помощь оказывают минералы-индикаторы, которые в этом случае называют геотермометрами и геобарометрами.

Для определения температуры у геохимиков гораздо больше возможностей, чем для определения давления. Это связано с тем, что температура оказывает большое влияние на различные изменения, происходящие с минералами: плавление, разложение с образованием других соединений, изменение кристаллической структуры, растворимость в минералах небольших количеств посторонних элементов, особенности роста кристаллов и так далее.

Вот, например, висмут. Это редкий металл, поэтому и месторождения, на которых он добывается, называют редкометалльными. Висмут чаще всего присутствует в рудах в виде различных соединений с серой, но нередко его можно встретить и в металлическом, самородном состоянии. В этом случае он является геотермометром. Висмут плавится при  $+271^{\circ}\text{C}$ , правда, при увеличении давления эта температура немного понижается — висмут, так же как вода, при затвердевании расширяется. Если

висмут в момент его выделения из раствора был расплавлен, то он образует каплю, которая потом, остывая вместе с остальной рудой, сохраняет свои округлые очертания. Если же висмут выделяется из раствора в твердом состоянии, он образует различной формы кристаллы. Таким образом, увидев в руде висмут той или иной формы, можно сказать, была температура образования руды выше или ниже 271°C.

Для того, чтобы определить температуру более точно, нужно иметь несколько минералов-индикаторов: в коллективе они могут справиться с задачей, которая одному не под силу.

Есть и более универсальные индикаторы, чем висмут. Это такие минералы, которые обладают каким-нибудь свойством, зависящим от температуры: например, способностью растворять определенные количества другого элемента. Об истории с одним таким минералом я хочу вам рассказать и заодно показать, как могут ошибаться даже крупные ученые и к чему это приводит.

Минерал, о котором я хочу рассказать — это сфалерит, или цинковая обманка, сульфид цинка. В кристаллическую решетку сфалерита может входить определенный процент железа. Безжелезистый сфалерит грязно-желтого цвета, в чистых кристаллах прозрачен, а сфалерит, пропитавшийся железом, в зависимости от количества последнего, может иметь цвет от слабо-коричневого до черного.

Около двадцати лет тому назад известный американский ученый Гуннар Куллеруд предложил использовать железистость сфалерита как геологический термометр. Внес он такое предложение после того, как проделал большую экспериментальную работу по изучению зависимости железистости сфалерита от температуры. Куллеруд сделал так: приготовил различные смеси сфалерита с сульфидом железа, поместил их в кварцевые ампулы, создал в ампулах вакуум, чтобы кислород воздуха не

мешал опыту, ампулы запалял и выдержал в печах при разных температурах длительное время.

Температуры были высокие (400—600°C), часть смесей после такой экзекуции стала однородными фазами, другая — так и осталась смесями. Когда Куллеруд нанес результаты своих опытов на график, он увидел две области: в одну попали опыты с однородными фазами, а в другую — со смесями. Проведя границу между этими областями, он получил линию, которая показывала, какие максимальные количества железа могут растворяться в сфалерите при различных температурах. По этой кривой, зная состав природного сфалерита, очень легко определить температуру его образования.

Сфалерит — минерал очень распространенный, поэтому геологи ухватились за новый геотермометр обеими руками и принялись интенсивно его использовать в своей работе. Так продолжалось несколько лет, пока советским ученым в Новосибирске и в Иркутске не удалось экспериментально проверить, как сфалерит растворяет железо, когда растет в условиях, аналогичных природным, т. е. в высокотемпературных растворах. Были поставлены многочисленные опыты, которые показали, что однозначной зависимости содержания железа в сфалерите от температуры нет. Количество входящего в сфалерит железа зависит еще от концентрации серы в растворе. При одной и той же температуре можно было при желании получить сфалерит с самым разным содержанием железа. Это означало, что предложенный Куллерудом геотермометр нельзя использовать в практике.

Через два-три года появилась статья другого американского ученого Тулмина, который подтвердил результаты советских исследователей, доказав ошибку Куллеруда такими же, как у него, «сухими» экспериментами в кварцевых ампулах.

Куллеруд допустил ошибку в своих выводах не потому, что недобросовестно провел эксперимент. Нет, он

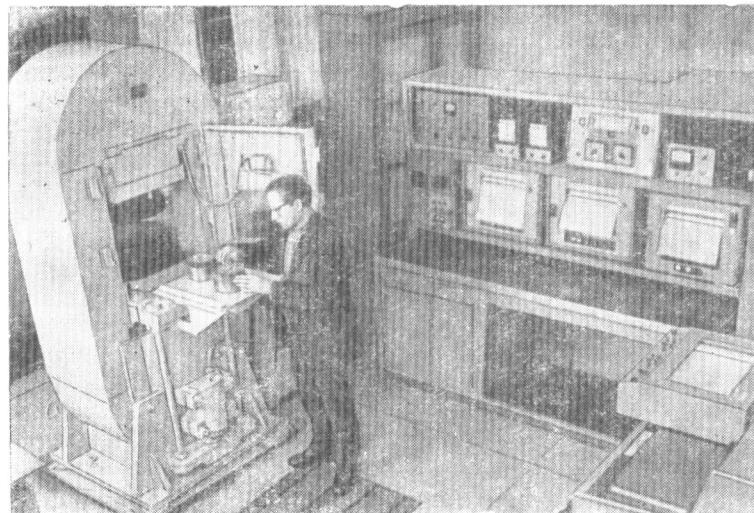
тщательно и основательно изучил часть большой системы, считая, что она имеет самостоятельное значение, а она оказалась зависимой.

Эта ошибка имела серьезные последствия, так как сфалеритовый геотермометр уже широко применялся геологами к тому времени, когда его «закрыли». Теперь геологам нужно было найти в себе силы отказаться от ставшего уже привычным метода, а это всегда трудно.

## В ГЛУБЬ ЗЕМЛИ

Вы, по-видимому, знаете, что наш земной эллипсоид (шар, сплюснутый с полюсов) имеет средний радиус 6371 километр. Цифра довольно внушительная. С помощью сверхглубокого бурения, связанного с большими техническими трудностями и потому очень дорогостоящего, людям удалось заглянуть на глубину примерно десяти километров. Глубже человек может проникать только мысленно, а узнать, как устроены земные недра, просто необходимо, потому что именно там, в земных подвалах, в результате радиоактивных распадов резко повышается температура, расплавляются огромные массы пород, зарождаются гигантские трещины — разломы, по которым к поверхности земли устремляются раскаленная магма и сопровождающие ее гидротермальные растворы, насыщенные теми самыми элементами, из которых и складываются месторождения полезных ископаемых.

Процессы, происходящие в верхних частях земной коры — самой верхней и самой тонкой (всего 60 км) оболочке земли, где давления относительно невелики (первые тысячи атмосфер), изучаются в лабораториях в автоклавах и на различных установках высокого давления. Однако безграничное любопытство гонит ученых вглубь. Расчеты показывают, что на глубине около ста километров давление измеряется уже десятками тысяч ат-



*За подготовкой к опыту*

мосфер, а в центре Земли, в ядре, достигает сумасшедшей цифры — четыре миллиона атмосфер. Попробуйте представить себе это давление — и у вас ничего не получится. Четыре миллиона килограммов на квадратный сантиметр! Минералы, которым по воле судьбы приходится жить в этих страшных условиях, приспосабливаются к ним, как только могут. Под давлением соседей они перестраивают свои атомы, чтобы занимать как можно меньше места. При этом их внутренняя энергия и сопротивляемость внешним воздействиям растет. Однако не все минералы могут выстроить из своих атомов здание, способное выстоять в условиях высоких давлений. Те, кому это не удается, оказываются в буквальном смысле слова раздавленными обстоятельствами, они погибают, давая дорогу более стойким.



Какие превращения происходят с минералами при сверхвысоких давлениях больших глубин Земли? Какие минералы могут выдержать большие нагрузки? Как меняются свойства минералов при увеличении давления? На эти и на многие другие вопросы ученые сейчас получают ответы с помощью мощных прессов, способных в небольшом объеме своей рабочей камеры воссоздать условия жизни земных недр.

Пятьдесят лет тому назад ученые могли только мечтать о получении в лабораторных условиях давления в сто тысяч атмосфер, сейчас — это будничная работа промышленных установок; пять лет тому назад давление в миллион атмосфер казалось экзотикой, сегодня в нашем институте в специальных аппаратах, так называемых «разрезных сферах», проводятся опыты при давлении почти в полтора миллиона атмосфер! Можно ожидать, что в ближайшее время ученые доберутся и до давлений, развиваемых в центре Земли.

Итак, наше краткое путешествие по джунглям экспериментальной минералогии подошло к концу. Тропа экскурсии, суетливо извиваясь, бежала от одного поселения к другому, но, конечно же, не могла пересечь их все. Много очень интересного осталось в стороне, да и с тем, что мы увидели, удалось познакомиться лишь поверхностно. Все же мне кажется, что вы теперь в общих чертах представляете себе деятельность геохимика-экспериментатора и, возможно, заинтересуетесь этим всерьез.

## Содержание

Открытая книга . . . . .	4
Что же такое экспериментальная геология и чем она занимается? . . . . .	9
Геолог? Химик? Инженер? . . . . .	12
Как стать экспериментатором? . . . . .	14
Без экспедиций нельзя! . . . . .	17
Как это происходило в природе?.. . . . .	22
Природная лаборатория . . . . .	24
Как выращивают кристаллы? . . . . .	27
Как был получен искусственный кварц? . . . . .	30
О том, как синтезируют драгоценные камни . . . . .	33
Минералы-индикаторы . . . . .	40
В глубь земли . . . . .	44

*Птицын Алексей Борисович*

**СЕКРЕТЫ ПОДЗЕМНОЙ КУХНИ**

Для старших школьников и юношества

Редактор-составитель *Л. В. Белявская*

Художник *Е. Ф. Зайцев*

Художественный редактор *В. П. Минко*

Технический редактор *В. А. Лобкова*

Корректор *Л. В. Федан*

---

---

Сдано в набор 11 мая 1975 г. Подписано к печати 13 августа 1975 г. Формат 70×108<sub>32</sub>. Бумага тип. № 1. 2,1 печ. л., 2,1 изд. л. МН 00641. Тираж 50000. Заказ № 51. Цена 8 коп.

Западно-Сибирское книжное издательство, Новосибирск, Красный проспект, 32.  
Полиграфкомбинат, Новосибирск, Красный проспект, 22.

**Цейка 8 коп.**